Penentuan Konfigurasi Optimal Sistem *Hybrid* Energi Surya–Angin Terhubung *Grid* Menggunakan HOMER Pro: Studi Kasus Elektrifikasi Desa Anyar, Lombok Utara

Agung B Muljono[1], Guarnean Bintang Aulia[1*], Riefqi Abdullah[1], M.B. Habibie[1], Sultan[1]
[1]Program Studi Teknik Elektro, Universitas Mataram

ARTICLE INFO

Article history:
Received August 18, 2026
Revised August 28, 2026
Accepted August, 30 2026

Keywords :
Hybrid Power System;
PV;
Wind turbine;
Renewable Fraction;
Rural Electrification;

ABSTRACT

The development of reliable and sustainable electricity supply in rural areas requires the optimal utilization of locally available renewable energy resources. This study aims to determine the optimal configuration of a grid-connected hybrid photovoltaic–wind power generation system (PV–WT–Grid) for rural electrification in Anyar Village, North Lombok, using HOMER Pro. The study employs a simulation and optimization approach based on electricity demand profiles, solar irradiation, and wind speed data obtained from NASA POWER. The study location, at coordinates 8.2309° S and 116.4379° E, has an average Global Horizontal Irradiance (GHI) of 5.24 kWh/m²/day and an average wind speed of 5.56 m/s at a height of 50 m. The optimization results indicate that the optimal configuration consists of a 5.09 kW PV system, 1.5 MW Generic wind turbine, grid connection, and a 4.78 kW converter. The system produces approximately 7.56 GWh/year, with a Renewable Fraction of 65.1%, while achieving zero unmet electrical load. Economically, the configuration results in a Net Present Cost (NPC) of IDR 45.33 billion, a Cost of Energy (COE) of IDR 419.34/kWh, and annual operating costs of approximately IDR 2.47 billion. Energy transactions with the grid include approximately 2.64 GWh/year of purchased electricity and 1.88 GWh/year of electricity exported to the grid. The results demonstrate that the PV–wind–grid hybrid system provides an optimal balance between renewable energy utilization, electricity supply reliability, and economic performance for supporting rural electrification in Anyar Village.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0



Corresponding Author:
Guarnean Bintang Aulia, Program Studi Teknik Elektro, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia
Email**:** bintangguarneann@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik di Indonesia mengalami peningkatan secara berkelanjutan sejalan dengan pertumbuhan jumlah penduduk, perkembangan ekonomi, serta meningkatnya berbagai aktivitas masyarakat. Sementara itu, penyediaan tenaga listrik nasional masih banyak bergantung pada pembangkit berbahan bakar fosil yang menghadapi berbagai persoalan, seperti keterbatasan sumber daya energi, ketidakstabilan harga bahan bakar, dan tingginya emisi gas rumah kaca [1]–[3]. Kondisi ini mendorong pemerintah untuk memperluas pemanfaatan energi baru dan terbarukan (EBT) sebagai salah satu strategi dalam mencapai target bauran energi nasional sekaligus mendukung proses transisi menuju sistem energi yang lebih berkelanjutan. Pengembangan pembangkit berbasis energi terbarukan diharapkan tidak hanya mampu memperkuat ketahanan energi nasional, tetapi juga berkontribusi terhadap upaya pengurangan emisi karbon [4].

Indonesia mempunyai potensi sumber energi surya dan angin yang cukup besar untuk dikembangkan sebagai alternatif pembangkit tenaga listrik. Kondisi geografis Indonesia yang berada di kawasan tropis memungkinkan penerimaan radiasi matahari yang relatif tinggi, dengan rata-rata intensitas sekitar 4–6 kWh/m²/hari sepanjang tahun [5], [6]. Selain energi surya, wilayah pesisir dan kepulauan tertentu juga memiliki karakteristik angin yang mendukung pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) [7], [8]. Salah satu wilayah yang memiliki potensi tersebut adalah Provinsi Nusa Tenggara Barat, khususnya Kabupaten Lombok Utara, yang mempunyai tingkat radiasi matahari tinggi serta sumber daya angin yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Pemanfaatan energi surya dan angin secara terintegrasi dapat menjadi alternatif dalam meningkatkan kontribusi energi terbarukan sekaligus

mendukung penyediaan energi listrik yang lebih berkelanjutan di daerah [9], [10].

Pemanfaatan satu sumber energi terbarukan secara tunggal masih menghadapi kendala karena karakteristiknya yang bergantung pada kondisi alam dan bersifat intermiten. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) memiliki keluaran energi yang dipengaruhi oleh perubahan intensitas radiasi matahari, sementara produksi energi pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) sangat bergantung pada fluktuasi kecepatan angin. Kondisi tersebut mendorong penerapan sistem pembangkit *hybrid* dengan mengintegrasikan PLTS dan PLTB untuk memperoleh pasokan energi yang lebih stabil dan berkesinambungan [11]–[13]. Selanjutnya, integrasi sistem *hybrid* dengan jaringan listrik *(grid-connected)* dapat meningkatkan keandalan penyediaan energi dengan menjadikan jaringan sebagai sumber suplai ketika pembangkitan energi terbarukan tidak mampu memenuhi kebutuhan beban. Sebaliknya, ketika produksi energi terbarukan meningkat, ketergantungan terhadap pasokan listrik dari jaringan dapat dikurangi [14].

Perancangan sistem *hybrid* memerlukan penentuan kapasitas setiap komponen secara optimal agar diperoleh keseimbangan antara kinerja teknis dan kelayakan ekonomis. Konfigurasi kapasitas modul fotovoltaik, turbin angin, inverter, serta interkoneksi dengan jaringan harus disesuaikan dengan potensi sumber daya energi dan karakteristik beban listrik. Kesalahan dalam menentukan kapasitas komponen dapat menyebabkan biaya investasi yang tinggi, rendahnya pemanfaatan energi terbarukan, maupun penurunan keandalan sistem [15].

Salah satu perangkat lunak yang banyak digunakan untuk melakukan simulasi dan optimasi sistem pembangkit *hybrid* adalah HOMER Pro *(Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources)*. Perangkat lunak ini mampu mengevaluasi berbagai konfigurasi sistem berdasarkan data potensi energi, profil beban, spesifikasi komponen, dan parameter ekonomi. Hasil optimasi HOMER Pro memberikan konfigurasi terbaik berdasarkan indikator teknis dan ekonomis seperti *Net Present Cost* (NPC), *Cost of Energy* (COE), *Renewable Fraction* (RF), produksi energi tahunan, konsumsi energi dari jaringan, serta estimasi emisi karbon [16], [17].

