

STUDI PERENCANAAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK HYBRID (PLTB DAN PLTS) SEBAGAI SUMBER ENERGI DI PERMUKIMAN TRANSMIGRASI DESA TOKALA ATAS, KABUPATEN MOROWALI UTARA BERBASIS SIMULASI HOMER

Bintang Adi T¹,Yusnaini Arifin²,Nurhani Amin³,Jumiyatun⁴,Khairunnisa Mansur⁵

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako^{1,2,3}
email: bintangadhitama2911@gmail.com¹

ABSTRACT

The Transmigration Settlement of Tokala Atas Village, North Morowali Regency, still experiences limited electricity supply characterized by power outages and voltage drops, thus requiring a more reliable alternative energy source. This study aims to design and analyze a hybrid Wind Power Plant–Solar Power Plant (PLTB–PLTS) system as a solution for energy provision in the area. The methods used include manual calculations as well as system simulation and optimization using HOMER Pro to obtain the optimal technical and economic configuration. Based on manual calculations, the total annual energy production of the PLTB–PLTS system is 187,383 kWh/year. After optimization, in Scenario 1 (PLTB–PLTS) the total energy production becomes 165,904 kWh/year, while in Scenario 2 (PLTB–PLTS–PLN) it increases to 335,777 kWh/year. From an economic perspective, the manual calculation results in a Total NPC of IDR 8,542,099,000.00 with a COE of IDR 4,134.18/kWh. Scenario 1 produces a Total NPC of IDR 5,139,394,000.00 with a COE of IDR 2,591.60/kWh, and Scenario 2 results in a Total NPC of IDR 3,411,163,000.00 with a COE of IDR 813.32/kWh. The results indicate that the PLTB–PLTS–PLN configuration in Scenario 2 provides the highest energy production and a more stable and reliable system in meeting the electrical load demand at the study location.

Keywords: Solar Power Plant (PLTS), Wind Power Plant (PLTB), PLN, hybrid system, HOMER.

INTISARI

Permukiman Transmigrasi Desa Tokala Atas, Kabupaten Morowali Utara, masih mengalami keterbatasan pasokan listrik yang ditandai dengan pemadaman dan penurunan tegangan, sehingga diperlukan alternatif sumber energi yang lebih andal. Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan dan menganalisis sistem pembangkit listrik hybrid PLTB–PLTS sebagai solusi penyediaan energi di wilayah tersebut. Metode yang digunakan meliputi perhitungan manual serta simulasi dan optimasi sistem menggunakan HOMER Pro untuk memperoleh konfigurasi teknis dan ekonomis yang optimal. Berdasarkan perhitungan manual, total produksi energi sistem PLTB–PLTS sebesar 187.383 kWh/tahun. Setelah dilakukan optimasi, pada Skenario 1 (PLTB–PLTS) total produksi energi menjadi 165.904 kWh/tahun, sedangkan pada Skenario 2 (PLTB–PLTS–PLN) meningkat menjadi 335.777 kWh/tahun. Dari sisi ekonomi, perhitungan manual menghasilkan Total NPC sebesar Rp 8.542.099.000,00 dengan COE Rp 4.134,18/kWh, Skenario 1 menghasilkan Total NPC Rp 5.139.394.000,00 dengan COE Rp 2.591,60/kWh, dan Skenario 2 menghasilkan Total NPC Rp 3.411.163.000,00 dengan COE Rp 813,32/kWh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi PLTB–PLTS–PLN pada Skenario 2 memberikan produksi energi terbesar serta sistem yang lebih stabil dan andal dalam memenuhi kebutuhan beban listrik di lokasi penelitian.

Kata kunci: PLTS, PLTB, PLN, sistem hybrid, HOMER.

I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan faktor utama dalam mendukung pertumbuhan ekonomi dan aktivitas masyarakat, baik untuk kebutuhan rumah tangga maupun fasilitas umum. Namun, ketergantungan pada energi konvensional yang semakin terbatas menuntut adanya pengembangan sumber energi alternatif yang berkelanjutan [1].

