

Desain Sistem PLTS Hybrid dengan Pemodelan HOMER Pro dan PVSyst di Desa Semang, NTT, Indonesia

Ibnu Hartopo^{1#}, Abdu Yakan Rosyadi²

^{1,2} Universitas Pendidikan Indonesia

Jl. Dr. Setiabudi No.229 Bandung, Indonesia

ibnuh@upi.edu

"

Abstrak

Desa Semang di Kabupaten Manggarai Barat, Nusa Tenggara Timur, merupakan salah satu wilayah terpencil di Indonesia yang masih menghadapi keterbatasan akses terhadap energi listrik. Kondisi geografis yang menantang dan infrastruktur yang terbatas menyebabkan pasokan energi belum merata, sehingga menghambat pembangunan sosial dan ekonomi masyarakat. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengoptimalkan sistem hybrid berbasis energi terbarukan di Desa Semang dengan pendekatan simulasi menggunakan perangkat lunak HOMER Pro dan PVSyst. Sistem yang dirancang terdiri atas panel surya, baterai, dan generator untuk memenuhi kebutuhan energi harian sebesar 216,67 kWh. HOMER Pro digunakan untuk mengevaluasi efisiensi teknis dan ekonomi sistem, sedangkan PVSyst digunakan untuk menganalisis performa teknis sistem fotovoltaik, termasuk Performance Ratio (PR) dengan nilai tahunan sebesar 76,4%. Berdasarkan hasil simulasi HOMER konfigurasi sistem PV+Baterai+Genset memberikan hasil paling optimal dengan Net Present Cost (NPC) sebesar 5,13 miliar dan Levelized Cost of Energy (LCOE) terendah sebesar Rp. 3.991/kWh, serta kebutuhan biaya investasi awal (CAPEX) sebesar 1,83 miliar. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pendekatan terintegrasi ini mampu menghasilkan desain sistem energi yang optimal, efisien, dan sesuai dengan kondisi lokal.

Kata kunci: PLTS, Hybrid, Homer PRO, PVsyst, Permodelan.

Abstract

Semang Village in West Manggarai Regency, East Nusa Tenggara, is one of the remote areas in Indonesia that still faces limited access to electricity. Challenging geographical conditions and limited infrastructure cause energy supply to be unevenly distributed, thus hampering the social and economic development of the community. This study aims to design and optimize a renewable energy-based hybrid system in Semang Village with a simulation approach using HOMER Pro and PVSyst software. The developed system consists of solar panels, batteries, and generators to meet the daily energy needs of 216.67 kWh. HOMER Pro is used to evaluate the technical and economic efficiency of the system, while PVSyst is used to analyze the technical performance of the photovoltaic system, including the Performance Ratio (PR) with an annual value of 76.4%. Based on the HOMER simulation results, the PV+Battery+Generator system configuration provides the most optimal results with a Net Present Cost (NPC) of 5.13 billion and the lowest Levelized Cost of Energy (LCOE) of Rp. 3,991/kWh, and initial investment cost (CAPEX) requirements of 1.83 billion. The simulation results show that this integrated approach can produce an energy system design that is optimal, efficient, and appropriate to local conditions.

Keywords: PV Plant, Hybrid, Homer PRO, PVsyst, Modelling.

"

I. PENDAHULUAN

Desa Semang merupakan salah satu desa yang terletak di Kecamatan Welak, Kabupaten Manggarai Barat, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Berdasarkan data Sensus Penduduk 2020 dari Badan Pusat Statistik, desa ini memiliki jumlah penduduk sebanyak 2.440 jiwa. Desa ini termasuk dalam

wilayah perdesaan di Pulau Flores yang menghadapi berbagai tantangan pembangunan, khususnya dalam penyediaan layanan dasar. Faktor geografis yang terpencil serta keterbatasan infrastruktur transportasi berdampak pada rendahnya akses terhadap fasilitas publik seperti pendidikan, layanan kesehatan, dan energi [1]. Kondisi tersebut menuntut adanya pendekatan pembangunan yang adaptif dan berbasis

potensi lokal untuk mendorong peningkatan kesejahteraan masyarakat secara berkelanjutan.

Seiring dengan meningkatnya kesadaran terhadap perubahan iklim dan pentingnya pengurangan emisi karbon, berbagai penelitian telah mengkaji potensi sistem energi terbarukan untuk memenuhi kebutuhan energi di daerah terpencil [2]. Salah satu solusi yang dianggap potensial adalah sistem mikrogrid berbasis energi terbarukan, seperti tenaga surya, yang dapat beroperasi secara mandiri di luar jaringan utama (*off-grid*) [3]. Penerapan mikrogrid di daerah terpencil dapat meningkatkan ketahanan energi serta mengurangi ketergantungan pada sumber daya energi fosil [4],[5]. Simulasi menggunakan perangkat lunak HOMER Pro dapat membantu mengidentifikasi konfigurasi sistem mikrogrid yang optimal, baik dari sisi teknis maupun ekonomis, dengan mempertimbangkan berbagai sumber energi terbarukan seperti tenaga surya dan angin [6]. Perangkat lunak PVSyst banyak digunakan untuk analisis sistem fotovoltaik, yang memungkinkan perancang sistem untuk memperhitungkan faktor-faktor teknis seperti efisiensi modul surya, orientasi, dan kerugian sistem untuk memaksimalkan produksi energi [6],[7]. Namun, meskipun telah ada berbagai studi terkait penerapan sistem mikrogrid di daerah terpencil, sedikit penelitian yang mengintegrasikan penggunaan HOMER Pro dan PVSyst secara bersamaan untuk merancang solusi energi terbarukan yang sesuai dengan kondisi desa-desa di Manggarai Barat, seperti Desa Semang.

