EMPD 5 (2) Nopember 2026, 471-483 ISSN 2964-6987
Energy, Materials and Product Design
https://journal.unram.ac.id/index.php/empd

PEMODELAN DAN OPTIMASI SISTEM HIBRIDA PLTS–PLTB–GRID BERDASARKAN POTENSI ENERGI LOKAL MENGGUNAKAN HOMER PRO DI DESA GILI GEDE INDAH

MODELING AND OPTIMIZATION OF A PV–WIND–GRID HYBRID ENERGY SYSTEM BASED ON LOCAL ENERGY POTENTIAL USING HOMER PRO IN GILI GEDE INDAH VILLAGE

Agung Budi Muljono, Akhmad Ridho Travelta*, Iman Dwi Rizki, Zakia Rizka Harmina

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Jl. Majapahit No. 62 Mataram-NTB

*Corresponding author
E-mail addresses: ridhotravelta69@gmail.com
https://doi.org/10.29303/empd.v5n2.471-483
Received 7 September 2026; Received in revised form 6 October 2026; Accepted 7 October 2026

ABSTRACT

This study develops and optimizes a PV–wind–grid hybrid energy system based on local renewable energy potential in Gili Gede Indah Village, West Lombok, Indonesia, using HOMER Pro. The analysis considers solar and wind resources, electricity demand, and techno-economic parameters to identify an appropriate system configuration for the study area. The simulation results show that the selected configuration consists of a 1,200 kW PV system, five 10 kW wind turbines, a grid connection with a capacity of 999.99 kW, and an 800 kW converter. The system produces 2,053,522 kWh/year from PV and 50,333 kWh/year from wind, while the grid supplies 649,741 kWh/year. The modeled annual electricity demand is 1,149,524 kWh, with zero unmet electrical load. The resulting NPC and COE are IDR 5,501,519,000 and IDR 165.86/kWh, respectively, while the Renewable Fraction is 74.7%. The results indicate that the modeled PV–wind–grid configuration can meet the simulated electricity demand and provide the evaluated technical and economic performance under the assumptions applied in HOMER Pro.

Keywords: *PV–wind–grid hybrid energy system, HOMER pro, Local energy potential, Renewable energy, Techno-economic analysis*

1. Pendahuluan

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan utama dalam menunjang aktivitas masyarakat, pertumbuhan ekonomi, serta pembangunan yang berkelanjutan. Seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk dan berkembangnya berbagai sektor ekonomi, kebutuhan energi listrik terus mengalami peningkatan dari waktu ke waktu [1, 2, 3]. Di sisi lain, ketergantungan terhadap sumber energi fosil masih menjadi tantangan karena ketersediaannya yang terbatas serta dampaknya terhadap lingkungan melalui emisi gas rumah kaca. Oleh karena itu, pemanfaatan sumber energi terbarukan terus dikembangkan sebagai salah satu upaya untuk mendukung ketahanan energi dan keberlanjutan lingkungan [4].

Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang cukup besar, khususnya energi surya dan energi angin. Letak geografis Indonesia yang berada di sekitar garis khatulistiwa menyebabkan intensitas radiasi matahari relatif tinggi sepanjang tahun sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai

sumber energi listrik melalui Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) [5, 6]. Selain itu, wilayah pesisir dan kepulauan di Indonesia juga memiliki potensi energi angin yang dapat dimanfaatkan melalui Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) [7]. Pemanfaatan kedua sumber energi tersebut dapat meningkatkan porsi energi terbarukan dalam bauran energi nasional sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap pembangkit berbahan bakar fosil [8, 9]. Salah satu pendekatan yang banyak diterapkan dalam pengembangan sistem energi terbarukan adalah integrasi beberapa sumber energi ke dalam suatu sistem hibrida. Kombinasi PLTS, PLTB, dan jaringan PLN mampu meningkatkan keandalan pasokan energi karena karakteristik masing-masing sumber energi dapat saling melengkapi [10, 11]. Saat produksi energi terbarukan berkurang, jaringan PLN bertindak sebagai sumber energi bantu untuk mempertahankan pasokan listrik tetap berjalan lancar. Kalau produksi energi terbarukan lebih besar dari kebutuhan, energi tersebut bisa digunakan lebih baik lagi dengan terhubung ke jaringan listrik yang ada [12, 13].

Agar mendapatkan konfigurasi sistem yang sesuai dengan ciri khas daerah dan kebutuhan energi, diperlukan analisis yang memperhatikan aspek teknis dan ekonomis sekaligus. Salah satu *software* simulator yang digunakan untuk mensimulasikan dan mengoptimalkan sistem energi hibrida adalah *HOMER Pro*. Simulator ini dapat mengevaluasi berbagai opsi konfigurasi sistem berdasarkan pada parameter teknis dan ekonomis, seperti *Net Present Cost* (NPC), *Cost of Energy* (COE), dan *Renewable Fraction* (RF) [14, 15, 16, 17]. Dengan menerapkan proses simulasi dan optimasi, sistem yang paling tepat dapat dipilih sesuai dengan kondisi sumber energi dan sifat beban di lokasi penelitian [18, 19]. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem energi hibrida menggunakan *HOMER Pro*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi beberapa sumber energi terbarukan mampu meningkatkan pemanfaatan energi lokal sekaligus menekan biaya energi pada wilayah pedesaan [18, 19, 20]. Penelitian lain menunjukkan bahwa sistem *hybrid off-grid* dapat menjadi solusi yang layak secara teknis dan ekonomis untuk mendukung elektrifikasi daerah terpencil [21, 22]. Selain itu, penerapan sistem PLTS hibrida menggunakan *HOMER Pro* terbukti mampu menghasilkan konfigurasi sistem yang efisien dengan biaya energi yang kompetitif [23]. Hasil-hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa *HOMER Pro* merupakan perangkat yang efektif untuk mengevaluasi performa dan kelayakan sistem energi hibrida.

Desa Gili Gede Indah yang terletak di Kecamatan Sekotong, Kabupaten Lombok Barat merupakan wilayah kepulauan yang memiliki potensi energi surya dan energi angin yang cukup baik. Selain didukung oleh kondisi geografis yang memungkinkan pemanfaatan energi terbarukan, wilayah ini juga mengalami perkembangan aktivitas ekonomi, fasilitas umum, usaha mikro kecil dan menengah (UMKM), serta sektor pariwisata yang menyebabkan kebutuhan energi listrik terus meningkat. Kondisi tersebut menjadikan pengembangan sistem pembangkit listrik berbasis energi terbarukan sebagai salah satu alternatif yang layak untuk dikaji. Meskipun banyak penelitian tentang sistem energi hibrida yang sudah dilakukan, sebagian besar penelitian tersebut masih memfokuskan diri pada sistem *off-grid* atau *on-grid* di area dengan beban yang sifatnya tidak terlalu kompleks [19, 21, 24, 25]. Penelitian tentang penggabungan PLTS dan PLTB dengan jaringan listrik PLN di daerah kepulauan yang memiliki karakteristik beban dari sektor rumah tangga, fasilitas umum, usaha mikro kecil menengah, dan aktivitas pariwisata masih belum banyak dilakukan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk memodelkan dan mengoptimasi sistem energi hibrida PLTS–PLTB–Grid berdasarkan potensi energi surya dan angin lokal serta karakteristik beban listrik di Desa Gili Gede Indah menggunakan *HOMER Pro*. Analisis dilakukan untuk menentukan konfigurasi kapasitas pembangkit yang mampu memenuhi kebutuhan energi listrik dengan mempertimbangkan aspek teknis dan ekonomi, meliputi produksi energi, kontribusi energi terbarukan, *Net Present Cost* (NPC), dan *Cost of Energy* (COE). Penelitian ini mengembangkan pemodelan sistem PLTS–PLTB–Grid pada wilayah kepulauan dengan mempertimbangkan potensi energi lokal dan karakteristik beban masyarakat setempat.