Beberapa penelitian terdahulu telah membahas optimasi sistem *hybrid* PLTS–PLTB menggunakan HOMER Pro pada berbagai lokasi. Namun, sebagian besar penelitian difokuskan pada sistem off-*grid* atau dilakukan pada wilayah dengan karakteristik sumber daya energi yang berbeda [16]–[19]. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan menentukan konfigurasi optimal sistem pembangkit listrik *hybrid* PLTS–PLTB terhubung *grid* menggunakan HOMER Pro pada Desa Anyar, Kabupaten Lombok Utara. Optimasi dilakukan dengan mempertimbangkan aspek teknis dan ekonomis untuk memperoleh konfigurasi sistem yang menghasilkan biaya energi minimum, tingkat pemanfaatan energi terbarukan yang tinggi, serta kinerja sistem yang andal.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode simulasi dan optimasi HOMER Pro untuk menganalisis potensi energi terbarukan, profil beban, dan kinerja sistem *hybrid* PLTS–PLTB–*Grid* dalam menentukan konfigurasi optimal untuk mendukung elektrifikasi Desa Anyar, Lombok Utara.

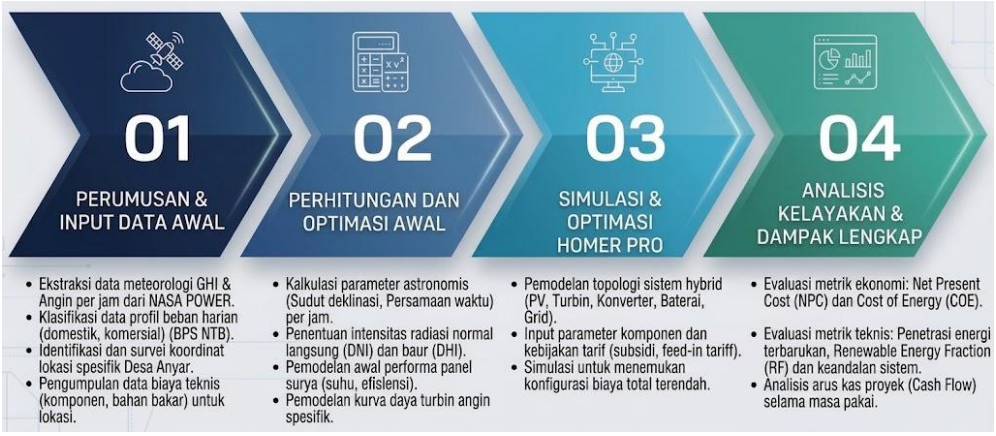
Tahapan penelitian seperti pada Gambar 1, diawali dengan pengumpulan dan pengolahan data lokasi, potensi energi terbarukan, serta kebutuhan beban listrik. Data potensi surya berupa *Global Horizontal Irradiance* (GHI) dan data kecepatan angin pada ketinggian 50 m diperoleh dari NASA POWER berdasarkan koordinat lokasi Desa Anyar, yaitu 8,2309° LS dan 116,4379° BT. Data kebutuhan listrik disusun berdasarkan jumlah rumah tangga dan fasilitas umum di lokasi penelitian. Selanjutnya, data sumber energi dan profil beban dimasukkan ke dalam HOMER Pro sebagai parameter simulasi.

Model sistem *hybrid* kemudian dibangun dengan beberapa alternatif kapasitas PLTS, PLTB, baterai, converter, dan *grid*. HOMER Pro melakukan simulasi dan optimasi berdasarkan keseimbangan energi setiap periode, dengan mempertimbangkan produksi pembangkit, konsumsi beban, pertukaran energi dengan *grid*, serta karakteristik teknis dan ekonomi setiap komponen. Hasil optimasi dibandingkan berdasarkan indikator produksi dan konsumsi energi, *Renewable Fraction* (RF), energi yang dibeli dan dijual ke *grid*, *Net Present Cost* (NPC), *Cost of Energy* (COE), dan biaya operasi. Evaluasi kinerja sistem *hybrid* dilakukan berdasarkan aspek teknis dan ekonomis untuk menentukan kemampuan sistem dalam memenuhi kebutuhan energi listrik serta kelayakan konfigurasi yang dihasilkan. Perhitungan parameter evaluasi dilakukan menggunakan persamaan berikut [20].

1. Produksi Energi Sistem

Total produksi energi sistem dihitung dari kontribusi energi yang dihasilkan oleh masing-masing sumber pembangkit dan energi yang dipasok oleh *grid*, yang dinyatakan sebagai:

$$E_{prod} = E_{RE} + E_{Grid} \quad (1)$$



Gambar 1. Diagram Alur Metodologi Simulasi dan Optimasi Sistem Energi *Hybrid*

2. Konsumsi Eenergi

Energi yang digunakan sistem terdiri atas energi yang disalurkan kepada beban dan energi surplus yang diekspor ke *grid*, sehingga dapat dinyatakan:

$$E_{Cons} = E_{load} + E_{export} \quad (2)$$

3. Renewable Fraction

Tingkat pemanfaatan energi terbarukan dalam memenuhi kebutuhan listrik dinyatakan melalui Renewable Fraction (RF), yaitu:

$$RF = \frac{E_{RE}}{E_{load}} \quad (3)$$

4. Net Present Cost

Evaluasi ekonomi sistem dilakukan menggunakan Net Present Cost (NPC) yang merepresentasikan nilai sekarang dari seluruh biaya sistem selama periode proyek, yang meliputi biaya investasi, penggantian komponen, operasi dan pemeliharaan, pembelian energi dari *grid*, serta pendapatan dari penjualan energi:

$$NPC = C_{inv} + C_{replacement} + C_{O\&M} + C_{grid} - R_{grid} - C_{salvage} \quad (4)$$

5. Cost of Energy

Biaya rata-rata energi listrik yang dihasilkan sistem selama periode analisis dinyatakan menggunakan Cost of Energy (COE), yaitu:

$$COE = \frac{C_{annualized}}{E_{served}} \quad (5)$$

Seluruh parameter tersebut selanjutnya digunakan sebagai indikator dalam membandingkan alternatif konfigurasi sistem. Konfigurasi dengan NPC terendah yang tetap mampu memenuhi kebutuhan beban dan memiliki tingkat pemanfaatan energi terbarukan yang optimal dipilih sebagai konfigurasi sistem *hybrid* terbaik.