Perancangan sistem mikrogrid yang sesuai dengan kebutuhan Desa Semang, diperlukan pendekatan berbasis data yang mempertimbangkan aspek teknis, ekonomi, dan kondisi lokal masyarakat [9]. Sistem mikrogrid yang dirancang harus mampu menjawab tantangan geografis dan keterbatasan infrastruktur desa dengan menyediakan pasokan energi yang andal, berkelanjutan, dan terjangkau [10]. Dalam konteks ini, pemanfaatan energi surya menjadi alternatif yang sangat potensial, mengingat intensitas radiasi matahari yang tinggi dan konsisten di wilayah Nusa Tenggara Timur. Integrasi panel surya dengan sistem penyimpanan energi serta kontrol beban menjadi komponen utama dalam desain mikrogrid yang efisien [11],[12]. Desain ini juga mempertimbangkan kebutuhan energi harian masyarakat yang meliputi penerangan, pompa air, peralatan rumah tangga, serta fasilitas pendidikan dan kesehatan.

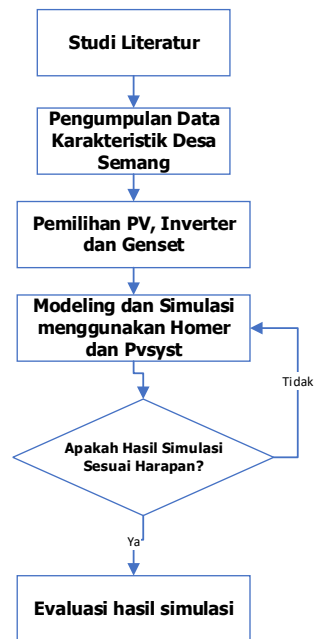
Proses perancangan dan optimasi sistem dilakukan melalui simulasi menggunakan perangkat

lunak HOMER Pro dan PVSyst. HOMER Pro digunakan untuk mengevaluasi berbagai konfigurasi sistem mikrogrid berdasarkan parameter teknis dan ekonomi, seperti Net Present Cost (NPC), Levelized Cost of Energy (LCOE), dan kontribusi energi terbarukan terhadap total kebutuhan energi [13], [14]. PVSyst berperan penting dalam analisis teknis sistem fotovoltaik, termasuk estimasi produksi energi, kerugian sistem, serta pengaruh kondisi geografis dan orientasi panel terhadap performa sistem [15]. Dengan menggabungkan kedua perangkat lunak ini, penelitian ini mampu menghasilkan desain sistem mikrogrid yang tidak hanya optimal secara teoritis, tetapi juga sesuai dengan karakteristik dan potensi lokal Desa Semang. Pendekatan terintegrasi ini diharapkan dapat menjadi model percontohan untuk pengembangan sistem energi terbarukan di desa-desa terpencil lainnya di Indonesia.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengoptimalkan sistem mikrogrid berbasis energi terbarukan di Desa Semang dengan menggunakan simulasi perangkat lunak HOMER Pro dan PVSyst. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk memberikan solusi desain sistem energi yang efisien dan berkelanjutan, serta untuk mengidentifikasi potensi penggunaan energi surya sebagai sumber utama dalam memenuhi kebutuhan energi desa. Kesenjangan yang ada dalam literatur terkait penerapan perangkat lunak ini di kawasan pedesaan Manggarai Barat menjadi dasar pentingnya penelitian ini. Selain itu, kontribusi kebaruan dari penelitian ini terletak pada penerapan simulasi HOMER Pro dan PVSyst secara terintegrasi untuk mengoptimalkan sistem mikrogrid di daerah dengan kondisi sosial, ekonomi, dan geografis yang unik. Penelitian ini juga memberikan kontribusi terhadap pemahaman lebih mendalam tentang kelayakan penerapan sistem energi terbarukan di daerah terpencil dan membantu mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil yang tidak berkelanjutan.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan mencakup studi literatur, pengumpulan data, pemilihan komponen, permodelan dan evaluasi.



Gambar 1. Alur Metode Penelitian

Metode penelitian yang ditunjukkan dalam diagram alir di atas dapat dijelaskan secara rinci sebagai berikut:

1) Studi Literatur

Tahap awal penelitian adalah studi literatur untuk memahami konsep dan teknologi sistem pembangkit listrik hybrid yang menggabungkan panel surya, inverter, dan genset. Kajian ini mencakup teori dasar, metodologi terdahulu, serta hasil-hasil penelitian yang relevan. Tujuannya adalah membangun dasar teoretis dan kerangka acuan yang kuat untuk tahap selanjutnya..

2) Pengumpulan Data Karakteristik di Desa Semang

Pengumpulan data dilakukan di Desa Semang guna memperoleh informasi mengenai kebutuhan energi, kondisi geografis, dan potensi sumber daya setempat. Data dikumpulkan melalui survei, wawancara, observasi, dan referensi sekunder. Informasi ini menjadi dasar dalam menentukan rancangan sistem yang sesuai dengan kondisi lokal.

3) Perancangan dan Pemilihan PV, Inverter, dan Genset

Berdasarkan data lapangan, dilakukan perancangan sistem serta pemilihan panel surya, inverter, dan genset yang sesuai. Pemilihan didasarkan pada kapasitas daya, efisiensi, keandalan, dan ketersediaan komponen. Tujuannya adalah memperoleh konfigurasi sistem yang optimal secara teknis dan ekonomis.