2. Bahan dan Metode

Penelitian dilakukan di Desa Gili Gede Indah, Kecamatan Sekotong, Kabupaten Lombok Barat, Nusa Tenggara Barat, dengan memodelkan sistem hibrida PLTS–PLTB–Grid menggunakan *HOMER Pro*. Data penelitian meliputi radiasi matahari, kecepatan angin, profil beban listrik, serta parameter teknis dan ekonomi sistem. Data radiasi matahari dan kecepatan angin diperoleh dari *NASA POWER* periode 2020–2025 dengan resolusi data yang digunakan dalam pemodelan dan dibandingkan dengan

perhitungan teoritis DNI. Data jumlah rumah tangga, fasilitas umum, dan karakteristik wilayah diperoleh dari Kecamatan Sekotong dalam Angka. Data tersebut digunakan sebagai dasar penyusunan kelompok konsumen dan estimasi kebutuhan energi listrik.

Profil beban disusun berdasarkan kelompok rumah tangga, fasilitas umum, UMKM, dan aktivitas pendukung lainnya dengan mempertimbangkan jenis peralatan, daya, durasi, dan pola penggunaannya. Profil tersebut dikonversi menjadi beban listrik per jam sebagai masukan *HOMER Pro*. Sistem yang dimodelkan terdiri atas PLTS, PLTB, jaringan PLN, dan konverter. Berdasarkan Kecamatan Sekotong dalam Angka, Desa Gili Gede Indah memiliki jumlah penduduk sebanyak 1.424 jiwa yang terdiri atas 469 rumah tangga, dengan luas wilayah sekitar 407 ha (4,07 km²). Aktivitas ekonomi dan pelayanan masyarakat didukung oleh 30 unit UMKM, 3 unit sarana pendidikan, 1 unit posyandu, 3 unit masjid, 2 unit mushola, dan 1 unit kantor desa. Selain itu, aktivitas pariwisata didukung oleh 10 unit hotel. Data tersebut digunakan sebagai dasar untuk menentukan kelompok konsumen dan menyusun profil kebutuhan energi listrik Desa Gili Gede Indah [26].

Parameter teknis dan ekonomi periode bulan April-Juni 2026 yang digunakan dalam simulasi disajikan pada Tabel 1.

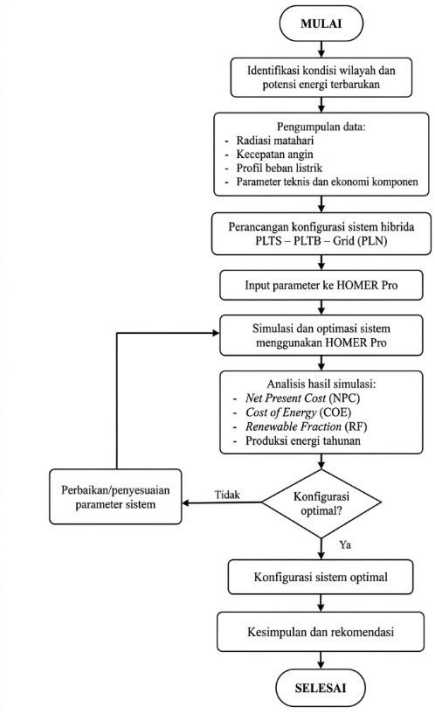
Tabel 1 Parameter teknis dan ekonomi sistem

Parameter	Nilai	Sumber
PV *capital cost*	Rp 7.000.000/kWp	Tokopedia, Shopee
PV O&M	Rp 1.500.000/tahun	Estimasi penelitian
Wind capital cost	Rp 150.000.000/10kW	Tokopedia, Alibaba
Wind O&M	Rp 15.000.000/tahun	Estimasi penelitian
Converter cost	Rp 2.500.000/kW	Tokopedia, Shopee
Grid electricity price	Rp 1.444,7/kWh	PLN
Grid sellback price	Rp 0/kWh	Permen ESDM No. 2 Tahun 2024
Discount rate	5,88 %	Bank Indonesia
Inflation rate	2,0%	Bank Indonesia

Harga investasi komponen diperoleh dari penelusuran Tokopedia, Shopee, dan Alibaba berdasarkan kesesuaian spesifikasi komponen, sedangkan biaya O&M dan penggantian komponen ditentukan berdasarkan estimasi penelitian. Parameter inflasi dan *discount rate* mengacu pada Bank Indonesia, sedangkan tarif listrik jaringan mengacu pada PLN dan Permen ESDM No. 2 Tahun 2024. Parameter teknis dan umur komponen mengacu pada datasheet atau katalog komponen yang digunakan. Profil beban listrik dikelompokkan menjadi beban rumah tangga, fasilitas umum, UMKM, dan sektor pariwisata. Penyusunan beban dilakukan dengan mempertimbangkan jumlah pengguna atau unit fasilitas, jenis peralatan listrik, daya nominal, durasi penggunaan, serta pola penggunaan harian. Dengan demikian, karakteristik demografi, fasilitas umum, kegiatan ekonomi, dan pariwisata digunakan sebagai parameter dalam membentuk profil beban listrik yang selanjutnya menjadi masukan pada simulasi HOMER Pro. Sistem yang dimodelkan terdiri atas PLTS, PLTB, jaringan PLN, dan konverter. Simulasi dilakukan untuk menentukan kombinasi kapasitas komponen yang optimal berdasarkan potensi sumber energi, karakteristik beban, dan parameter ekonomi. Evaluasi sistem dilakukan berdasarkan aspek teknis dan ekonomi, meliputi kemampuan memenuhi beban, produksi energi, *Net Present Cost* (NPC), *Cost of Energy* (COE), dan *Renewable Fraction* (RF) [27, 28, 29].