Sebagai upaya transisi energi, pemerintah bersama PT PLN (Persero) menjalankan program Accelerated Renewable Energy Development (ARED) yang menargetkan peningkatan kapasitas pembangkit berbasis Energi Baru Terbarukan (EBT) hingga 66.000 MW pada tahun 2040, dengan komposisi 75% EBT dan 25% gas sebagai bagian dari kebijakan coal phase down [2].

Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang besar, khususnya energi angin dan surya. Meskipun pemanfaatan PLTB masih terbatas karena rata-rata kecepatan angin relatif rendah (3–5 m/s), potensi tersebut tetap dapat dikembangkan dalam skala kecil (Pristiandaru, 2023). Sementara itu, energi surya sangat menjanjikan karena intensitas radiasi matahari rata-rata mencapai 4,5–4,8 kWh/m²/hari, sehingga berpotensi mendukung penyediaan energi bersih, terutama di wilayah terpencil [3].

Permukiman Transmigrasi Desa Tokala Atas, Kabupaten Morowali Utara, masih mengalami pasokan listrik yang belum stabil, ditandai dengan pemadaman dan jatuh tegangan hingga 187–190 V. Padahal wilayah ini memiliki potensi radiasi matahari sebesar 4,81 kWh/m²/hari serta kecepatan angin rata-rata 2,08 m/s yang dapat dimanfaatkan untuk sistem skala kecil (Caesar, 2024). Kondisi ini menunjukkan perlunya sistem energi alternatif yang lebih andal dan sesuai dengan karakteristik wilayah.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini merencanakan sistem pembangkit listrik hybrid PLTB–PLTS dengan dua skenario, yaitu PLTB–PLTS dan PLTB–PLTS–PLN, menggunakan perangkat lunak HOMER untuk menganalisis kelayakan teknis dan ekonomis sistem. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi energi yang berkelanjutan bagi Desa Tokala Atas.

II. LANDASAN TEORI

A. Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB)

Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB) adalah sistem yang mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik melalui putaran rotor, kemudian menggerakkan generator untuk menghasilkan energi listrik. Ketika rotor berputar akibat hembusan angin, energi mekanik yang dihasilkan akan diteruskan ke generator sehingga menghasilkan arus listrik sebagai output akhir [4]. Daya yang dihasilkan oleh PLTB dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$P = 1/2 \times \rho \times A \times V^3$$

P: daya yang dihasilkan turbin angin (Watt)

ρ : massa jenis udara (1,225kg/m³)

A: luas penampang turbin (m²)

V: kecepatan angina (m/s)

Jumlah turbin angin dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$N = \frac{EDC}{P_{Out\ Turbin}}$$

Dimana :

N : Jumlah turbin angin yang dibutuhkan

EDC: Total kebutuhan energi per hari (Wh)

P_{Out Turbin}: Daya keluaran satu turbin angin (Watt)

B. Jenis-jenis Turbin

Jenis turbin angin diklasifikasikan berdasarkan orientasi sumbu putarnya, yaitu Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT) dan

Vertical Axis Wind Turbine (VAWT). HAWT memiliki sumbu putar sejajar dengan arah angin dan bilah menghadap langsung ke arah angin, sehingga memiliki efisiensi konversi energi yang tinggi dan banyak digunakan pada pembangkit listrik skala besar. Turbin ini mulai beroperasi pada kecepatan angin sekitar 3–4 m/s dan bekerja optimal pada 8–15 m/s, namun memerlukan sistem pengarah (yaw system) serta menara yang relatif tinggi.

Sementara itu, VAWT memiliki sumbu putar tegak lurus terhadap arah angin dan mampu menangkap angin dari berbagai arah tanpa memerlukan sistem pengarah. Turbin ini dapat mulai beroperasi pada kecepatan angin 2–3 m/s dan cocok digunakan di daerah dengan arah angin yang berubah-ubah. Meskipun efisiensinya lebih rendah dibandingkan HAWT, VAWT memiliki struktur yang 1.

C. Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) memanfaatkan turbin angin untuk mengonversi energi kinetik angin menjadi energi listrik. Prinsip kerjanya dimulai dari penangkapan energi angin oleh baling-baling (rotor) yang berputar akibat hembusan angin. Putaran ini menghasilkan energi mekanis yang diteruskan melalui poros dan gearbox menuju generator. Di dalam generator, energi mekanis diubah menjadi energi listrik melalui prinsip induksi elektromagnetik. Besarnya daya yang dihasilkan dipengaruhi oleh densitas udara, luas sapuan rotor, dan kecepatan angin (Murniati, 2022).

Selanjutnya, energi listrik yang dihasilkan akan disalurkan melalui sistem transmisi dan distribusi dengan penyesuaian tegangan sesuai kebutuhan. PLTB juga dilengkapi sistem kontrol otomatis untuk mengatur arah dan kecepatan putaran turbin agar tetap optimal dan aman. Dengan demikian, efektivitas PLTB sangat

bergantung pada kondisi kecepatan angin, desain turbin, serta teknologi yang digunakan.

D. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah sistem yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik melalui prinsip efek fotovoltaiik, yaitu proses ketika foton cahaya membebaskan elektron pada material semikonduktor tipe p dan n dalam sel surya sehingga menghasilkan arus listrik [5]. PLTS termasuk sumber energi yang ramah lingkungan dan sangat potensial dikembangkan di Indonesia karena ketersediaan sinar matahari yang melimpah sepanjang tahun sebagai negara tropis.

E. Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik melalui panel surya fotovoltaiik berbahan semikonduktor silikon. Ketika terkena sinar matahari, foton membebaskan elektron sehingga menghasilkan arus listrik searah (DC), yang kemudian dikonversi menjadi arus bolak-balik (AC) menggunakan inverter agar dapat digunakan oleh peralatan listrik. Energi yang dihasilkan dapat langsung digunakan, disimpan dalam baterai, atau disalurkan ke jaringan listrik (on-grid). PLTS merupakan solusi energi terbarukan yang ramah lingkungan, bebas emisi, dan memiliki sistem operasi yang relatif sederhana.

F. Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

1. Panel Surya (Photovoltaic)

Panel surya atau *photovoltaic* adalah perangkat yang mengubah energi radiasi matahari secara langsung menjadi energi listrik arus searah (DC) menggunakan sel semikonduktor [6]. Dalam perencanaan pembangkit listrik tenaga surya, diperlukan

perhitungan energi DC harian menggunakan persamaan berikut:

$$EDC = \frac{EAC}{\eta_{inv} \times CS}$$

Dimana :

EAC: Energi AC harian yang dikonsumsi oleh beban

EDC: Energi DC harian yang dikonsumsi oleh beban

η_{inv} : Efisiensi inverter

CS : Efisiensi produksi listrik (0,81)

perhitungan kebutuhan daya puncak PV menggunakan persamaan berikut :

$$P_{pv} = \frac{EDC}{PSH}$$

Dimana:

EDC: Energi DC harian yang dikonsumsi oleh beban

PSH : Peak solar hour

EAC: Energi AC harian yang di konsumsi oleh beban

Perhitungan luas area menggunakan persamaan berikut

$$Area (m^2) = \frac{P_{pv}}{Efisiensi_{pv} \times 1kWp/m^2}$$

Dimana :

Ppv : Kebutuhan daya peak PV

Efisiensi *Pv* : Efisiensi modul panel surya

Area (m²) : Luas permukaan panel surya yang dibutuhkan

Perhitungan jumlah modul pv menggunakan persamaan berikut:

$$Jumlah\ modul\ pv = \frac{P_{pv}}{P/modul}$$

Dimana:

Ppv : Kebutuhan daya peak PV

P/modul : Daya PV/modul

Perhitungan jumlah panel seri dan paralel menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Min panel seri} = \frac{V_{\text{max Inverter}}}{V_{mp}}$$

$$\text{Max panel seri} = \frac{V_{\text{min Inverter}}}{V_{mp}}$$

$$\text{Max panel paralel} = \frac{I_{\text{max Inverter}}}{I_{mp}}$$

Dimana:

Vmax Inverter: Tegangan minimal PV yang masuk ke inverter

Vmin Inverter: Tegangan maksimal PV yang masuk ke inverter

Imax Inverter: Maksimum arus dari string PV yang diizinkan inverter

Vmp : Tegangan maksimum PV

Imp : Arus maksimum PV

2. Solar Charge Controller (SCC)

Solar charge controller adalah perangkat elektronik yang mengatur arus DC dari panel surya ke baterai serta dari baterai ke beban, guna menjaga proses pengisian dan penggunaan energi tetap aman dan optimal. Umumnya alat ini menggunakan teknologi *Pulse Width Modulation (PWM)* untuk mengontrol pengisian dan pelepasan arus baterai [6].

3. Baterai

Baterai pada berfungsi menyimpan energi listrik dari panel surya agar dapat digunakan saat tidak ada sinar matahari, sehingga menjaga kestabilan dan kontinuitas pasokan listrik, terutama pada sistem off- grid.

$$C = \frac{Et \times N}{Vs \times DoD \times n}$$

Dimana:

- C : Kapasitas Baterai
 N : Jumlah hari otonomi
 Et : Energi Total
 Vs : Tegangan Sistem Baterai
 DoD : Depth of Discharge
 n : Efisiensi baterai

4. Inverter

Inverter adalah perangkat listrik yang berfungsi mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC), misalnya dari 12–24 V DC menjadi 220 V AC. Efisiensinya berkisar antara 50–90% tergantung pada besarnya beban, di mana semakin mendekati kapasitas kerjanya, semakin tinggi efisiensinya (Edi et al., 2024)

$$Kapasitas\ inv = P_{mmp} \times Safety\ Faktor \\ (1,25)$$

Dimana :

P_{mmp} = Daya maksimum panel surya

G. Grid/PLN

Grid/PLN adalah jaringan kelistrikan nasional yang dikelola oleh Perusahaan Listrik Negara sebagai badan usaha milik negara di sektor ketenagalistrikan. PLN bertanggung jawab atas proses pembangkitan, transmisi, dan distribusi listrik di seluruh Indonesia guna memenuhi kebutuhan energi masyarakat dan industri, serta terus mengembangkan infrastruktur dan pemanfaatan berbagai sumber energi, termasuk energi terbarukan, untuk mendukung keberlanjutan sistem kelistrikan nasional.

H. Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid

Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) adalah sistem pembangkit yang mengombinasikan dua atau lebih sumber energi berbeda dalam satu kesatuan sistem untuk menghasilkan daya listrik yang lebih optimal dan andal. Tujuan utama sistem hybrid adalah memaksimalkan pemanfaatan sumber energi yang tersedia serta meningkatkan kontinuitas dan efisiensi pasokan listrik [7].

I. Software HOMER

HOMER (*Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources*) adalah perangkat lunak yang digunakan untuk memodelkan dan mengoptimasi sistem pembangkit listrik skala kecil (micropower), baik yang terhubung ke jaringan (on-grid) maupun berdiri sendiri (off-grid). Perangkat lunak ini menganalisis keseimbangan energi pada berbagai konfigurasi sistem untuk menentukan skenario terbaik berdasarkan kecukupan pasokan listrik serta perhitungan biaya investasi, penggantian, operasi dan pemeliharaan, bahan bakar, dan bunga (Rusydi et al., 2024).

III. METODE PENELITIAN

A. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:

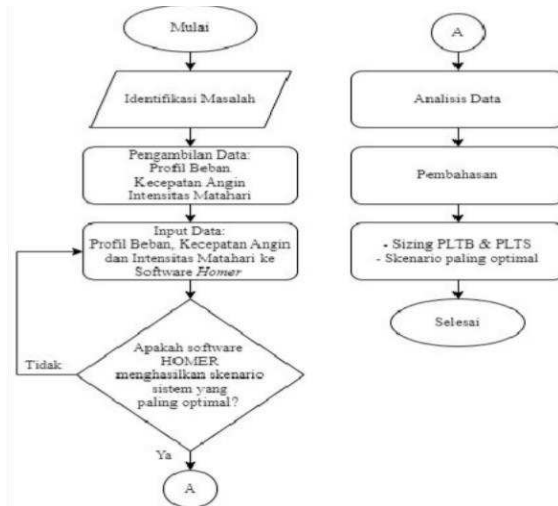
1. Laptop
 2. Software HOMER
 3. Buku dan alat tulis
- data beban harian masyarakat, data intensitas cahaya dan data kecepatan angin.