4) Pemodelan dan Simulasi Menggunakan Homer Pro dan Pvsyst

Tahap selanjutnya adalah melakukan pemodelan dan simulasi sistem menggunakan perangkat lunak yang umum digunakan dalam

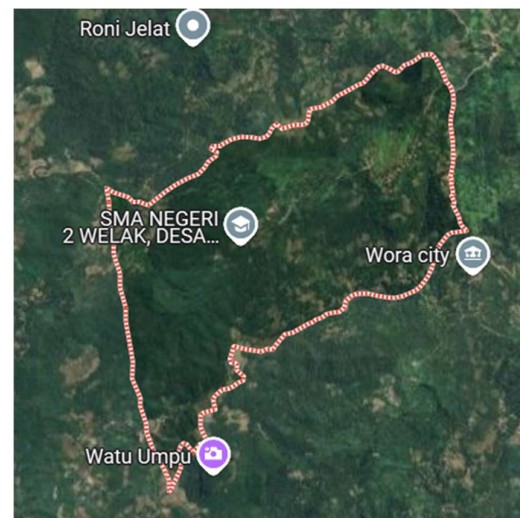
analisis sistem energi terbarukan, yaitu Homer dan Pvsyst. Homer digunakan untuk menganalisis sistem pembangkit hybrid dari sisi teknis, ekonomi, dan operasional, termasuk optimasi konfigurasi sistem dan estimasi biaya. Sementara itu, Pvsyst difokuskan pada simulasi performa sistem PV berdasarkan parameter teknis, data iklim, dan profil beban energi. Melalui simulasi ini, diperoleh proyeksi kinerja sistem dalam berbagai skenario, seperti variasi beban, fluktuasi intensitas radiasi matahari, dan penggunaan energi cadangan dari genset. Hasil simulasi menjadi bahan evaluasi untuk menilai kelayakan teknis dan ekonomi dari sistem yang dirancang.

5) Evaluasi Simulasi

Hasil dari simulasi dibandingkan dengan ekspektasi. Jika tidak sesuai, maka proses kembali ke tahap pemodelan dan simulasi untuk dilakukan perbaikan. Jika ya, maka dilanjutkan ke tahap akhir. Jika hasil simulasi sesuai dengan harapan, maka dilakukan evaluasi akhir terhadap hasil simulasi untuk mengetahui keandalan dan efektivitas sistem yang telah dirancang.

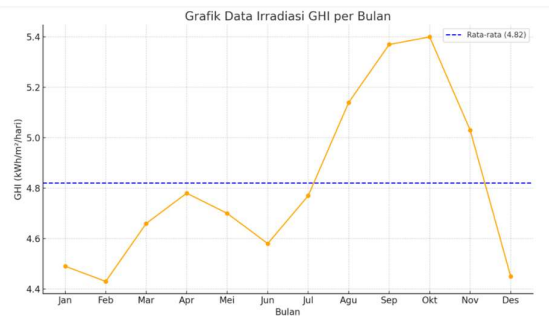
A. Data Lokasi

Desa Semang terletak di Kecamatan Welak, Kabupaten Manggarai Barat, Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT), Indonesia. Wilayah ini berada di bagian barat Pulau Flores dengan titik koordinat 8.57418609936189, 120.19936953757262.



Gambar 2. Peta Lokasi

Dengan menggunakan SolarGIS didapatkan data irradiasi sebagai berikut:



Gambar 3. Data Iradiasi

Data iradiasi yang ditampilkan berasal dari Desa Semang dan menunjukkan potensi energi surya yang cukup baik sepanjang tahun. Rata-rata Global Horizontal Irradiance (GHI) di desa ini mencapai 4.82 kWh/m²/hari, dengan nilai tertinggi terjadi pada bulan Oktober (5.40 kWh/m²/hari) dan nilai terendah pada Februari (4.43 kWh/m²/hari). Pola ini menunjukkan bahwa Desa Semang mendapatkan paparan sinar matahari yang relatif stabil dan cukup tinggi, menjadikannya lokasi yang potensial untuk pemanfaatan energi surya, seperti pemasangan panel fotovoltaik untuk pembangkit listrik mandiri atau sistem tenaga surya terdesentralisasi.

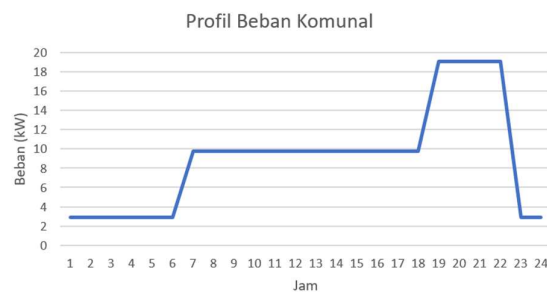
B. Profil Beban

Mengacu pada program elektrifikasi pedesaan, pengembangan sistem tenaga listrik di wilayah 3T dirancang dengan skema di mana setiap rumah dilengkapi dengan tiga titik lampu LED berdaya 3 watt, satu buah stopkontak, MCB berkapasitas 2 ampere, serta batas konsumsi listrik harian maksimum sebesar 400 Wh per rumah.