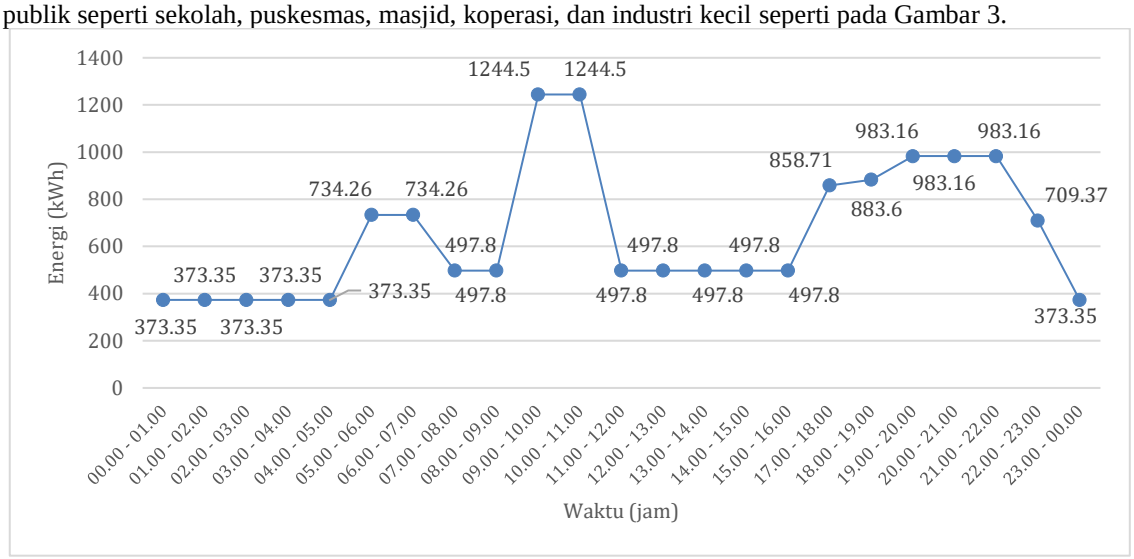
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil analisis potensi sumber energi terbarukan, karakteristik kebutuhan energi listrik, serta hasil optimasi konfigurasi sistem pembangkit listrik *hybrid* PLTS–PLTB terhubung *grid* menggunakan HOMER Pro untuk mendukung elektrifikasi Desa Anyar, Kecamatan Bayan, Kabupaten Lombok Utara pada koordinat -8,2309 LS dan 116,4379 BT. Penentuan konfigurasi sistem dilakukan dengan mempertimbangkan karakteristik geografis lokasi penelitian, potensi energi surya dan angin, serta profil konsumsi listrik masyarakat dan fasilitas umum. Data sosial, demografi, dan kondisi wilayah mengacu pada Kecamatan Bayan Dalam Angka 2025 yang diterbitkan oleh Badan Pusat Statistik Kabupaten Lombok Utara. Hasil ditampilkan berdasarkan analisis profil beban listrik, potensi energi terbarukan, serta evaluasi kinerja sistem.

3.1. Profil beban

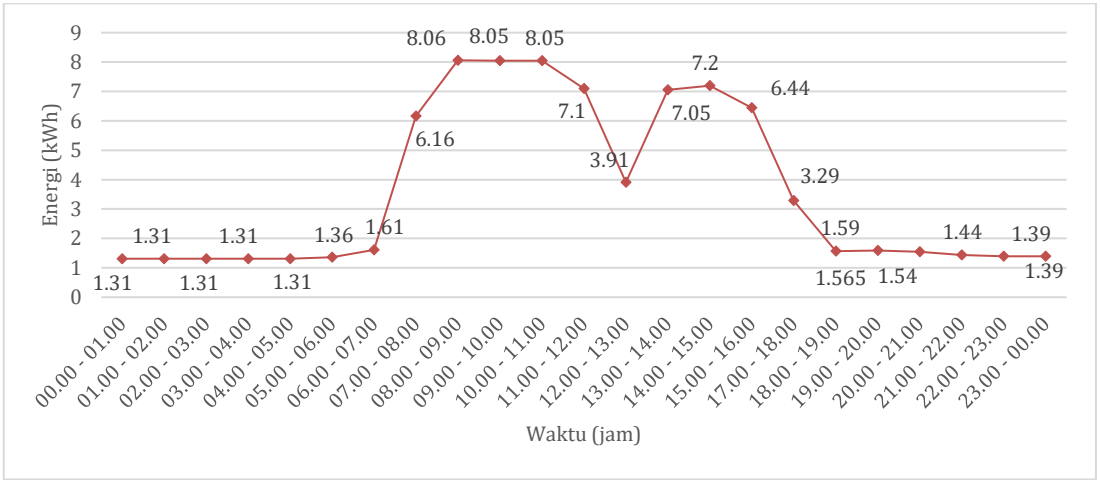
Penentuan kebutuhan energi listrik dilakukan berdasarkan karakteristik konsumen di Desa Anyar yang dikelompokkan menjadi beban rumah tangga dan fasilitas umum. Pengelompokan tersebut dilakukan untuk merepresentasikan pola konsumsi energi yang berbeda antara sektor rumah tangga dan pelayanan publik. Jumlah rumah tangga menjadi dasar dalam menentukan kebutuhan energi sektor rumah tangga, sedangkan

fasilitas umum digunakan untuk merepresentasikan kebutuhan energi pelayanan masyarakat seperti kantor pemerintahan, fasilitas pendidikan, fasilitas kesehatan, tempat ibadah, dan fasilitas publik lainnya. Profil beban listrik rumah tangga desa Anyar kurang lebih sebanyak 2.489 rumah tangga [21], menunjukkan pola konsumsi energi yang berfluktuasi mengikuti aktivitas masyarakat sepanjang hari seperti Gambar 2. Beban fasilitas umum menunjukkan pola yang berbeda karena sangat dipengaruhi oleh jam operasional layanan publik seperti sekolah, puskesmas, masjid, koperasi, dan industri kecil seperti pada Gambar 3.



Gambar 1. Grafik Beban Rumah Tangga

Pada malam hingga dini hari beban rumah tangga, beban relatif rendah karena penggunaan listrik hanya terbatas pada penerangan dan beberapa peralatan dasar. Memasuki pagi hari, konsumsi energi mulai meningkat seiring dengan bertambahnya aktivitas penghuni rumah. Peningkatan beban yang signifikan terjadi pada pagi hingga menjelang siang hari, dengan beban puncak terjadi pada pukul 09.00–11.00 sebesar 1.244,5 kWh. Hal ini menunjukkan tingginya penggunaan peralatan rumah tangga pada periode tersebut. Setelah melewati puncak beban, konsumsi energi mengalami penurunan pada siang hari, kemudian kembali meningkat pada sore hingga malam hari seiring dengan meningkatnya aktivitas di dalam rumah.