Penelitian diawali dengan identifikasi kondisi wilayah penelitian dan pengumpulan data yang diperlukan dalam simulasi. Data penelitian mencakup radiasi matahari, kecepatan angin, profil beban listrik, serta parameter teknis dan ekonomi sistem. Data radiasi matahari dan kecepatan angin diperoleh dari basis data *NASA POWER*, sedangkan profil beban listrik ditentukan berdasarkan kebutuhan energi rumah tangga, fasilitas umum, UMKM, dan aktivitas pendukung lainnya di Desa Gili Gede Indah. Simulasi dilakukan untuk memperoleh kombinasi kapasitas PLTS, PLTB, jaringan PLN, dan konverter yang memenuhi kebutuhan beban dengan mempertimbangkan parameter teknis dan ekonomi. Hasil simulasi dievaluasi berdasarkan *Net Present Cost* (NPC), *Cost of Energy* (COE), *Renewable Fraction* (RF), produksi energi, unmet load, dan *excess electricity*. Konfigurasi optimum ditentukan berdasarkan hasil optimasi *HOMER Pro* dengan mempertimbangkan indikator teknis dan ekonomi tersebut. Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.

.



Gambar 1 Diagram alir prosedur penelitian dan analisis data

Perhitungan teoritis radiasi matahari dilakukan menggunakan pendekatan Archie W. Culp Jr [30]. Tahapan perhitungan meliputi penentuan *Mean Solar Time* (MST), *Apparent Solar Time* (AST), sudut jam matahari (H), sudut elevasi matahari (β_1), dan *Direct Normal Irradiance* (DNI), sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan 1–5. MST ditentukan berdasarkan waktu standar lokal dan koreksi perbedaan bujur, sedangkan AST diperoleh dengan memperhitungkan *equation of time*. Selanjutnya, sudut elevasi matahari dihitung berdasarkan lintang lokasi, deklinasi matahari, dan sudut jam, kemudian DNI dihitung menggunakan pendekatan Culp. Hasil perhitungan DNI digunakan sebagai analisis teoritis pendukung, sedangkan data GHI dari *NASA POWER* digunakan sebagai *solar resource* untuk input simulasi *HOMER Pro*.

$$t_{MST} = (t_{SL} - 1{:}00) + 4(L_{std} - L_{loc}) \quad (1)$$

$$t_{AST} = t_{MST} + t_{prsm} \quad (2)$$

$$\sin\beta_1 = \cos L \cos\delta \cos H + \sin L \sin\delta \quad (3)$$

$$H = 0.25[t_b - t_a(\pm) \text{ tengah hari}] \quad (4)$$

$$I_{DN} = Ae^{-B/\sin\beta_1} \quad (5)$$

dengan t_{SL} adalah waktu standar lokal (jam), t_{MST} adalah *Mean Solar Time* (jam), t_{AST} adalah *Apparent Solar Time* (jam), t_{prsm} adalah *equation of time* (menit), L adalah lintang lokasi (°), δ adalah deklinasi matahari (°), H adalah sudut jam matahari (°), β_1 adalah sudut elevasi matahari (°), serta I_{DN} adalah *Direct Normal Irradiance* (W/m²). Perhitungan tersebut berfungsi sebagai pembanding dan validasi teoritis terhadap karakteristik sumber daya surya di lokasi penelitian.

Evaluasi sistem energi hibrida pada penelitian ini dilakukan menggunakan pendekatan *techno-economic analysis* yang mempertimbangkan aspek teknis dan ekonomis secara terintegrasi. Pendekatan ini digunakan untuk menentukan konfigurasi sistem yang mampu memenuhi kebutuhan energi listrik dengan biaya yang optimal serta tingkat pemanfaatan energi terbarukan yang tinggi. Parameter yang digunakan dalam analisis meliputi *Cost of Energy* (COE), *Net Present Cost* (NPC), dan *Renewable Fraction* (RF) yang diperoleh dari hasil simulasi menggunakan *HOMER Pro*. *Cost of Energy* (COE) digunakan untuk menunjukkan biaya rata-rata yang diperlukan dalam menghasilkan energi listrik pada

sistem yang dirancang. Nilai ini menggambarkan besarnya biaya yang harus dikeluarkan untuk setiap satu kilowatt-hour (kWh) energi yang disalurkan ke beban. Semakin rendah nilai COE yang diperoleh, maka semakin baik tingkat keekonomian sistem yang dihasilkan [14, 31]. Perhitungan COE dinyatakan pada Persamaan 6.

$$COE = \frac{C_{total}}{E_{several}} \text{ (Rp/kWh)} \quad (6)$$

*Net Present Cost (*NPC*)* digunakan untuk menggambarkan total biaya yang harus ditanggung selama umur proyek dengan mempertimbangkan nilai waktu uang *(time value of money).* Parameter ini mencakup biaya investasi awal, biaya penggantian komponen, biaya operasi dan pemeliharaan, serta biaya energi yang digunakan. Dalam analisis sistem energi, NPC sering digunakan sebagai indikator utama untuk menentukan konfigurasi sistem yang paling layak secara ekonomis [14, 31]. Nilai NPC dihitung menggunakan Persamaan 7.

$$NPC = \sum_{t=0}^{N} \frac{C_t}{(1+i)^t} \ (Rp) \quad (7)$$

Renewable Fraction (RF) menunjukkan seberapa besar energi terbarukan yang digunakan dalam sistem dibandingkan dengan total energi yang digunakan. Parameter ini digunakan untuk mengetahui seberapa besar kebutuhan listrik dapat dipenuhi oleh sumber energi terbarukan yang ada. Nilai RF yang semakin besar menunjukkan penggunaan energi terbarukan semakin tinggi, sehingga ketergantungan pada sumber energi konvensional bisa semakin berkurang [14, 32]. Nilai RF dapat dihitung menggunakan Persamaan 8.

$$RF = \frac{E_{EBT}}{E_{total}} \ (\%) \quad (8)$$

COE, NPC, dan RF dipilih sebagai indikator utama untuk merepresentasikan biaya energi, keekonomian total sistem, dan kontribusi energi terbarukan. Dalam optimasi *HOMER Pro*, konfigurasi yang memenuhi batasan teknis dan kebutuhan beban dievaluasi berdasarkan NPC sebagai indikator ekonomi utama, sedangkan COE dan RF digunakan untuk menilai biaya energi dan tingkat pemanfaatan energi terbarukan.