Tabel 1. Profil Beban Komunal

N o	Peralatan	Daya (W)	Jumlah	Total Daya (W)	Waktu Pemakaian (Jam)	Total Energi (Wh)
1	Lampu	3	2	6	8	48
2	Lampu	3	1	3	4	12
3	Peralatan Elektronik	10	1	10	4	40
4	Peralatan Elektronik	20	1	20	15	300
Total Energi Harian (Wh/hari/rumah)						400

Desa Semang memiliki total penduduk sebanyak 2440 jiwa dengan rata-rata 5 orang per rumah tangga sehingga total ada sebanyak 488 rumah yang menggunakan beban listrik AC 220 Volt satu fasa. Penggunaan beban listrik berdasarkan waktu operasional selama 24 jam seperti pada gambar dibawah.



Gambar 4. Profil Beban Komunal

Grafik profil beban komunal di Desa Semang menunjukkan pola konsumsi listrik selama 24 jam dengan tiga tahapan utama. Pada dini hari hingga pukul 05.00 serta pukul 23.00 hingga 24.00, beban berada pada level rendah sekitar 3 kW, mencerminkan aktivitas listrik minimum. Mulai pukul 06.00 hingga 17.00, terjadi peningkatan beban menjadi sekitar 9 kW seiring dengan dimulainya aktivitas harian masyarakat. Puncak konsumsi terjadi pada pukul 18.00 hingga 22.00 dengan beban mencapai 19 kW, menunjukkan intensitas penggunaan listrik yang tinggi pada malam hari untuk keperluan penerangan dan aktivitas rumah tangga lainnya. Setelah itu, beban kembali turun, mengikuti pola istirahat masyarakat.

C. Pemilihan Komponen dan Perhitungan Sistem

1) Pemilihan Baterai

Kapasitas baterai tergantung pada karakteristik radiasi, beban, dan keandalan sistem serta tujuan dari pengguna. Pemilihan baterai Lithium Ion didasarkan pada bobotnya yang ringan dan umum digunakan pada instalasi sistem hibrid di Indonesia dan disesuaikan dengan tegangan DC sistem 48 V untuk menyuplai beban AC [16]. Baterai yang digunakan untuk sistem ini adalah baterai lithium ion LNP 12V 100 Ah dengan harga Rp. 5.100.000,00.

Tabel 2. Spesifikasi Baterai

Baterai	Tegangan Nominal (V)	Kapasitas (Ah)
LFP12.8-100	12.8	100

Perencanaan kapasitas penyimpanan energi pada sistem listrik komunal memerlukan pendekatan yang sistematis dengan mempertimbangkan efisiensi konversi energi, tegangan sistem, dan ketahanan pasokan energi dalam kondisi tanpa pengisian ulang. Beban komunal harian yang telah disesuaikan terhadap efisiensi sistem sebesar 95% menghasilkan kebutuhan energi sebesar 228,07 kWh, yang diperoleh melalui persamaan 1. Selanjutnya, energi tersebut dikonversi ke dalam satuan ampere-jam berdasarkan tegangan sistem sebesar 48 V, sehingga diperoleh kebutuhan harian sebesar 4751 Ah, sebagaimana dihitung melalui persamaan 2

kebutuhan energi beban komunal. Kontinuitas suplai energi selama tiga hari tanpa pengisian ulang dan dalam upaya menjaga umur pakai baterai, kapasitas total baterai ditentukan dengan mempertimbangkan Depth of Discharge (DoD) sebesar 80%. Berikut rumus perhitungannya:

$$Beban_{komunal} = \frac{Beban\ harian\ (kWh)}{Efisiensi} \quad (1)$$

$$E_{load\ (komunal)} = \frac{Beban\ Komunal\ (kWh)}{Tegangan\ sistem\ baterai} \quad (2)$$

$$E_{batt\ communal\ load} = \frac{Kebutuhan\ beban\ 3\ hari}{DoD} \quad (3)$$

Berdasarkan perhitungan persamaan 2 dan 3 diperoleh kebutuhan kapasitas baterai sebesar 14.253 Ah. Keseluruhan hasil ini menjadi dasar dalam merancang sistem penyimpanan energi yang andal, efisien, dan berkelanjutan untuk mendukung operasional beban komunal.

2) Pemilihan dan perhitungan PV

Mengingat pemilihan komponen PV yang tersedia di pasaran dan memiliki efisiensi yang tinggi maka pemilihan modul PV pada penelitian ini menggunakan JA Solar 550 Wp dengan harga Rp. 2.000.000,00.

Tabel 3. Spesifikasi PV Module

PV Module	Power (Wp)	Voc (V)	Isc (I)	Efficiency (%)
JA Solar JAM72S30-550Wp	550	49.9	13.93	21.3

Dalam penelitian ini, kebutuhan beban sebesar 31.08 kWh / hari. Potensi GHI menentukan Peak Sun Hour (PSH) dengan rata-rata GHI selama setahun adalah 4,82 kWh / m². Persamaan yang digunakan untuk menghitung besarnya pembangkit PV pada RF adalah:

$$E_{PV} = PV\ Fraction \times Load$$

$$kWp = \frac{E_{pv}}{PSH}$$

Dengan PV Fraction 70% dengan asumsi desa mempunyai curah hujan yang cukup tinggi didapatkan E_{pv} sebesar 478,96 kWh. Jumlah modul PV setelah disesuaikan dengan spesifikasi sistem yaitu 104,5 kWp.