Gambar 3. Grafik Beban Fasilitas Umum

Beban listrik fasilitas umum pada malam hingga dini hari, beban listrik relatif rendah karena sebagian besar fasilitas tidak beroperasi. Memasuki pagi hari, beban mulai meningkat seiring dimulainya aktivitas pelayanan masyarakat. Peningkatan yang signifikan terjadi pada pukul 07.00–08.00 dan mencapai beban puncak pada pukul 08.00–09.00 sebesar 8,06 kWh. Kondisi ini menunjukkan tingginya penggunaan energi listrik selama jam kerja. Setelah itu, beban tetap tinggi hingga menjelang siang, kemudian menurun pada waktu istirahat. Konsumsi energi kembali meningkat pada siang hingga sore hari sebelum akhirnya menurun

secara bertahap pada malam hari. Secara umum, pola beban fasilitas umum didominasi oleh aktivitas pada jam kerja, sehingga sangat bergantung pada jadwal operasional layanan.

Secara keseluruhan, pola beban rumah tangga didominasi oleh aktivitas pada pagi hingga siang hari serta malam hari, sehingga periode tersebut menjadi faktor penting dalam perencanaan kapasitas sistem pembangkit listrik. Berdasarkan pemodelan pada HOMER Pro, kebutuhan energi fasilitas umum sebesar 85,14 kWh/hari dengan beban puncak 12,71 kW, sedangkan kebutuhan energi rumah tangga mencapai 15.485,58 kWh/hari dengan beban puncak 2.079,14 kW.

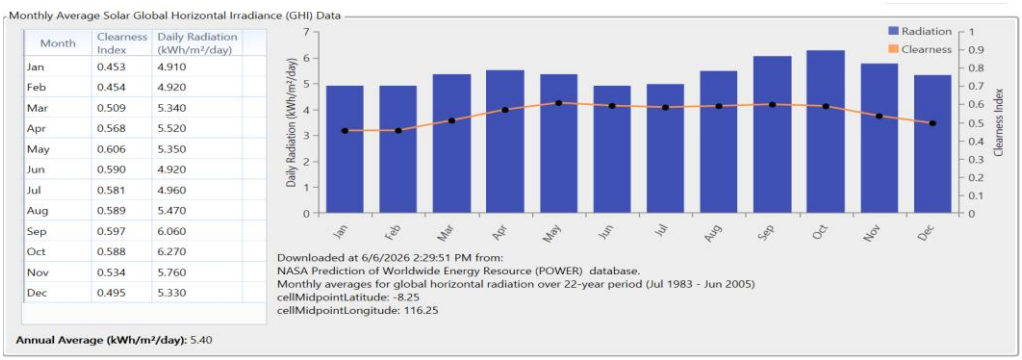
3.2. Potensi energi matarhari (Global Horizontal Irradiation)

Berdasarkan data *Global Horizontal Irradiance* (GHI) pada Tabel 1 dari NASA POWER melalui HOMER Pro dengan koordinat 8,2309° LS dan 116,4379° BT, Desa Anyar memiliki potensi energi surya yang baik. Periode 2020–2024 menunjukkan rata-rata GHI tahunan sebesar 5,24 kWh/m²/hari, sedangkan rata-rata GHI bulanan selama lima tahun berkisar 4,91 kWh/m²/hari pada Januari hingga 6,27 kWh/m²/hari pada Oktober. Profil GHI bulanan lima tahun tersebut digunakan sebagai profil sumber daya surya *(solar resource profile)* yang diinputkan ke HOMER Pro, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4, untuk merepresentasikan variasi ketersediaan radiasi matahari sepanjang tahun. Nilai GHI relatif rendah terjadi pada Januari–Februari dan Juni–Juli, sedangkan nilai tertinggi terdapat pada September–November. Kondisi ini menunjukkan potensi PLTS yang cukup baik dan menjadi dasar dalam menentukan kontribusi PLTS pada sistem *hybrid* PLTS–PLTB–*Grid*, dengan integrasi PLTB, baterai, dan *grid* untuk mengompensasi variasi pembangkitan surya serta menjaga keandalan pasokan energi.

Rata-rata radiasi bulanan sebesar sekitar 5,40 kWh/m²/hari menunjukkan bahwa Desa Anyar memiliki sumber daya surya yang potensial untuk pengembangan PLTS. Kondisi ini menjadi salah satu dasar dalam pemodelan sistem *hybrid* PLTS–PLTB–*Grid* menggunakan HOMER Pro. Variasi radiasi matahari sepanjang tahun juga perlu dipertimbangkan dalam menentukan kapasitas PLTS, karena produksi listrik PV akan mengikuti perubahan ketersediaan radiasi.

Tabel 1. Data Global Horizontal Irradiance (GHI) tahun 2020 – 2024 (kWh/m²/hari)

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Ann
2020	4.755	4.822	5.152	5.302	5.203	4.804	4.853	5.306	5.853	6.052	5.553	5.153	5.061
2021	4.856	4.902	5.258	5.450	5.304	4.905	4.957	5.408	5.951	6.153	5.652	5.258	5.174
2022	4.950	4.959	5.359	5.559	5.405	4.957	5.004	5.502	6.052	6.253	5.758	5.352	5.255
2023	5.002	5.055	5.450	5.650	5.456	5.002	5.055	5.553	6.153	6.354	5.859	5.409	5.336
2024	5.003	4.881	5.502	5.656	5.408	4.951	4.959	5.603	6.309	6.556	6.001	5.503	5.367
Rerata	4.910	4.920	5.340	5.520	5.350	4.920	4.960	5.470	6.060	6.270	5.760	5.330	5.324



Gambar 4. Profil *Global Horizontal Irradiance* Desa Anyar

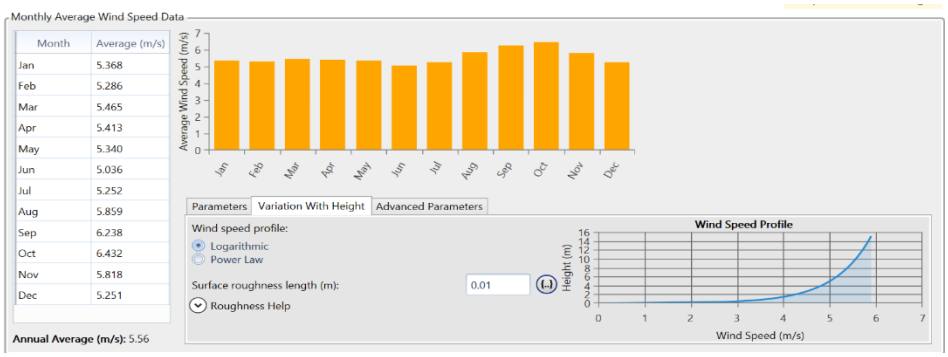
3.3. Potensi energi angin kecepatan rerata bulanan