3. Hasil dan Pembahasan

Desa Gili Gede Indah merupakan wilayah kepulauan pesisir yang memiliki potensi pengembangan energi terbarukan, khususnya energi surya dan angin. Kondisi geografis yang terbuka serta paparan sinar matahari sepanjang tahun mendukung pemanfaatan energi surya, sedangkan karakteristik perbukitan dan kawasan perairan terbuka berpotensi mendukung pemanfaatan energi angin. Lokasi rencana pembangunan PLTS berada di bagian tengah-utara Pulau Gili Gede pada koordinat 8,741139° LS dan 115,921914° BT, yang dipilih karena memiliki area terbuka dengan hambatan bayangan relatif rendah serta berada dekat dengan permukiman dan kawasan pariwisata. Sementara itu, lokasi rencana pembangunan PLTB berada pada area perbukitan di bagian utara Pulau Gili Gede pada koordinat 8,734967° LS dan 115,921721° BT. Lokasi tersebut memiliki elevasi lebih tinggi dan berhadapan langsung dengan perairan terbuka sehingga berpotensi memperoleh kondisi angin yang lebih baik. Lokasi rencana potensi PLTS dan PLTB masing-masing ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3. Profil beban listrik disusun berdasarkan jumlah pengguna, jenis peralatan, daya, dan pola waktu penggunaannya selama 24 jam. Beban rumah tangga dihitung untuk 469 rumah tangga dengan peralatan utama berupa lampu, TV, kulkas, setrika, kipas angin, dan *magic com*. Hasil perhitungan menunjukkan kebutuhan energi sebesar 2.954,22 kWh/hari, dengan beban tertinggi 280,46 kWh pada pukul 18.00–19.00. Dalam penelitian ini, beban fasilitas umum dan pariwisata meliputi sarana pendidikan, sarana ibadah, fasilitas kesehatan, hotel/penginapan, dan UMKM. Peralatan listrik pada setiap fasilitas disesuaikan dengan fungsi dan aktivitas operasionalnya. Sarana pendidikan menggunakan lampu dan komputer, sedangkan sarana ibadah menggunakan lampu, pengeras suara, dan kipas angin. Sektor pariwisata terdiri atas 10

hotel/penginapan kecil dengan beban utama berupa lampu, televisi, dan pendingin ruangan (AC), yang penggunaannya disesuaikan dengan pola operasional penginapan.

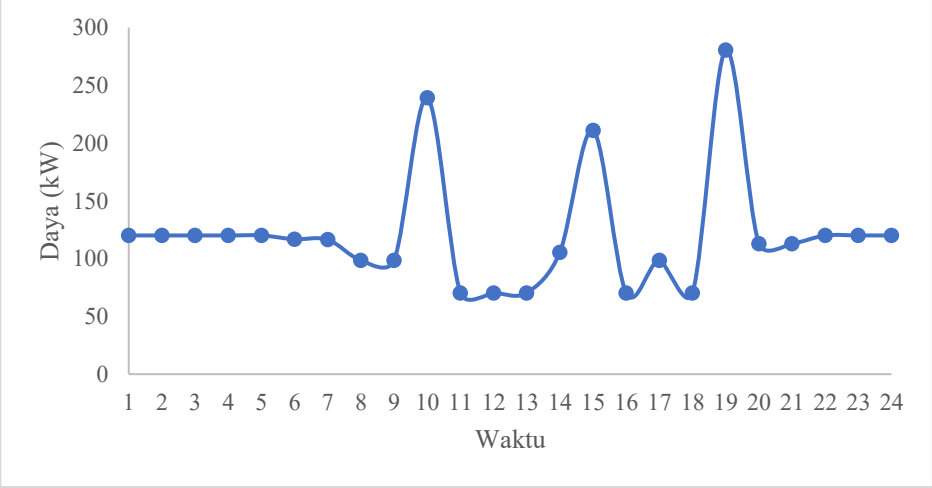


Gambar 2 Lokasi perencanaan sistem PLTS



Gambar 3 Lokasi perencanaan sistem PLTB

Profil beban pada Gambar 4, digunakan dalam simulasi *HOMER Pro* diperoleh dari penjumlahan kebutuhan energi rumah tangga, pariwisata, dan fasilitas umum berdasarkan jumlah pengguna/fasilitas, daya peralatan, serta durasi operasional selama 24 jam. Perbedaan yang cukup besar antara beban minimum dan beban maksimum menunjukkan bahwa kebutuhan energi listrik di wilayah penelitian bersifat dinamis dan dipengaruhi oleh aktivitas masyarakat pada waktu tertentu. Pola konsumsi tersebut mengindikasikan perlunya sistem penyediaan energi yang mampu beroperasi secara andal pada saat terjadi peningkatan beban, terutama pada periode beban puncak malam hari. Oleh karena itu, penerapan sistem pembangkit listrik hibrida PLTS–PLTB–Grid diharapkan dapat menjaga kontinuitas pasokan energi sekaligus mengoptimalkan pemanfaatan sumber energi terbarukan yang tersedia di lokasi penelitian.



Gambar 4 Profil beban harian Desa Gili Gede Indah

Data radiasi matahari yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari basis data *NASA POWER* pada lokasi Desa Gili Gede Indah dengan koordinat 8°44'46,08" LS dan 115°55'26,76" BT. Data tersebut berupa nilai rata-rata radiasi matahari bulanan selama periode 2020–2025 yang selanjutnya digunakan sebagai salah satu parameter masukan dalam pemodelan dan simulasi sistem menggunakan *HOMER Pro*. Data *NASA POWER* menunjukkan rata-rata GHI sebesar 5,461 kWh/m²/hari, sedangkan hasil perhitungan teoritis menggunakan Persamaan 1–5 mencapai 5,865 kWh/m²/hari, atau sekitar 7,4% lebih tinggi. Perbedaan terbesar terjadi pada Januari, Februari, dan Desember, sedangkan pada Agustus–Oktober data *NASA POWER* sedikit lebih tinggi dibandingkan

hasil teoritis. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh karakteristik metode perhitungan, karena pendekatan teoritis terutama menggunakan parameter astronomi, sedangkan *NASA POWER* mempertimbangkan kondisi atmosfer melalui pemodelan dan penginderaan. Oleh karena itu, data *NASA POWER* digunakan sebagai masukan radiasi pada simulasi *HOMER Pro*, sedangkan hasil teoritis digunakan sebagai pembanding karakteristik radiasi di lokasi penelitian, sebagaimana pada Tabel 2.

Tabel 2 Data *global horizontal irradiance* (GHI) tahun 2020 – 2025 (kWh/m²/hari) dan DNI

Year	*Jan*	*Feb*	*Mar*	*Apr*	*May*	*Jun*	*Jul*	*Aug*	*Sep*	*Oct*	*Nov*	*Dec*
2020	5,949	5,654	5,726	5,652	4,912	5,042	5,153	5,832	6,385	6,029	6,004	4,836
2021	4,687	5,027	5,605	5,724	5,410	4,986	5,320	5,634	5,833	6,240	5,114	5,263
2022	5,156	5,357	5,557	5,444	4,962	4,727	4,948	5,476	5,945	5,584	5,259	5,410
2023	5,471	4,645	5,928	5,214	5,346	5,165	4,935	5,999	6,425	6,973	6,505	6,374
2024	5,327	5,733	5,291	5,184	5,315	4,770	5,087	5,834	6,317	6,771	6,079	4,016
2025	4,538	5,099	5,068	5,665	4,510	4,454	4,782	5,641	5,932	6,324	5,464	5,124
Rerata *Nasa Power*	5,189	5,253	5,523	5,481	5,076	4,858	5,038	5,736	6,140	6,321	5,738	5,180
Rerata Perhitungan	6,258	6,238	6,062	5,681	5,413	5,346	5,292	5,576	5,901	6,167	6,221	6,229

Data kecepatan angin pada penelitian ini diperoleh dari basis data *NASA POWER* berdasarkan lokasi Desa Gili Gede Indah, Kecamatan Sekotong, Kabupaten Lombok Barat pada periode 2020–2025. Data tersebut diolah menjadi nilai rata-rata bulanan dan digunakan sebagai parameter masukan dalam simulasi *HOMER Pro*. Berdasarkan Tabel 3, kecepatan angin rata-rata tahunan di lokasi penelitian sebesar 3,25 m/s. Nilai kecepatan angin tertinggi terjadi pada bulan Agustus sebesar 4,23 m/s dan Juli sebesar 4,21 m/s, sedangkan nilai terendah tercatat pada bulan Nopember sebesar 2,43 m/s. Secara umum, kecepatan angin cenderung meningkat mulai bulan Mei hingga September sebelum kembali menurun pada akhir tahun.