3) Pemilihan dan Perhitung Generator

Generator harus mampu mensuplai beban puncak dan mengisi baterai saat SOC <30% untuk menjaga umur baterai [17]. Peringkat generator ditentukan berdasarkan beban puncak. Beban puncak komunal adalah 19,032 kW. Peringkat generator disesuaikan untuk beban puncak ditambah margin kesalahan 10% dan faktor kapasitas 0,9; maka rating generator 20,72 kW. Pemilihan genset harus bisa menuplai kebutuhan

beban serta menggunakan bahan bakar yang mudah ditemukan.

Tabel 4. Spesifikasi Generator

Typical Load	Peak load (W)	Generator	Power (kW)
Communal	19.032	Perkins 30 kVA	24

1) Pemilihan dan Perhitungan AC/DC konverter

Inverter baterai bertanggung jawab untuk pembentukan kerangka distribusi arus bolak-balik dengan memodulasi tegangan dan frekuensi dalam ambang batas yang diizinkan dan menjaga keseimbangan energi dalam sistem [18]. Pemilihan inverter untuk sistem yang dapat disesuaikan dengan beban puncak disediakan oleh sistem dan mengikuti standar dengan DC/AC Ratio 1:1,25.

Tabel 5. Spesifikasi AC/DC Konverter

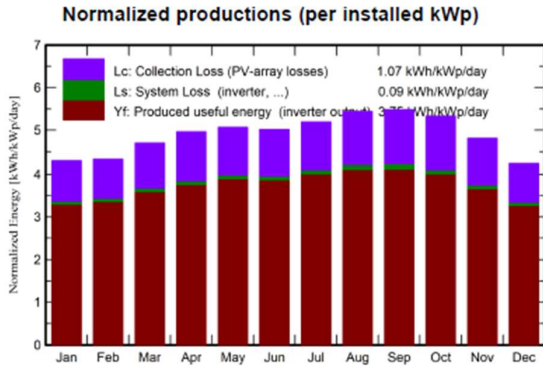
HPS100HV	
AC (on-grid)	
Apparent Power	110kVA
Rated Power	100kW
Rated Voltage	400V
Rated Current	144A
Voltage Range	360V-440V
Rated frequency	50/60 Hz
Frequency range	45-55 / 55-65 Hz
THDI	<3%
PF (Power Factor)	0.8 lagging – 0.8 leading
AC connection	3/N/PE
AC input	200 kVA
Max. charge power	150 kW
Max. discharge power	110 kW
Max. charge current	187 A
Max. discharge current	183 A

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada simulasi ini digunakan dua program yaitu HOMER Pro dan PVsyst. HOMER Pro digunakan untuk pemodelan sistem untuk mendapatkan analisis secara ekonomis. PVsyst digunakan untuk untuk mendapatkan analisis secara teknik [19]. Pemodelan menggunakan HOMER Pro dimulai dari pemodelan beban, skema sistem, data iradiasi, temperatur, dan input spesifikasi komponen [20]. Pemodelan sistem dengan program PVsyst dilakukan secara bertahap mulai dari simulasi data dan temperatur iradiasi, subsistem, hingga pemodelan skema sistem tenaga. Data teknis untuk setiap komponen disesuaikan dengan ukuran dan perhitungan sebelumnya. Skema simulasi pada penelitian ini menggunakan skema hibrid PV-Baterai-Genset.

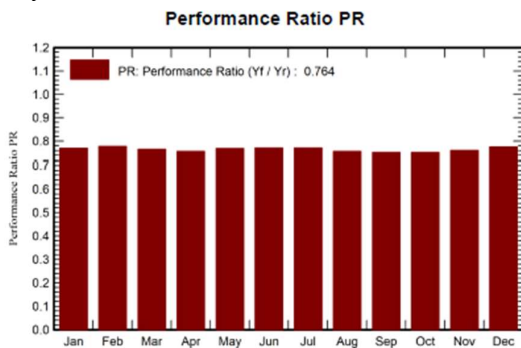
Simulasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dilakukan menggunakan perangkat lunak PVsyst untuk memperoleh data mengenai produksi energi. Penelitian ini menggunakan Performance

Ratio (PR) sebagai indikator utama, yaitu parameter yang menunjukkan tingkat efisiensi sistem PLTS dalam mengonversi energi matahari menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan. Nilai PR diperoleh dari perbandingan antara energi listrik yang dihasilkan oleh sistem dengan potensi energi yang tersedia berdasarkan intensitas radiasi matahari. Semakin tinggi nilai PR, maka semakin optimal kinerja sistem dalam mengubah energi surya menjadi listrik.



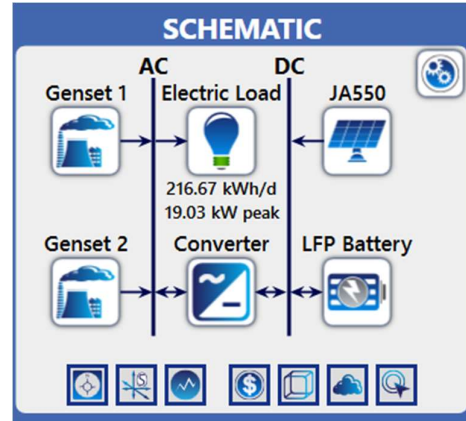
Gambar 5. Hasil simulasi dengan PVsyst

Hasil simulasi PVsyst di Desa Semang menunjukkan seberapa besar energi listrik yang dapat dihasilkan oleh sistem tenaga surya per kWp panel yang terpasang sepanjang tahun. Warna cokelat menggambarkan energi yang benar-benar bisa dimanfaatkan masyarakat, sementara bagian ungu dan hijau menunjukkan energi yang hilang akibat kerugian sistem, seperti efisiensi inverter dan kehilangan di panel surya. Dari grafik terlihat bahwa produksi listrik paling tinggi terjadi pada bulan Agustus dan September, sedangkan paling rendah pada Januari dan Desember. Rata-rata kehilangan energi dari panel sekitar 1,07 kWh/kWp/hari dan dari sistem sekitar 0,09 kWh/kWp/hari. Secara umum, data ini menunjukkan bahwa Desa Semang memiliki potensi energi surya yang sangat baik, terutama di pertengahan tahun, dan sistem yang dirancang cukup efisien untuk mendukung kebutuhan listrik masyarakat.