Mengacu data kecepatan angin pada ketinggian 50 m yang diperoleh dari basis data NASA POWER dan disajikan pada Tabel 2, lokasi penelitian di Desa Anyar menunjukkan potensi energi angin yang cukup baik. Selama periode 2020–2024, kecepatan angin tahunan berada pada kisaran 5,388–5,796 m/s, dengan rata-rata sebesar 5,56 m/s. Berdasarkan rata-rata bulanan selama lima tahun, kecepatan angin berkisar antara 5,036 m/s pada Juni hingga 6,432 m/s pada Oktober. Profil rata-rata bulanan tersebut digunakan sebagai profil kecepatan angin pada ketinggian 50 m yang diinputkan ke HOMER Pro, sebagaimana ditunjukkan

pada Gambar 5, untuk merepresentasikan variasi sumber daya angin sepanjang tahun. Kecepatan angin cenderung meningkat pada Agustus–November dan mencapai nilai maksimum pada Oktober, sehingga menunjukkan potensi PLTB yang dapat mendukung sistem *hybrid* PLTS–PLTB–*Grid*, khususnya dalam melengkapi variasi pembangkitan energi surya.

Tabel 2. Kecepatan angin pada ketinggian 50-meter (m/s) tahun 2020 – 2024

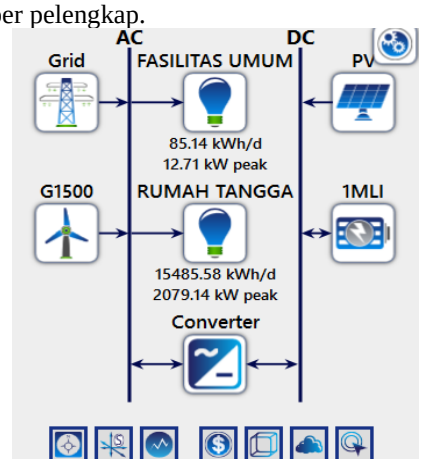
Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Ann
2020	5.985	5.648	5.543	5.608	5.073	5.228	5.298	5.907	6.518	6.221	6.109	4.869	5.665
2021	4.852	5.142	5.544	5.537	5.507	5.010	5.459	5.760	5.729	6.410	5.181	5.358	5.461
2022	4.978	5.479	5.388	5.510	5.110	4.802	5.172	5.622	6.048	5.799	5.308	5.451	5.388
2023	5.649	4.388	5.783	5.211	5.524	5.199	5.183	6.056	6.558	6.980	6.462	6.435	5.796
2024	5.379	5.771	5.069	5.202	5.486	4.938	5.146	5.951	6.335	6.748	6.031	4.142	5.514
Rerata	5.368	5.286	5.465	5.413	5.340	5.036	5.252	5.859	6.238	6.432	5.818	5.251	5.251



Gambar 5. Profil rerata kecepatan angin Desa Anyar

3.4. Perencanaan konfigurasi model sistem *hibryd*

Berdasarkan profil beban dan potensi sumber energi yang telah ditentukan, sistem dimodelkan menggunakan HOMER Pro dengan konfigurasi PLTS–PLTB–Battery–*Grid*. PLTS dan baterai terhubung pada sisi DC, sedangkan PLTB dan jaringan listrik terhubung pada sisi AC. Converter digunakan sebagai penghubung antara bus AC dan DC sehingga energi dari PLTS dan baterai dapat digunakan untuk memenuhi beban sistem. Skema sistem yang direncanakan ditunjukkan pada Gambar 6. Sistem ini dirancang untuk diterapkan di Desa Anyar, Lombok Utara, dengan mempertimbangkan potensi energi surya sebagai sumber utama dan energi angin sebagai sumber pelengkap.



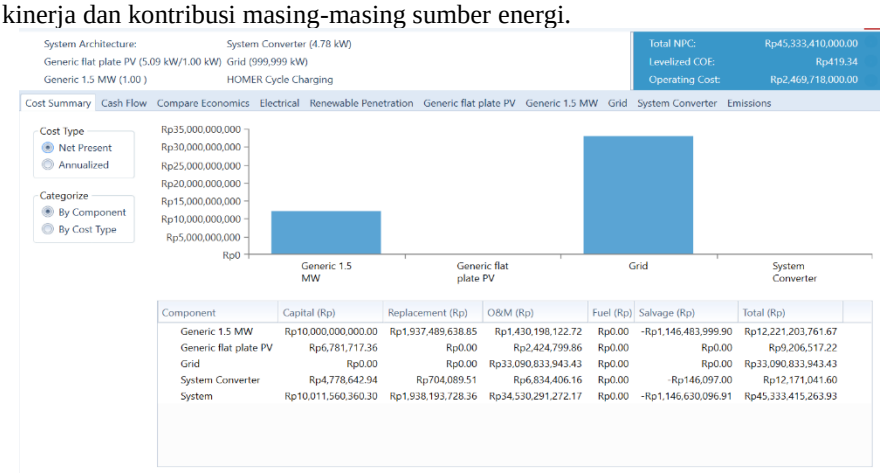
Gambar 6. Rancangan opsi sistem penyediaan daya listrik *hybrid* di Desa Anyar.

Sesuai konfigurasi HOMER Pro, sistem *hybrid* untuk elektrifikasi Desa Anyar terdiri atas PLTS, PLTB, baterai, *converter*, dan *grid* yang terintegrasi melalui bus AC dan DC. PLTS memanfaatkan radiasi matahari dan terhubung pada sisi DC, sedangkan PLTB Generic 1,5 MW terhubung pada sisi AC. Baterai 1.000 kWh berfungsi menyimpan surplus energi dan memasok energi saat pembangkitan terbarukan tidak mencukupi. Converter menghubungkan sisi AC dan DC, sementara *grid* berperan sebagai sumber pendukung dan media pertukaran energi.