Tabel 3 Kecepatan angin pada ketinggian 50-meter (m/s) tahun 2020 – 2025

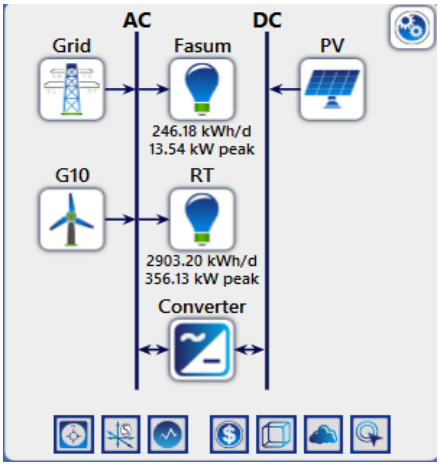
Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2020	2,84	2,16	2,03	2,31	3,06	3,91	4,26	4,03	4,28	3,99	2,72	2,79
2021	2,65	3,09	2,12	2,86	3,2	2,79	3,8	4,41	4,27	3,83	2,2	2,43
2022	3,13	2,52	2,33	2,37	2,41	3,21	3,94	4	3,98	3,29	2	2,82
2023	3,29	3,39	2,06	2,7	3,72	3,43	4,66	4,32	4,3	3,11	3,44	2,98
2024	2,58	1,91	2,75	2,66	3,73	3,77	4,27	4,36	3,64	4,18	2,15	3,11
2025	2,85	3	2,68	2,44	3,02	4,1	4,39	4,07	4,24	2,84	2,36	3,02
Rerata	2,9	2,782	2,388	2,606	3,216	3,46	4,212	4,232	4,086	3,45	2,43	2,872



Gambar 5 Profil rerata kecepatan angin Gili Gede Indah

Berdasarkan Gambar 5, pola kecepatan angin menunjukkan adanya variasi musiman yang cukup jelas sepanjang tahun. Kecepatan angin yang relatif tinggi pada periode pertengahan tahun berpotensi meningkatkan produksi energi listrik dari PLTB, sedangkan penurunan kecepatan angin pada beberapa bulan tertentu dapat mengurangi daya keluaran turbin angin. Meskipun nilai kecepatan angin rata-rata yang diperoleh masih lebih rendah dibandingkan potensi energi surya, keberadaan PLTB tetap memberikan kontribusi dalam sistem hibrida yang dirancang karena dapat melengkapi produksi energi PLTS pada kondisi tertentu. Oleh karena itu, pemanfaatan energi angin di Desa Gili Gede Indah tetap memiliki potensi untuk mendukung peningkatan pemanfaatan energi terbarukan dalam sistem PLTS–PLTB–Grid.

Sistem energi hibrida yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari PLTS, PLTB, jaringan PLN, dan konverter, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Sistem ini dibuat agar bisa memenuhi kebutuhan listrik di Desa Gili Gede Indah.Kebutuhan listrik total mencapai 3.149,38 kWh setiap hari, yang terbagi menjadi 2.903,20 kWh untuk kebutuhan rumah tangga dan 246,18 kWh untuk fasilitas umum.Selain itu, sistem ini juga bisa menyalurkan daya maksimal hingga 356,13 kW. PLTS menjadi sumber energi utama, sedangkan PLTB digunakan sebagai tambahan untuk meningkatkan penggunaan energi terbarukan. Jaringan PLN diintegrasikan agar pasokan energi tetap berjalan terus menerus ketika energi terbarukan tidak cukup memenuhi kebutuhan beban, sedangkan konverter digunakan untuk menghubungkan bagian bus DC dan bus AC dalam sistem. Konfigurasi tersebut kemudian diuji menggunakan *HOMER Pro* agar bisa menemukan kombinasi sistem yang paling cocok berdasarkan pertimbangan teknis dan ekonomis.

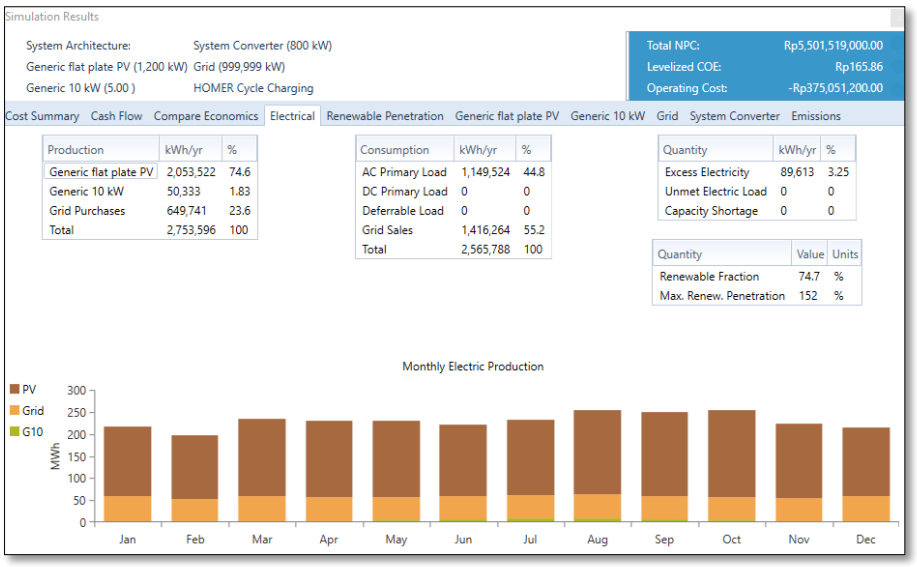


Gambar 6 Rancangan opsi sistem penyediaan daya listrik hibrida di Desa Gili Gede Indah

Hasil simulasi HOMER Pro menunjukkan bahwa konfigurasi optimal sistem hibrida terdiri atas PLTS 1.200 kW, PLTB 5 × 10 kW, dan jaringan PLN grid 999.999 kW, dengan total produksi energi sebesar 2.753.596 kWh/tahun. PLTS menjadi sumber energi utama dengan produksi 2.053.522 kWh/tahun (74,6%), sedangkan PLTB menghasilkan 50.333 kWh/tahun (1,83%) dan jaringan PLN menyuplai 649.741 kWh/tahun (23,6%), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7 dan 8.