Gambar 6. Hasil Performance Ratio

Grafik ini menunjukkan nilai Performance Ratio (PR) sistem tenaga surya di Desa Semang sepanjang tahun. Performance Ratio menggambarkan seberapa efisien sistem mengubah potensi energi matahari menjadi energi listrik yang bisa digunakan, dengan nilai PR berkisar antara 0 dan 1. Pada grafik ini, nilai PR tahunan berada di angka 0,764, yang tergolong cukup baik untuk sistem fotovoltaik. Nilai PR yang stabil setiap bulan menunjukkan bahwa sistem bekerja secara konsisten tanpa fluktuasi besar dalam efisiensi, meskipun ada variasi iradiasi matahari sepanjang tahun.



Gambar 7. Desain Sistem dengan Homer PRO

Gambar di atas menunjukkan skema sistem kelistrikan hibrida yang terdiri dari genset, beban listrik, panel surya JA550, baterai LFP, dan konverter. Beban listrik memiliki konsumsi energi sebesar 216,67 kWh per hari dengan beban puncak sebesar 19,03 kW. Sumber energi dari genset menghasilkan listrik dalam bentuk arus bolak-balik (AC) yang langsung digunakan oleh beban dan juga dapat dikonversi ke arus searah (DC) oleh konverter [21]. Konverter berperan sebagai penghubung antara sisi AC dan DC dalam sistem.

Pada sisi DC, terdapat panel surya JA550 sebagai sumber energi terbarukan yang menyuplai daya ke beban dan juga mengisi baterai LFP. Baterai ini berfungsi menyimpan energi untuk digunakan saat sumber energi lainnya tidak tersedia atau tidak mencukupi. Sistem ini dirancang untuk memastikan kontinuitas pasokan daya secara efisien dengan menggabungkan berbagai sumber energi dan teknologi penyimpanan.

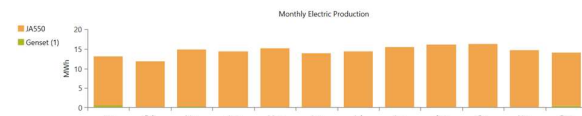
Beberapa konfigurasi dievaluasi untuk memperoleh solusi yang paling efisien. HOMER Pro mengurutkan hasil optimal berdasarkan nilai Net Present Cost (NPC) terendah. Dari hasil simulasi, konfigurasi sistem yang paling efisien terdiri atas generator diesel, panel surya (PV), baterai dan inverter. Pemilihan konfigurasi terbaik didasarkan

pada nilai NPC proyek yang paling rendah dan biaya energi levelisasi (LCOE per kWh) yang paling kecil. Meski demikian, terdapat alternatif konfigurasi lain yang dapat dipertimbangkan apabila biaya awal menjadi kendala. Lima konfigurasi terbaik dari hasil simulasi disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Simulasi HOMER

System	NPC (IDR)	LCOE (IDR/kWh)	CAPEX (IDR)
PV+Baterai+Genset	5,13 B	3.991	1,83B
PV+Baterai	5,36 B	4.085	2,27B
PV+Genset	80,4 B	61.307	468M

Berdasarkan hasil simulasi HOMER yang ditampilkan pada Tabel 8, konfigurasi sistem PV+Baterai+Genset memberikan hasil paling optimal dengan Net Present Cost (NPC) sebesar 5,13 miliar dan Levelized Cost of Energy (LCOE) terendah sebesar Rp. 3.991/kWh, serta kebutuhan biaya investasi awal (CAPEX) sebesar 1,83 miliar. Meskipun konfigurasi PV+Baterai memiliki NPC sedikit lebih tinggi (5,36 miliar) dan LCOE sedikit lebih mahal (Rp.4.085/kWh), sistem ini membutuhkan CAPEX lebih besar yaitu 2,27 miliar. Di sisi lain, konfigurasi PV+Genset menghasilkan NPC dan LCOE yang sangat tinggi, masing-masing 80,4 miliar IDR dan Rp. 61.307/kWh, meskipun CAPEX-nya paling rendah (Rp. 468 juta), menandakan bahwa biaya operasional jangka panjangnya sangat tinggi. Oleh karena itu, kombinasi PV, baterai, dan genset merupakan solusi paling efisien dan ekonomis secara keseluruhan.



Gambar 8. Hasil Produksi Bulanan

Berdasarkan data produksi energi tahunan, sistem pembangkit didominasi oleh kontribusi modul PV yang menghasilkan 171.755 kWh per tahun atau sebesar 99,3% dari total produksi energi, yaitu 172.984 kWh per tahun. Sementara itu, genset hanya menyumbang 1.229 kWh per tahun atau sekitar 0,711% dari total produksi. Hal ini menunjukkan bahwa sistem lebih bergantung pada energi surya sebagai sumber utama, sedangkan genset berfungsi sebagai sumber cadangan atau backup dalam kondisi tertentu, seperti saat produksi PV tidak mencukupi.