B. Lokasi Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan di permukiman Transmigrasi Desa Tokala Atas, Kecamatan Bungku Utara, Kabupaten

Morowali Utara, Provinsi Sulawesi Tengah, Indonesia.

C. Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir Alat
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Profil Beban

Tabel 4.1 Kebutuhan Listrik Rumah Tangga

No	Jenis Beban	Jumlah	Jumlah Bangunan	Daya (Watt)	Waktu (Jam/Hari)	Total (Wh/Hari)
1.	Lampu Rumah	6	193	15	12	208.440
2.	Televisi	1	90	50	4	18.000
3.	Rice Cooker	1	193	350	2	135.100
4.	Cas Hp	2	193	35	3	40.530
5.	Kipas Angin	1	90	50	4	18.000
Total Beban						420.070

Tabel 4.2 Kebutuhan Listrik Fasilitas Umum

No	Jenis Beban	Jumlah	Jumlah Bangunan	Daya (Watt)	Waktu (Jam/Hari)	Total (Wh/Hari)
1.	PJU	1	97	25	12	29.100
2.	Lampu Masjid	6	1	15	12	1.080
3.	Sound Sistem Masjid	1	1	120	5	600
4.	Lampu Balai Desa	10	1	15	12	1.800

5.	Komputer Desa	1	1	180	9	1.620
6.	Print Desa	1	1	15	9	135
7.	Lampu Ruangan MTS	2	6	15	12	2.160
8.	Lampu Musolah MTS	3	1	15	12	540
9.	Komputer MTS	2	1	180	7	2.520
10.	Lampu Toilet MTS	2	1	15	12	180
11.	Sound Sistem MTS	1	1	120	5	600
Total Beban						40.335

B. Data Kecepatan Angin

Tabel 4.3 Data Kecepatan Angin Desa

Tokala Atas

Month	Average (m/s)
Jan	1,69
Feb	1,77
Mar	1,84
Apr	2,01
May	2,24
Jun	2,38
Jul	2,69
Aug	2,74
Sep	2,27
Oct	1,90
Nov	1,78
Dec	1,70

C. Data Radiasi Matahari

Tabel 4.4 Data Radiasi Matahari Desa

Tokala Atas

Month	Clearness Index	Daily Radiation (kWh/m ² /day)
Jan	0,480	4.92
Feb	0,478	5,02
Mar	0,486	5,11
Apr	0,481	4,87
May	0,472	4,48
Jun	0,446	4,06

Jul	0,429	4,97
Aug	0,450	4,41
Sep	0,516	5,32
Oct	0,523	5,46
Nov	0,509	5,22
Dec	0,483	4,88

D. Data Temperature Cuaca

Tabel 4.5 Data Temperature Cuaca Desa Tokala Atas

Month	Daily Temperature (°C)
Jan	27,52
Feb	27,53
Mar	27,40
Apr	27,29
May	27,07
Jun	26,48
Jul	25,92
Aug	25,74
Sep	26,31
Oct	27,15
Nov	27,65
Dec	27,59

E. Komponen Sistem yang Digunakan

1. Turbin Angin

Turbin angin yang digunakan yaitu Aeolos V- 1kW. Spesifikasi turbin angin ditampilkan pada table 4.6 berikut:

Tabel 4.6 Spesifikasi Turbin Angin

Spesifikasi	Keterangan
Model	AeolosV-1 kW
Out Power	1 kW
Start up Wind Speed	1.5 m/s
Rated Wind Speed	8 m/s
Generator	Permanent Magnetic Generator
Number of Blade	3 Blade
Diameter	2,28 m
Weight of System	10 m

2. Photovoltaic

Photovoltaic yang digunakan yaitu CanadianSolar MaxPower CS6U-330P. Spesifikasi photovoltaic ditampilkan pada tabel 4.7 berikut:

Tabel 4.7 Spesifikasi Photovoltaic

Spesifikasi	Keterangan
Model	CanadianSolar MaxPower CS6U-330P
Panel Type	Flat Plate
Technology Type	Polycrystalline
Rated Capacity	0.330 kW
Temperature Coefficient	-0.41
Operating Temperature	45 °C
Efficiency	16,97%
Max power Voltage (Vmp)	37,2 V
Max Power Current (Imp)	8,88 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45,6 V
Short Circuit Current (Isc)	9,45 A
Manufacture	Canadian Solar

3. Inverter

Inverter yang digunakan yaitu Sinexcel 30 kW. Spesifikasi inverter ditampilkan pada tabel 4.8 berikut:

Tabel 4.8 Spesifikasi Photovoltaic

Spesifikasi	Keterangan
Model	Sinexcel 30 kW
Ratted Power	30 KW
Efficiency	97%
Input Voltage Range	50 – 1.000 V
Input Current Range	0 – 100 A

4. Baterai

Baterai yang digunakan yaitu EnerSys PowerSafe SBS 1500. Spesifikasi Baterai ditampilkan pada tabel 4.9 berikut:

Tabel 4.9 Spesifikasi Baterai

Spesifikasi	Keterangan
Model	EnerSys PowerSafe SBS 1500
Nominal Voltage	12 V
Nominal Capacity (kWh)	16.7 kWh
Max Capacity (Ah)	1.390
Capacity Ratio	0.297

Rated Constant (1/hr)	1.95
Roundtrip efficiency (%)	97%
Max Charge Current (A)	1.500
Max Discharge Current	2.300
Max Charge Rate	1
Depth Of Discharge (DOD)	80%

5. Grid/PLN

Pada skenario 2, grid dimasukkan ke dalam sistem dengan tarif pembelian listrik sebesar Rp.1.444,00/kWh [2].

F. Simulasi Homer untuk Perhitungan Manual PLTB- PLT



Tabel 4.1 Simulasi Skenario 1 Perhitungan

Total produksi energi yang dihasilkan oleh PLTB dan PLTS sebesar 187,383 kWh/tahun dari 100% total produksi sistem. Produksi ini secara spesifik disumbangkan oleh PLTS Canadian Solar sebesar 122,758

kWh/tahun (atau 65,5%), sedangkan PLTB Aeolos-V1kW hanya menyumbang 64,625



kWh/tahun (atau 34,5%) dari total energi yang dihasilkan

G. Simulasi Homer untuk Optimasi Skenario 1 (PLTB-PLTS)

Gambar 4.2 simulasi skenario 1 optimasi HOMER

HOMER Total produksi energi yang dihasilkan oleh PLTB dan PLTS sebesar 165,904 kWh/tahun dari 100% total produksi sistem. Produksi ini secara spesifik disumbangkan oleh PLTS Canadian Solar sebesar 164,509 kWh/tahun (atau 99,2%), sedangkan PLTB Aeolos-V1kW hanya menyumbang 1,395 kWh/tahun (atau 0,841%) dari total energi yang dihasilkan.

H. Simulasi Homer untuk Optimasi Skenario 2 (PLTB-PLTS-PLN)

Gambar 4.3 simulasi skenario 2 optimasi HOMER

Total produksi energi yang dihasilkan oleh PLTB, PLTS dan PLN sebesar 335,777 kWh/tahun dari 100% total produksi sistem. Produksi ini secara spesifik disumbangkan oleh PLTS Canadian Solar sebesar 174,508 kWh/tahun (atau 52%), PLTB Aeolos- V1kW menyumbang 155 kWh/tahun (atau 0,0462%) dan PLN menyumbang sebesar 161,114 kwh/tahun (atau 48%) dari total energi yang dihasilkan