Architecture									Cost				System	
				PV (kW)	G10	Grid (kW)	Converter (kW)	Dispatch	NPC (Rp)	COE (Rp)	Operating cost (Rp/yr)	Initial capital (Rp)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)
				1,200		999,999	800	CC	Rp4.99B	Rp152.42	-Rp356M	Rp9.60B	73.6	0
				1,200	5	999,999	800	CC	Rp5.50B	Rp165.86	-Rp375M	Rp10.4B	74.7	0

Gambar 7 Hasil Konfigurasi Sistem Hibrida Optimal di Desa Gili Gede Indah



Gambar 8 Produksi tenaga listrik tahunan dengan komponen lengkap

Dominannya kontribusi PLTS menunjukkan bahwa sumber energi surya memiliki peran utama dalam memenuhi kebutuhan listrik di Desa Gili Gede Indah, sedangkan PLTB dengan kontribusi 1,83% berfungsi sebagai sumber energi pelengkap. Rendahnya produksi PLTB berkaitan dengan kecepatan angin rata-rata sekitar 3,25 m/s, sehingga kontribusinya terhadap produksi energi tahunan relatif kecil dibandingkan PLTS. Sementara itu, jaringan PLN berperan sebagai sumber pendukung untuk menjaga kontinuitas pasokan ketika produksi energi terbarukan tidak mencukupi. Secara elektrikal, konfigurasi PLTS–PLTB–Grid mampu memenuhi kebutuhan listrik tahunan sebesar 1.149.524 kWh dengan unmet load sebesar 0 kWh/tahun, sehingga seluruh kebutuhan beban dapat dipenuhi. Sistem menghasilkan surplus energi sebesar 89.613 kWh/tahun (3,25%) serta energi yang disalurkan ke jaringan PLN sebesar 1.416.264 kWh/tahun. Nilai *renewable fraction* sebesar 74,7% menunjukkan bahwa sebagian besar pasokan energi berasal dari sumber energi terbarukan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa konfigurasi yang diperoleh memiliki kinerja elektrikal yang mampu memenuhi kebutuhan beban secara kontinu dengan tingkat pemanfaatan energi terbarukan yang relatif tinggi.

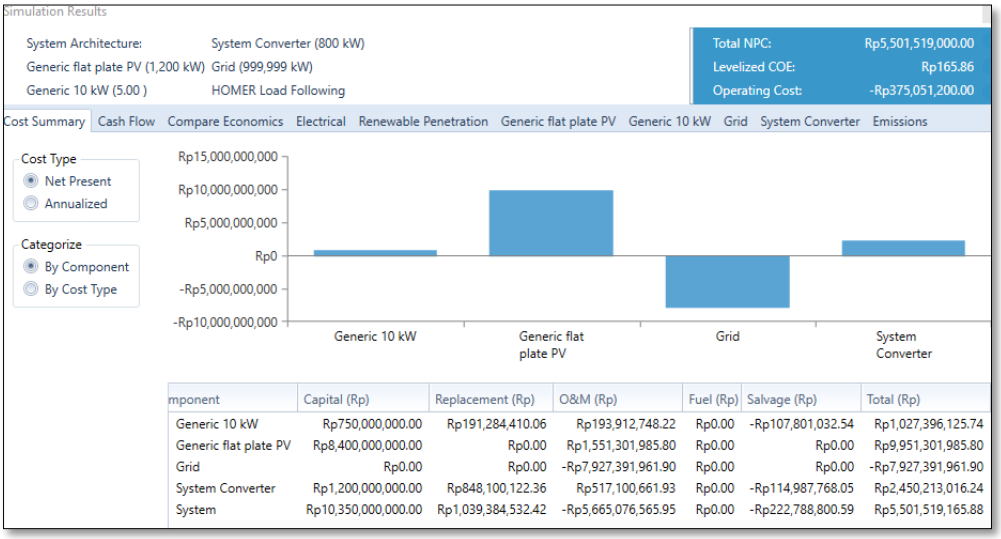
Hasil optimasi menggunakan *HOMER Pro* menghasilkan beberapa alternatif konfigurasi sistem hybrid yang memiliki karakteristik teknis dan ekonomi berbeda. Untuk menunjukkan dasar pemilihan konfigurasi, enam alternatif dengan hasil optimasi teratas dibandingkan berdasarkan kapasitas pembangkit, *Net Present Cost* (NPC), *Cost of Energy* (COE), dan *Renewable Fraction* (RF), sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4. Perbandingan tersebut menunjukkan bahwa konfigurasi PLTS 1.200 kW, PLTB 5 unit × 10 kW, Grid, dan konverter 800 kW menghasilkan NPC dan COE yang lebih rendah dibandingkan alternatif konfigurasi PLTS–PLTB–Grid lainnya yang ditampilkan, dengan RF sebesar 74,7%. Konfigurasi ini merupakan konfigurasi dengan nilai NPC dan COE terendah di antara alternatif konfigurasi PLTS–PLTB–Grid yang ditampilkan. Oleh karena itu, konfigurasi tersebut digunakan sebagai konfigurasi terpilih untuk analisis sistem selanjutnya.

Tabel 4 Perbandingan beberapa konfigurasi hasil optimasi *HOMER Pro*

Konfigurasi	Topologi Sistem	PLTS (kW)	PLTB (unit × kW)	Grid (kW)	Konverter (kW)	NPC (Rp)	COE (Rp/kWh)	RF (%)
1	LF/CC	1.200	5 × 10	999.999	800	5.501.519.000	165,86	74,7
2	LF/CC	1.200	10 × 10	999.999	800	6.008.368.000	178.94	75,7
3	LF/CC	1.200	15 × 10	999.999	800	6.515.217.000	191,64	76,7
4	LF/CC	1.200	20 × 10	999.999	800	7.022.066.000	203,87	77,6
5	LF/CC	800	0	999.999	800	7.522.355.000	292,25	65,3
6	LF/CC	1.200	25 × 10	999.999	800	7.528.915.000	215,63	78,4