Tabel 7. Hasil Produksi Menggunakan HOMER

Production	Value	Units	%
PV Module	171755	kWh/yr	99.3
Genset	1229	kWh/yr	0.711
Total	172984	kWh/yr	100

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini merancang dan mengevaluasi sistem PLTS hybrid berbasis panel surya, baterai, dan genset untuk menjawab kebutuhan energi di Desa Semang, wilayah terpencil dengan akses listrik yang terbatas. Dengan memanfaatkan potensi energi surya yang tinggi dan pendekatan berbasis data lokal, simulasi melalui HOMER Pro dan PVSyst menghasilkan desain sistem yang andal, efisien, dan sesuai dengan karakteristik desa.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem mampu memenuhi kebutuhan listrik harian sebesar 216,67 kWh dengan nilai *Performance Ratio* tahunan sebesar 0,764. Ini mencerminkan efisiensi konversi energi yang baik dan kestabilan kinerja sepanjang tahun. HOMER Pro memberikan evaluasi teknis dan ekonomis sistem secara menyeluruh, sedangkan PVSyst memberikan gambaran detail mengenai performa teknis dari sisi produksi dan kehilangan energi.

Berdasarkan hasil simulasi teknis dan ekonomi, dapat disimpulkan bahwa konfigurasi sistem PV+Baterai+Genset merupakan solusi paling optimal untuk memenuhi kebutuhan energi dengan biaya yang efisien dan keandalan sistem yang tinggi. Sistem ini memiliki biaya investasi awal yang relatif rendah, biaya energi levelisasi (LCOE) paling murah, dan nilai Net Present Cost (NPC) terendah dibandingkan konfigurasi lainnya. Selain itu, analisis produksi energi menunjukkan bahwa lebih dari 99% kebutuhan energi dipenuhi oleh panel surya, dengan genset hanya digunakan sebagai cadangan. Hal ini mencerminkan pemanfaatan maksimal energi terbarukan serta efisiensi operasional jangka panjang, menjadikan konfigurasi ini pilihan yang paling ekonomis dan berkelanjutan.

Secara keseluruhan, pendekatan terintegrasi ini menunjukkan bahwa penerapan energi terbarukan di desa terpencil tidak hanya memungkinkan, tetapi juga efektif dan berkelanjutan. Sistem yang dirancang dapat menjadi model replikasi untuk wilayah serupa di Indonesia, mendukung kemandirian energi masyarakat, serta memperkuat transisi menuju energi bersih dan merata di seluruh pelosok negeri.

REFERENSI

- [1] A. K. Fikriyah and M. S. Boedoyo, "Analysis of renewable energy implementation in remote areas of Indonesia: study review," *IOP Conf.*