V. Kesimpulan

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian studi perencanaan sistem pembangkit listrik *hybrid* PLTB dan PLTS sebagai sumber energi di permukiman transmigrasi desa Tokala Atas, Kabupaten Morowali Utara berbasis simulasi HOMER didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Total potensi energi listrik yang dapat dihasilkan dari perhitungan manual sistem (PLTB–PLTS) sebesar 187.383 kWh/tahun. Setelah dilakukan optimasi menggunakan software HOMER, pada Skenario 1 total produksi energi menjadi 165.904 kWh/tahun, sedangkan pada Skenario 2 total produksi meningkat menjadi 335.777 kWh/tahun.
2. Berdasarkan hasil analisis teknis, Skenario 2 (PLTB–PLTS–PLN) merupakan skenario yang paling optimal dengan kapasitas PLTS sebesar 122 kW, 1 unit turbin angin, dan inverter 76,5 kW, serta tidak terdapat unmet electric load. Dibandingkan skenario lainnya, komposisi ini menghasilkan produksi energi terbesar dengan dukungan suplai dari PLN yang menjaga kestabilan dan kontinuitas pasokan listrik sistem.

B. Saran

Dari hasil penelitian yang didapatkan, maka dapat diberikan saran sebagai bentuk pengembangan lebih lanjut, diantaranya adalah;

1. Studi lanjutan perlu memasukkan analisis keandalan sistem dan kualitas daya secara lebih rinci, misalnya melalui pengukuran indeks keandalan (SAIFI/SAIDI), frekuensi dan durasi gangguan, serta profil tegangan di sisi beban. Hal ini penting untuk memastikan bahwa konfigurasi *hybrid* PLTB–PLTS–PLN yang direkomendasikan benar-benar mampu memberikan pasokan listrik yang stabil dan aman bagi masyarakat Desa Tokala Atas dalam jangka panjang.

2. Melakukan pengumpulan data lapangan jangka panjang berupa profil beban, data kecepatan angin, dan radiasi matahari yang lebih detail di lokasi penelitian. Data ini dapat digunakan untuk memvalidasi model simulasi, mengurangi ketidakpastian parameter, dan menyusun rekomendasi desain yang lebih akurat dengan mempertimbangkan variasi musiman dan tren perubahan iklim setempat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Arifin, Y., Rayatman, A., Dewi, S., & Mardiansyah, M. (2021). Automatic Transfer Switch Untuk Rumah Tinggal Sederhana Berbasis Arduino Nano. *Foristek*, 11(2). <https://doi.org/10.54757/fs.v11i2.109>
- [2]. PLN Beberkan Ambisi Menuju Net Zero Emissions 2060 - PT PLN (Persero). (n.d.). Retrieved May 17, 2025, from <https://web.pln.co.id/cms/media/siaran-pers/2024/09/pln-beberkan-ambisi-menuju-net-zero-emissions-2060>
- [3]. Efriansyah, D. A., Herawati, A., Anggraini, I. N., Rinaldi, R. S., & Rodiah, Y. (2024). Analisis Potensi Energi Matahari Dan Pembangkitan Daya pada PLTS Sebagai Sumber Rumah Energi Terbarukan Sederhana di Kota Bengkulu. *Jurnal Serambi Engineering*, 9(1), 8258–8267
- [4]. Ghazali, D., Stefanie, A., Elektro, T., Singaperbangsa, U., & Abstrak, K. (2024). Perancangan Sistem Pembangkit Energi Angin Menggunakan Generator 12 V Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 10(1), 265–270. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10466143>
- [5]. Mirnawati, A, E., & Pertiwi, V, D. (2024). Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Solusi Energi Terbarukan Rumah Tangga. *Jurnal*

Edukasi Elektro, 03(01), 136-142.<https://www.academia.edu/download/104273>

- [6]. Liestyowati, D., Rachman, I., Firmansyah, E., & Mujiburrohman. (2022). Rancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Berkapasitas 100 WP dengan Inverter 1000 Watt. *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 1(5), 623–634. <https://doi.org/10.55123/insologi.v1i5.1027>
- [7]. Pratama, A., Adam, K. B., & Raharjo, J. (2022). Simulasi Optimasi Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida Di Pulau Nusa Penida Menggunakan Aplikasi Homer. *E- Proceeding of Engineering*, 9(5), 2429–2435