Beban sistem terdiri atas fasilitas umum dan rumah tangga yang digunakan untuk membentuk profil kebutuhan listrik sebagai masukan simulasi HOMER Pro. Integrasi PLTS, PLTB, baterai, dan *grid* memungkinkan peningkatan pemanfaatan energi terbarukan sekaligus menjaga keandalan dan kontinuitas pasokan listrik di Desa Anyar.

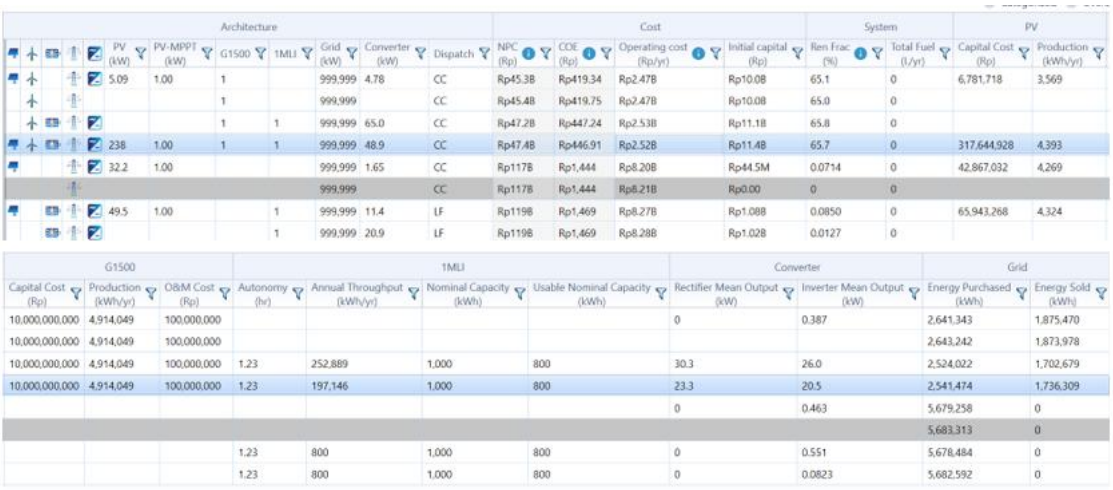
3.5. Analisa Teknik dan Ekonomis System Pembangkit *Hybrid*

Analisis teknis dan ekonomis sistem *hybrid* hasil optimisasi menggunakan HOMER Pro disajikan pada Gambar 7 dan Gambar 8, yang mencakup konfigurasi sistem, kapasitas komponen, produksi energi, biaya sistem, serta kinerja dan kontribusi masing-masing sumber energi.



Gambar 7. Komposisi biaya dan konfigurasi optimal sistem *hybrid* PLTS–PLTB–*Grid.*

Konfigurasi optimal pada Gambar 7 terdiri atas PLTB Generic 1,5 MW, PLTS 5,09 kW, *grid*, dan converter 4,78 kW dengan strategi operasi Cycle Charging. Kapasitas PLTB yang dominan menunjukkan bahwa potensi angin menjadi sumber energi utama, sedangkan PLTS berperan sebagai sumber energi tambahan. *Grid* digunakan untuk menjaga kontinuitas pasokan ketika pembangkitan energi terbarukan tidak mencukupi serta memungkinkan penyaluran surplus energi ke jaringan.



Gambar 8. Hasil optimasi perencanaan sistem konfigurasi sistem *hybrid* terbaik

Secara teknis aspek elektrifikasi pada Gambar 8, PLTB menghasilkan energi sekitar 4.914.049 kWh/tahun. Produksi tahunan tersebut menghasilkan faktor kapasitas sekitar 37,4%, yang menunjukkan bahwa generator beroperasi secara tidak kontinu dan berfungsi sebagai salah satu sumber utama dalam memenuhi kebutuhan energi sistem, sedangkan PLTS menghasilkan sekitar 3.569 kWh/tahun. Energi dari *grid* yang dibeli mencapai 2.641.343 kWh/tahun, sementara energi yang dapat dijual kembali ke *grid* sebesar 1.875.470 kWh/tahun. Total produksi sistem sekitar 7,56 GWh/tahun, sedangkan kebutuhan beban sekitar 5,68 GWh/tahun. Kondisi ini menunjukkan bahwa PLTB menjadi sumber energi utama, sedangkan PLTS memberikan kontribusi relatif kecil dan *grid* berfungsi sebagai penyeimbang kebutuhan energi serta media pertukaran surplus listrik.

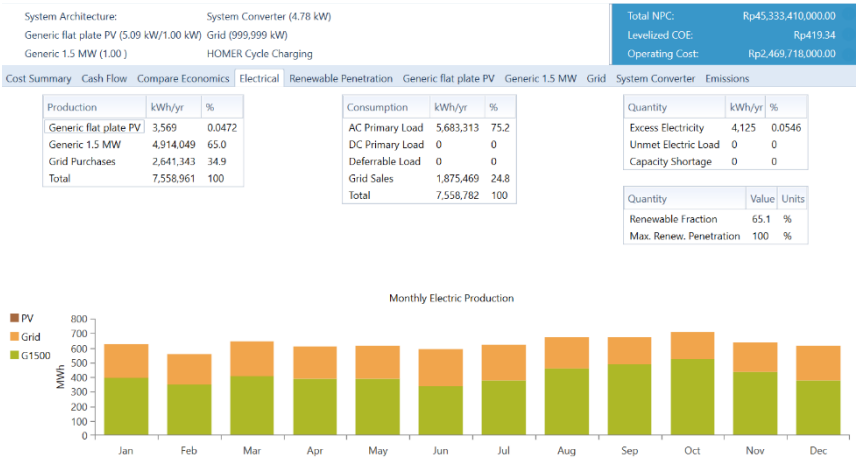
Dari sisi ekonomi, konfigurasi optimal menghasilkan NPC Rp. 45,33 miliar, COE Rp. 419,34/kWh, dan biaya operasi Rp. 2,47 miliar/tahun. PLTB 1,5 MW menjadi komponen utama dengan investasi sekitar Rp10 miliar dan total biaya sekitar Rp. 12,22 miliar, sedangkan biaya PLTS relatif kecil karena kapasitasnya hanya 5,09 kW. Penggunaan *grid* memberikan fleksibilitas dan keandalan pasokan, sementara baterai tidak dipilih pada konfigurasi dengan NPC terendah karena alternatif dengan baterai menghasilkan NPC lebih tinggi, sekitar Rp. 47,4 miliar. Peningkatan kapasitas PLTS menjadi 238 kW dengan baterai juga menghasilkan COE lebih tinggi, yaitu Rp. 446,91/kWh, sedangkan konfigurasi PV 322 kW tanpa PLTB mencapai NPC sekitar Rp. 117 miliar. Dengan demikian, PLTB 1,5 MW yang didukung PLTS berkapasitas kecil dan *grid* memberikan kombinasi teknis-ekonomis paling optimal untuk mendukung elektrifikasi Desa Anyar.