- Ser.: Earth Environ. Sci.*, vol. 673, no. 1, p. 012003, Feb. 2021, doi: 10.1088/1755-1315/673/1/012003.
- [2] F. Paundra and A. Nurdin, "STUDY OF THE POTENTIAL AND DEVELOPMENT OF RENEWABLE ENERGY POWER IN INDONESIA : A REVIEW," *JPTM*, vol. 3, no. 2, pp. 62–72, Mar. 2022, doi: 10.37304/jptm.v3i2.4024.
 - [3] K. Do-Chi *et al.*, "Grid Forming-based Hydrogen System for High-penetration Renewable Energy Microgrid," in *2024 11th International Conference on Power and Energy Systems Engineering (CPESE)*, Nara City, Japan: IEEE, Sep. 2024, pp. 40–45. doi: 10.1109/CPESE62584.2024.10841176.
 - [4] G. Liu, Z. Li, Y. Xue, and K. Tomsovic, "Microgrid Assisted Design for Remote Areas," *Energies*, vol. 15, no. 10, p. 3725, May 2022, doi: 10.3390/en15103725.
 - [5] I. Sulaeman, A. Suryani, N. Moonen, J. Popovic, and F. Leferink, "Optimizing Renewable Energy Share in Remote Areas Microgrids and Its Trade-off to Cost," in *2022 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*, Santa Clara, CA, USA: IEEE, Sep. 2022, pp. 477–480. doi: 10.1109/GHTC55712.2022.9911017.
 - [6] M. A. H. Alshehri, Y. Guo, and G. Lei, "Renewable-Energy-Based Microgrid Design and Feasibility Analysis for King Saud University Campus, Riyadh," *Sustainability*, vol. 15, no. 13, p. 10708, Jul. 2023, doi: 10.3390/su151310708.
 - [7] B. Bhuvaneswari, S. D, and W. A. Memala, "Performance Analysis of Stand-Alone Photovoltaic System Using PVsyst," *ECS Trans.*, vol. 107, no. 1, pp. 11533–11541, Apr. 2022, doi: 10.1149/10701.11533ecst.
 - [8] Dr. R. M. Sumsudeen, "ANALYSIS AND DESIGN OF SOLAR PV SYSTEM USING PVSYST SOFTWARE," in *Futuristic Trends in Electrical Engineering Volume 3 Book 2*, First., Dr. Catherine T. J., Dr. J. Soni, Dr. R. N. Banu, S. Harsha J, Dr. Lipika, Dr. S. Kumar Jha, Dr. G. K. Jabash Samuel, Dr. N. Dutta, Dr. M. Dhondiram Patil, Dr. Prabhu, Dr. Arun, C. Pn, Dr. A. Khan, Dr. K. Ramesh, Dr. N. Raj, Dr. B. Patra, Dr. A. Azam, Dr. S. Ganguly, R. B. R. Prakash, Dr. S. D. S. Jebaseelan, Dr. S. R. Paraskar, Dr. Vinoda S., C. Srinivas, N. Kumar, Dr. A. Ragavendirian, Dr. P. Krishna Murthy, Mr. M. Samal, Dr. S. Mishra, Dr. S. Banerjee, Dr. K. Guha, S. Kumar Das, Dr. J. Chembukkavu, Dr. S. Saroj, Dr. N. Kamal, and Dr. Siddappaji. M.R, Eds., Iterative International Publishers, Selfpage Developers Pvt Ltd, 2024, pp. 1–16. doi: 10.58532/V3BDEE2P1CH1.
 - [9] E. K. Bawan, F. D. Wijaya, H. R. Ali, and J. C. Vasquez, "Design a Microgrid for the Community of Bansa Village, Indonesia based on Social and Economic Assessments," in *2024 4th International Conference on Electronic and Electrical Engineering and Intelligent System (ICE3IS)*, Yogyakarta, Indonesia: IEEE, Aug. 2024, pp. 87–92. doi: 10.1109/ICE3IS62977.2024.10775921.
 - [10] Kenneth Ifeanyi Ibekwe *et al.*, "Microgrid systems in U.S. energy infrastructure: A comprehensive review: Exploring decentralized energy solutions, their benefits, and challenges in regional implementation," *World J. Adv. Res. Rev.*, vol. 21, no. 1, pp. 973–987, Jan. 2024, doi: 10.30574/wjarr.2024.21.1.0112.
 - [11] S. Vasantharaj, V. Indragandhi, V. Subramaniaswamy, Y. Teekaraman, R. Kuppusamy, and S. Nikolovski, "Efficient Control of DC Microgrid with Hybrid PV—Fuel Cell and Energy Storage Systems," *Energies*, vol. 14, no. 11, p. 3234, Jun. 2021, doi: 10.3390/en14113234.
 - [12] H. Bilal, "Integration of Energy Storage Systems in Hybrid Microgrids: Achieving High Efficiency and Low Cost," May 14, 2023, *Open Science Framework*. doi: 10.31219/osf.io/st4vd.
 - [13] D. Restrepo, B. Restrepo, and L. A. Trejos-Grisales, "Microgrid analysis using HOMER: a case study," *DYNA*, vol. 85, no. 207, pp. 129–134, Oct. 2018, doi: 10.15446/dyna.v85n207.69375.
 - [14] F. Mariño, V. Tibanlombo, J. Medina, and W. Chamorro, "Optimal Analysis of Microgrid with HOMER According to the Existing Renewable Resources in the Sector of El Aromo and Villonaco, Ecuador," in *XXXI Conference on Electrical and Electronic Engineering*, MDPI, Dec. 2023, p. 3. doi: 10.3390/engproc2023047003.
 - [15] S. Sharma, C. P. Kurian, and L. S. Paragond, "Solar PV System Design Using PVsyst: A Case Study of an Academic Institute," in *2018 International Conference on Control, Power, Communication and Computing Technologies (ICCPCT)*, Kannur, Kerala, India: IEEE, Mar. 2018, pp. 123–128. doi: 10.1109/ICCPCT.2018.8574334.
 - [16] A. Xu, L. J. Awal, A. Al-Khaykan, H. F. Fard, I. Alhamrouni, and M. Salem, "Techno-Economic and Environmental Study of Optimum Hybrid Renewable Systems, including PV/Wind/Gen/Battery, with Various

- Components to Find the Best Renewable Combination for Ponorogo Regency, East Java, Indonesia,” *Sustainability*, vol. 15, no. 3, p. 1802, Jan. 2023, doi: 10.3390/su15031802.
- [17] S. Javaid, M. Kaneko, and Y. Tan, “Safe Operation Conditions of Electrical Power System Considering Power Balanceability among Power Generators, Loads, and Storage Devices,” *Energies*, vol. 14, no. 15, p. 4460, Jul. 2021, doi: 10.3390/en14154460.
- [18] H. Almasalma and G. Deconinck, “Simultaneous Provision of Voltage and Frequency Control by PV-Battery Systems,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 152820–152836, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3018086.
- [19] W. K. Cheruiyot, E. K. Komen, J. K. Tonui, and R. A. Kinyamal, “Technical and Environmental Analysis of a 0.78 kWp PV System,” *JENRR*, vol. 16, no. 6, pp. 1–12, May 2024, doi: 10.9734/jenrr/2024/v16i6353.
- [20] M. K. Babu, P. Ray, and M. Biswal, “Optimal Design of an Islanded AC-DC Microgrid using HOMER Pro,” in *2023 IEEE 3rd International Conference on Smart Technologies for Power, Energy and Control (STPEC)*, Bhubaneswar, India: IEEE, Dec. 2023, pp. 1–6. doi: 10.1109/STPEC59253.2023.10431276.
- [21] A. Y. Rosyadi, A. Purwadi, and M. Ridhwan, “Design and Analysis of Hybrid Off-Grid PV-Battery-Genset System for Communal and Administrative Load Under Cycle Charging Control Strategy at Patippi Village Papua,” in *2021 3rd International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS)*, Bandung, Indonesia: IEEE, Oct. 2021, pp. 339–344. doi: 10.1109/ICHVEPS53178.2021.9600962.