LF/CC (*Load Following/Cycle Charging*) merupakan strategi *dispatch* untuk mengatur pengoperasian pembangkit sesuai kebutuhan beban. Kapasitas PLTB dinyatakan sebagai jumlah unit × kapasitas per unit, sehingga 5 × 10 kW menunjukkan lima unit PLTB masing-masing 10 kW. Nilai *Grid* 999.999 kW merupakan batas kapasitas jaringan dalam pemodelan *HOMER Pro*, bukan kapasitas aktual jaringan PLN di Desa Gili Gede Indah. Perbandingan pada Tabel 4 juga menunjukkan adanya hubungan antara peningkatan kapasitas PLTB dan biaya sistem. Ketika jumlah PLTB ditingkatkan dari 5 menjadi 10, 15, 20, dan 25 unit, nilai RF meningkat berturut-turut dari 74,7% menjadi 75,7%, 76,7%, 77,6%, dan 78,4%. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa penambahan kapasitas PLTB dapat meningkatkan kontribusi energi terbarukan dalam memenuhi kebutuhan beban. Namun, peningkatan kapasitas PLTB juga menyebabkan kenaikan biaya sistem. NPC meningkat dari Rp.5,50 miliar pada konfigurasi 5 unit menjadi Rp 7,53 miliar pada konfigurasi 25 unit, sedangkan COE meningkat dari Rp 165,86/kWh menjadi Rp 215,63/kWh. Kondisi tersebut menunjukkan adanya keseimbangan antara peningkatan kontribusi energi terbarukan dan biaya sistem. Penambahan PLTB dari 5 menjadi 25 unit hanya meningkatkan RF sebesar 3,7 poin persentase, tetapi menaikkan NPC sekitar Rp.2,03 miliar. Sementara itu, konfigurasi PLTS 800 kW tanpa PLTB menghasilkan NPC Rp 7.522.355.000, COE Rp 292,25/kWh, dan RF 65,3%, sehingga memiliki biaya lebih tinggi dengan kontribusi energi terbarukan yang lebih rendah.

Berdasarkan perbandingan NPC, COE, dan RF, konfigurasi PLTS 1.200 kW + PLTB 5 × 10 kW + Grid + konverter 800 kW dipilih sebagai konfigurasi terpilih karena memberikan kombinasi biaya sistem yang lebih rendah dan kontribusi energi terbarukan yang cukup tinggi. Komposisi biaya masing-masing komponen pada konfigurasi tersebut selanjutnya ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9 Komposisi biaya dan konfigurasi optimal sistem *hybrid* PLTS–PLTB–Grid

Berdasarkan hasil *Cost Summary* pada Gambar 9, komponen PLTS memiliki total biaya selama umur ekonomis Rp 9.951.301.985,80, PLTB sebesar Rp 1.027.396.125,40, dan konverter sebesar Rp 2.450.213.016,19. Besarnya biaya PLTS berkaitan dengan kapasitas 1.200 kW yang menjadi sumber energi listrik utama sistem. Sementara itu, jaringan PLN memiliki biaya bersih sebesar Rp 7.927.391.961,90, yang menunjukkan manfaat ekonomi bersih dari interaksi sistem dengan jaringan selama periode analisis, bukan merupakan biaya investasi negatif.

Secara keseluruhan, konfigurasi terpilih menghasilkan NPC sebesar Rp 5.501.519.000, COE sebesar Rp 165,86/kWh, dan RF sebesar 74,7%. Nilai RF tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar kebutuhan energi dapat dipenuhi oleh sumber energi terbarukan, sedangkan kekurangannya dipenuhi oleh jaringan PLN. Hasil ini menunjukkan bahwa konfigurasi PLTS–PLTB–Grid mampu mengombinasikan pemanfaatan energi terbarukan dengan dukungan jaringan PLN untuk memenuhi kebutuhan listrik di Desa Gili Gede Indah.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pemodelan dan optimasi menggunakan *HOMER Pro*, konfigurasi sistem PV–*Wind–Grid* terdiri atas PLTS 1.200 kW, lima unit PLTB masing-masing 10 kW, jaringan PLN, dan konverter 800 kW. Konfigurasi tersebut merupakan hasil optimasi berdasarkan parameter teknis dan ekonomi yang digunakan dalam pemodelan, dengan mempertimbangkan kemampuan sistem dalam memenuhi kebutuhan beban serta biaya siklus hidup sistem. Secara teknis, sistem menghasilkan energi sebesar 2.753.596 kWh/tahun, dengan kontribusi PLTS 2.053.522 kWh/tahun, PLTB 50.333 kWh/tahun, sedangkan jaringan *grid*-PLN menyediakan energi sebesar 649.741 kWh/tahun. Sistem mampu memenuhi kebutuhan beban sebesar 1.149.524 kWh/tahun dengan *unmet electrical load* 0% dan *Renewable Fraction* 74,7%. Dari aspek ekonomi, sistem memiliki NPC Rp 5.501.519.000 dan COE Rp 165,86/kWh, serta menghasilkan *surplus* energi yang dapat disalurkan ke jaringan PLN. Hasil penelitian ini merupakan hasil pemodelan berdasarkan potensi energi lokal, profil beban, serta asumsi teknis dan ekonomi yang digunakan dalam *HOMER Pro*. Oleh karena itu, penerapan sistem secara aktual masih memerlukan verifikasi lebih lanjut terhadap kondisi lapangan, ketersediaan lahan, karakteristik jaringan PLN, potensi energi angin dan surya melalui pengukuran lapangan, serta parameter investasi dan interkoneksi yang berlaku.

Daftar Pustaka

[1] N.B. Alnavis, R.R. Wirawan, K.I. Solihah, V.H. Nugroho, Energi listrik berkelanjutan: potensi dan tantangan penyediaan energi listrik di Indonesia, J. Innov. Mater. Energy, Sustain. Eng., 1 (2) (2024) 119-139. doi: 10.61511/jimese.v1i2.2024.544

[2] T.J. MacGinley, A.P. Heynen, V. Sharma, P.A. Lant, Electricity access advances human development but not always, Energy Sustain. Dev., 88 (May) (2025) 101770. doi: 10.1016/j.esd.2025.101770

[3] F. Ardin, Kebijakan pembangunan akses listrik berbasis stasiun pengisian untuk desa tertinggal dalam peningkatan rasio elektrifikasi di Indonesia, J. Pembang. dan Adm. Publik, (2025) 1-23. doi: 10.32834/jpap.v7i2.1000

[4] K. Oktaviani, Manajemen rantai penyediaan dan pemanfaatan energi nasional, 2016, Available online: https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-manajemen-rantai-penyediaan-dan-pemanfaatan-energi-nasional-.pdf.

[5] M.A. Ridho, B. Winardi, A. Nugroho, Analisis potensi dan unjuk kerja perencanaan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) di Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro menggunakan software pvsyst 6.43, Transient, 7 (4) (2019) 883. doi: 10.14710/transient.7.4.883-890

[6] A. Gufron, A preliminary LSTM-IDW model for spatiotemporal hourly solar radiation estimation in tropical regions, Renew. Sustain. Energy Transit., 7 (February) (2025) 100105. doi: 10.1016/j.rset.2025.100105

[7] D. Chiras, Wind Power Basics, Gabriola Island, Canada, New Society Publishers, 2010.

[8] S. Aritonang, W. Budiarti, H.J.R. Saragih, Implementasi Ketahanan Energi Baru Terbarukan (EBT), CV. Angkasa Global Akademia, 2021, Available online: file:///C:/Users/davin/Downloads/Buku Implementasi Ketahanan Energi Baru Terbarukan EBT.pdf.