3.6. Analisis Produksi dan Konsumsi Energi serta *Renewable Fraction*

Dari sisi kelistrikan, sistem menghasilkan total energi sebesar 7.558.961 kWh/tahun. Produksi utama berasal dari PLTB *Generic* 1,5 MW sebesar 4.914.049 kWh/tahun (65,0%), sedangkan PLTS berkapasitas 5,09 kW menghasilkan 3.569 kWh/tahun (0,0472%). Kekurangan energi dipenuhi melalui *grid* sebesar 2.641.343 kWh/tahun (34,9%). Komposisi tersebut menunjukkan bahwa PLTB menjadi sumber energi utama dalam sistem, sementara kontribusi PLTS masih relatif kecil.

Pada sisi konsumsi, beban utama (*AC Primary Load*) mencapai 5.683.313 kWh/tahun (75,2%), sedangkan 1.875.469 kWh/tahun (24,8%) merupakan energi yang dijual kembali ke *grid*. Tidak terdapat *unmet electric load* maupun *capacity shortage*, yang menunjukkan bahwa seluruh kebutuhan beban dapat dipenuhi oleh sistem. Energi berlebih yang tercatat sebesar 4.125 kWh/tahun menunjukkan adanya surplus produksi pada periode tertentu.

Nilai *Renewable Fraction* (RF) sebesar 65,1% menunjukkan bahwa sekitar 65% kebutuhan energi sistem dapat dipenuhi oleh sumber energi terbarukan, terutama PLTB, dengan kontribusi PLTS yang relatif kecil. Nilai Maximum Renewable Penetration sebesar 100% juga menunjukkan bahwa pada kondisi tertentu seluruh kebutuhan beban dapat dipenuhi oleh pembangkitan energi terbarukan tanpa ketergantungan pada *grid*. Dengan demikian, sistem *hybrid* yang dirancang mampu meningkatkan pemanfaatan energi terbarukan sekaligus mempertahankan keandalan dan kontinuitas pasokan listrik melalui dukungan *grid* sebagaimana Gambar 9.



Gambar 9. Produksi dan Konsumsi Energi Sistem Optimal

3.7. Analisis Transaksi Energi dan Biaya Listrik Tahunan

Hasil transaksi energi dan biaya listrik bulanan sistem *hybrid* disajikan pada Tabel 3. Selama satu tahun, energi yang dibeli dari *grid* mencapai 2.641.343 kWh, sedangkan energi yang dijual kembali sebesar 1.875.469 kWh, sehingga transaksi bersih energi dari *grid* sebesar 765.874 kWh/tahun. Pembelian energi tertinggi terjadi pada Juni sebesar 254.039 kWh, sedangkan penjualan tertinggi terjadi pada Oktober sebesar 222.606 kWh.

Total biaya energi listrik yang dibeli dari *grid* mencapai Rp. 2,31 miliar/tahun, dengan biaya tertinggi pada Juni sebesar Rp. 270,66 juta dan terendah pada Oktober sebesar Rp. 88,31 juta. Tidak terdapat demand charge, sehingga biaya sepenuhnya berasal dari transaksi energi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pemanfaatan PLTS dan PLTB mampu mengurangi ketergantungan terhadap *grid*, sementara *grid*

tetap berperan sebagai penyeimbang untuk menjaga keandalan dan kontinuitas pasokan listrik serta sebagai media penyaluran surplus energi terbarukan.

Tabel 3. Transaksi Energi dan Biaya Listrik Tahunan.

Month	Energy Purchased (kWh)	Energi Sold (kWh)	Not Energy Purchased (kWh)	Peak Load (kW)	Energi Charge (Rp)	Demand Charge (Rp)
January	231,951	147,842	84,108	1,854	Rp216,662,885.03	Rp0
February	208,192	129,651	78,541	1,708	Rp196,908,143.24	Rp0
March	234,750	149,352	85,398	1,914	Rp219,497,558.16	Rp0
April	221,241	138,306	82,934	1,733	Rp208,826,453.00	Rp0
May	224,317	141,493	82,823	1,795	Rp210,718,648.03	Rp0
June	254,039	120,214	133,825	1,907	Rp270,660,785.93	Rp0
July	242,707	142,206	100,502	1,882	Rp236,704,928.80	Rp0
August	217,783	173,852	43,931	1,937	Rp175,397,095.13	Rp0
September	185,892	199,009	-13,117	1,984	Rp109,220,335.16	Rp0
October	184,482	222,606	-38,124	1,617	Rp88,307,036.16	Rp0
November	200,346	179,204	21,142	1,636	Rp145,936,788.47	Rp0
December	235,644	131,733	103,910	1,957	Rp234,883,114.27	Rp0
Annual	2,641,343	1,875,469	765,874	1,984	Rp2,313,723,771.40	Rp0

4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa Desa Anyar memiliki potensi energi terbarukan yang baik, dengan rata-rata GHI 5,24 kWh/m²/hari dan kecepatan angin 5,56 m/s pada ketinggian 50 m. Konfigurasi optimal terdiri atas PLTS 5,09 kW, PLTB Generic 1,5 MW, *grid*, dan converter 4,78 kW, menghasilkan energi sekitar 7,56 GWh/tahun dengan *Renewable Fraction* sebesar 65,1% dan *tanpa unmet electrical load*. Secara ekonomis, sistem menghasilkan NPC Rp. 45,33 miliar, COE Rp. 419,34/kWh, dan biaya operasi sekitar Rp. 2,47 miliar/tahun. Transaksi energi menunjukkan pembelian dari *grid* sebesar 2,64 GWh/tahun dan penjualan kembali sebesar 1,88 GWh/tahun, sehingga *grid* berperan sebagai penyeimbang untuk menjaga kontinuitas pasokan. Konfigurasi PLTS–PLTB–*Grid* memberikan kombinasi teknis dan ekonomis yang optimal serta berpotensi mendukung elektrifikasi Desa Anyar melalui peningkatan pemanfaatan energi terbarukan dan keandalan sistem listrik.

DAFTAR PUSTAKA

[1] N. B. Alnavis, R. R. Wirawan, K. I. Solihah, and V. H. Nugroho, "Energi listrik berkelanjutan: Potensi dan tantangan penyediaan energi listrik di Indonesia," *J. Innov. Mater. Energy, Sustain. Eng.*, vol. 1, no. 2, pp. 119–139, 2024, doi: 10.61511/jimese.v1i2.2024.544.

[2] D. Avşar, D. Temiz, and A. Gökmen, "The Effect of Technological Development on Renewable Energy," *J. Comp. Asian Dev.*, vol. 21, no. 1, pp. 1–28, 2025, doi: 10.4018/JCAD.367696.

[3] A. Hasna and T. Fitriani, *Buku Panduan: Pembangunan Listrik Energi Terbarukan Berbasis Komunitas*. Perkumpulan Aksi Ekologi dan Emansipasi Rakyat (AEER), 2025.

[4] P. Manohara, Brigita and T. Suprajogo, "Implementasi Kebijakan Transisi Energi di Indonesia , Tantangan dan Strategi Menuju NZE 2060," *J. Sos. Hum. dan Pendidik.*, vol. 5, no. 1, pp. 5582–596, 2026.

[5] J. Langer, J. Quist, and K. Blok, "Review of renewable energy potentials in indonesia and their contribution to a 100% renewable electricity system," *Energies*, vol. 14, no. 21, 2021, doi: 10.3390/en14217033.

[6] Anisa Niwanda, Elsa Kardiana, Muhammad Arif, Putri Rahmadani, Ridho Amalan Saufi, and Suandro Mangihut Manik, "Analisis Potensi Pemanfaatan Energi Matahari Melalui Panel Surya di Kota Medan," *Sos. J. Ilm. Pendidik. IPS*, vol. 3, no. 3, pp. 01–11, 2025, doi: 10.62383/sosial.v3i3.967.

[7] N. A. Pambudi *et al.*, "The Future of Wind Power Plants in Indonesia: Potential, Challenges, and Policies," *Sustain.*, vol. 17, no. 3, 2025, doi: 10.3390/su17031312.

[8] R. Sirait, L. H. Lubis, and T. Noveni, "Analisis Kondisi Angin Menggunakan Diagram Windrose Sebagai Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu di Kecamatan Percut Sei Tuan Kabupaten Deli Serdang," *J. Engine Energi, Manufaktur, dan Mater.*, vol. 7, no. 2, p. 27, 2023, doi: 10.30588/jeemm.v7i2.1465.

[9] A. B. Muljono, H. Sasmita, and A. Purna, "Optimasi Pemanfaatan Energi Alternatif Berbasis *Hybrid* di Desa Sembalun Bumbung , Kabupaten Lombok Timur," *Jeitech (Journal Electr. Eng. Inf. Technol.*, vol. 1, no. 2, pp. 30–37, 2023.

[10] F. U. Rahman, C. P. Maharani, N. Habiiburrahman, M. D. Pratama, and A. B. Muljono, "Desain Sistem Pembangkit Listrik Optimal On-Grid Tenaga Surya," *Jeitech (Journal Electr. Eng. Inf. Technol.*, vol. 2, no. 2, pp. 45–55, 2024, [Online]. Available: https://journal.unram.ac.id/index.php/jeitech/article/view/5034

[11] M. Hasan, N. A. Zarin, M. R. Ahmed, and O. Farrok, "Global pathways for hybrid renewable energy systems: challenges, solutions, policy, and regulatory frameworks," *Energy Convers. Manag. X*, vol. 29, no. August 2025, p. 101534, 2026, doi: 10.1016/j.ecmx.2026.101534.

[12] G. Rajendran, R. Raute, and C. Caruana, "A Comprehensive Review of Solar PV Integration with Smart-Grids: Challenges, Standards, and Grid Codes," *Energies*, vol. 18, no. 9, 2025, doi: 10.3390/en18092221.

[13] Q. Hassan, S. Algburi, A. Z. Sameen, H. M. Salman, and M. Jaszczur, "A review of hybrid renewable energy systems: Solar and wind-powered solutions: Challenges, opportunities, and policy implications," *Results Eng.*, vol. 20, no. September, p. 101621, 2023, doi: 10.1016/j.rineng.2023.101621.

[14] M. Juherwin, R. Irawan, and M. F. Misnan, "Model Integrasi Tenaga Surya-Angin dengan Penyimpanan berbasis Superkapasitor-Baterai pada Kondisi Cuaca dan Beban Dinamis," *JET (Journal Electr. Technol.*, vol. 11, no. 1, pp. 10–19, 2026, doi: 10.30743/jet.v11i1.13370.

[15] F. K. Alhousni, P. C. Okonkwo, and E. M. Barhoumi, "Review of Optimal Design and Enhanced Hybrid Energy Systems Using Energy Management Strategies," *Energies*, vol. 18, no. 21, pp. 1–28, 2025, doi: 10.3390/en18215652.

[16] S. W. Chisale, S. Eliya, and J. Taulo, "Optimization and design of hybrid power system using HOMER pro and integrated CRITIC-PROMETHEE II approaches," *Green Technol. Sustain.*, vol. 1, no. 1, p. 100005, 2023, doi: 10.1016/j.grets.2022.100005.

[17] S. Aljishi *et al.*, "Techno-Economic Assessment of Hybrid Renewable Energy Systems for Direct Air Capture in Saudi Arabia," *Sustain.*, vol. 17, no. 17, pp. 1–20, 2025, doi: 10.3390/su17177659.

[18] A. B. Muljono, S. B. Poetra, and L. Parhan, "Pendekatan Tekno-Ekonomi untuk Pengembangan Sistem Energi Hibrida Hidro-Biomassa untuk Pasokan Listrik Berkelanjutan di Daerah Pedesaan," *Jeitech (Journal ...*, vol. 3, no. 1, pp. 17–25, 2025, [Online]. Available: https://journal.unram.ac.id/index.php/jeitech/article/view/6435

[19] A. Budi Muljono, A. Supriadi, M. Rivaldi Harjian, and C. Author, "Analisis Tekno-Ekonomi dan Fraksi Energi Terbarukan pada Sistem Energi Hibrid Off-Grid Berbasis Potensi Energi Lokal Menggunakan Software HOMER ARTICLE INFO ABSTRACT," *Jeitech (Journal Electr. Eng. Inf. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 14–24, 2025, [Online]. Available: https://journal.unram.ac.id/index.php/jeitech/

[20] HOMER® Energy, "HOMER ENERGY version 3.7 Help Manual," no. August, p. 417, 2016.

[21] BPS, *Kecamatan Bayan Dalam Angka 2025*, 14th ed. Badan Pusat Statistik Kabupaten Lombok Utara, 2025.