[9] L.S. Paraschiv, S. Paraschiv, Contribution of renewable energy (hydro, wind, solar and biomass) to decarbonization and transformation of the electricity generation sector for sustainable development, Energy Reports, 9 (February) (2023) 535-544. doi: 10.1016/j.egyr.2023.07.024

[10] C.N. Nwagu, C.O. Ujah, D.V.V. Kallon, V.S. Aigbodion, Integrating solar and wind energy into the electricity grid for improved power accessibility, Unconv. Resour., 5 (November 2024) (2025) 100129. doi: 10.1016/j.uncres.2024.100129

[11] Q. Hassan, S. Algburi, A.Z. Sameen, H.M. Salman, M. Jaszczur, A review of hybrid renewable energy systems: Solar and wind-powered solutions: Challenges, opportunities, and policy implications, Results Eng., 20 (November) (2023) 101621. doi: 10.1016/j.rineng.2023.101621

[12] F.C. Yusgiantoro, Akselerasi pengembangan energi baru terbarukan dalam mendukung jaringan listrik nusantara guna ketahanan energi nasional, Lemhannas RI, (2023) 1-75.
[13] M.H.R. Kurniawan, P.A. Sesotyo, F. Ahmad, Analisis kelayakan dan performa sistem hibrida PLTS- PLTB-PLTSa terintegrasi grid untuk kebutuhan energi kampus berbasis homer pro, *S*PEJ (Sci. Phsics Educ. J.), 10 (2026) 163-186. doi: https://doi.org/10.31539/9a0rdz78
[14] T.M.I. Riayatsyah, T.A. Geumpana, I.M. Rizwanul Fattah, S. Rizal, T.M. Indra Mahlia, Techno-economic analysis and optimisation of campus grid-connected hybrid renewable energy system using homer grid, Sustain., 14 (13) (2022). doi: 10.3390/su14137735
[15] A. Giedraityte, S. Rimkevicius, M. Marciukaitis, V. Radziukynas, R. Bakas, Hybrid renewable energy systems—a review of optimization approaches and future challenges, Appl. Sci., 15 (4) (2025). doi: 10.3390/app15041744
[16] M. N. Siddique, A. Ahmad, M.K. Nawaz, S.B.A. Bukhari, Optimal integration of hybrid (wind--solar) system with diesel power plant \newline using HOMER, Turkish J. Electr. Eng. Comput. Sci., 23 (6) (2015) 1547-1557. doi: 10.3906/elk-1402-15
[17] A. Khan, M. Bressel, A. Davigny, D. Abbes, B. Ould Bouamama, Comprehensive review of hybrid energy systems: challenges, applications, and optimization strategies, Energies, 18 (10) (2025) 1-34. doi: 10.3390/en18102612
[18] A. Budi Muljono, A. Supriadi, M. Rivaldi Harjian, 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.), 3 (2) (2025) 14-24.
[19] A.B. Muljono, H. Sasmita, A. Purna, Optimasi pemanfaatan energi alternatif berbasis hybrid di Desa Sembalun Bumbung, Kabupaten Lombok Timur, Jeitech (Journal Electr. Eng. Inf. Technol.), 1 (2) (2023) 30-37.
[20] A.B. Muljono, S.B. Poetra, L. Parhan, Pendekatan tekno-ekonomi untuk pengembangan sistem energi hibrida hidro-biomassa untuk pasokan listrik berkelanjutan di daerah pedesaan, Jeitech Journal, 3 (1) (2025) 17-25.
[21] H. Hidayatullah, I. Adhevina, A.B. Muljono, Desain sistem pembangkit listrik hybrid off-grid menggunakan software homer untuk elektrifikasi di Desa Suryawangi Kecamatan Labuhan Haji Kabupaten Lombok Timur, Jeitech (Journal Electr. Eng. Inf. Technol.), 2 (2) (2024) 34-44.
[22] F.U. Rahman, C.P. Maharani, N. Habiiburrahman, M.D. Pratama, A.B. Muljono, Desain sistem pembangkit listrik optimal on-grid tenaga surya, Jeitech (Journal Electr. Eng. Inf. Technol.), 2 (2) (2024) 45-55.
[23] I. Hartopo, A.Y. Rosyadi, Desain sistem PLTS hybrid dengan pemodelan homer pro dan PVSyst di Desa Semang, NTT, Indonesia, JTERA (Jurnal Teknol. Rekayasa), 10 (1) (2025) 113. doi: 10.31544/jtera.v10.i1.2025.113-122
[24] M.F. Rusydi, A. Djohar, M. Musaruddin, A. Lolok, A.N. Aliansyah, I. Galugu, Perencanaan pembangkit listrik tenaga hybrid (PLTB dan PLTS) menggunakan aplikasi HOMER (studi kasus di Gunung Ahuawali), J. Fokus Elektroda, 09 (02) (2024) 106-111.
[25] R. Maulana, Pra-studi kelayakan sistem hibrida pv-baterai-PLTD di Daerah Pedesaan Wilayah Maluku, Elposys J. Sist. Kelistrikan, 11 (2) (2024) 92-97. doi: 10.33795/elposys.v11i2.5165
[26] Y.B.K.L. Dinar, M. Ayudin, Kecamatan Sekotong Dalam Angka 2025. Gerung, Badan Pusat Statistik Kabupaten Lombok Barat, 2025.
[27] A. Suprajitno, Optimasi sistem pembangkit listrik tenaga hybrid energi angin dan surya melalui sistem battery charging switching, Cyclotron, 5 (1) (2022) 14-20. doi: 10.30651/cl.v5i1.11281
[28] M.I. Romadhon, R.A. Nugraha, Perancangan sistem hibrida PLTS-PLTB-PLTD-BESS di Daerah 3T (studi kasus Pulau Semau), J. Konsuli, 2 (3) (2026) 2026.
[29] R.S.M. Sakeru, E.M. Silalahi, R. Purba, Analisis pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) sistem on - grid untuk memenuhi kebutuhan listrik base transceiver station (BTS) di Desa Sabi Samukop Kepulauan Mentawai, Lektrokom J. Ilm. Tek. Elektro, 6 (1) (2023) 14-23. doi: 10.33541/lektrokom.v6i1.5133
[30] A.W. Culp, Prinsip-Prinsip Konversi Energi. Terjemahan: Principles of Energy Conversion, 3rd ed., Jakarta, Erlangga, 2020.
[31] Z. Arifin, M.A.M. Rosli, Y.J. Prasojo, N.F. Alfaiz, S.D. Prasetyo, W. Mulyani, Economic

feasibility investigation of on-grid and off-grid solar photovoltaic system installation in Central Java, Int. J. Energy Prod. Manag., 8 (3) (2023) 169-175. doi: 10.18280/ijepm.080305

[32] A.B. Muljono, E. Taneza, F. Jafari, M.I. Fajriefendy, Simulasi dan analisis techno-economic PLTS – PLTB – grid berbasis EBT menggunakan HOMER-Pro (studi kasus Sembalun Lawang), 4 (2) (2026) 1-9.