

Pendekatan Tekno-Ekonomi untuk Pengembangan Sistem Energi Hibrida Hidro-Biomassa untuk Pasokan Listrik Berkelanjutan di Daerah Pedesaan

Agung Budi Muljono¹, Satrya Bhayangkara Poetra^{2*}, Lukman Parhan³
^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Universitas Mataram

ARTICLE INFO

Article history:

Received March 2, 2025
Revised April 30, 2025
Accepted April 30, 2025

Keywords:

Techno-Economic Approach;
Hybrid Energy System;
NPC;
COE;
Rural Areas.

ABSTRACT

Indonesia is one of the countries crossed by the equator, so it has quite large renewable energy potential, including in the Lombok area. Therefore, the use of renewable energy-based power plants can be applied throughout Indonesia. Lombok Island with its geographical conditions in the form of an archipelago with plains from the coast to the mountains has great potential for energy ranging from wind, water, biomass and solar power. The purpose of this system planning is to determine the importance of alternative energy in providing electricity for rural communities to obtain a sustainable supply of electricity based on hydro and biomass energy through a techno-economic approach. This research was applied to rural communities in Pemenang, Lombok, as an energy community. The software used for this system planning is Homer 2.19. The optimization results obtained using Homer are using hydroelectric power plants, biogas energy, converters, and batteries so that the total funds needed to purchase system components when the project starts are US\$ 116,200, the present value of the installation and operation costs of the system until the project is complete (NPC) is US\$ 514,764, the average price per kWh of electricity generated is US\$ 0.082.

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)



Corresponding Author:

S. Bhayangkara Poetra, Program Studi Teknik Elektro, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia
Email: satrya506@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Pemenuhan kebutuhan energi di dunia terus mengalami peningkatan seiring dengan laju pertumbuhan ekonomi, urbanisasi, dan penambahan jumlah penduduk. Peningkatan konsumsi energi ini memunculkan tantangan besar dalam menjaga keseimbangan antara kebutuhan ekonomi dan kelestarian lingkungan. Energi fosil, meskipun masih menjadi sumber utama, menghadapi keterbatasan dan dampak negatif yang signifikan terhadap ekosistem dan perubahan iklim. Oleh karena itu, beralih ke energi terbarukan menjadi langkah strategis yang tidak hanya mendukung pertumbuhan ekonomi, tetapi juga berkontribusi pada keberlanjutan sosial dan lingkungan yang lebih baik, dengan memanfaatkan potensi energi terbarukan yang belum dimanfaatkan secara optimal, seperti biomassa, panas bumi, energi surya, energi air, energi angin, dan energi samudera.

Sebagian besar kebutuhan energi listrik masyarakat di pulau Lombok, Nusa Tenggara Barat, dipenuhi oleh pembangkit listrik yang menggunakan energi fosil. Penggunaan PLTD dan PLTU selama ini hanya dapat memenuhi kebutuhan listrik masyarakat yang tempat tinggalnya terjangkau oleh jaringan PLN. Ketergantungan pada sumber energi fosil yang terbatas dan tidak ramah lingkungan, serta keterbatasan infrastruktur energi yang ada, memperburuk situasi ini. Untuk itu, dibutuhkan alternatif solusi yang lebih terjangkau, ramah lingkungan, dan sesuai dengan kondisi lokal dengan dasar hukum Perpres No. 112 tahun 2022 tentang Percepatan Pengembangan Energi Terbarukan. Salah satu alternatif yang menjanjikan adalah pengembangan sistem energi terbarukan, khususnya sistem energi hibrida yang menggabungkan berbagai sumber energi terbarukan yang ada di sekitar daerah tersebut. Salah satu pulau yang ada di Indonesia yang memiliki potensi energi alternatif yaitu pulau Lombok, tepatnya pembangkit alternatif tersebut dapat di manfaatkan di kecamatan Pemenang. Penduduk daerah ini banyak yang bermatapencaharian sebagai

peternak, dan secara otomatis kecamatan Pemenang memiliki banyak hewan ternak sehingga kotorannya dapat dimanfaatkan sebagai energi biogas serta mempunyai aliran sungai Menggala sebagai potensi energi air dalam dam Menggala.

Sistem energi hibrida hidro-biomassa menjadi pilihan yang menarik, karena menggabungkan potensi energi hidroelektrik yang memanfaatkan aliran air dan energi biomassa yang dapat dihasilkan dari limbah organik yang melimpah di banyak pedesaan di kecamatan Pemenang. Kedua sumber energi ini memiliki karakteristik yang saling melengkapi, dimana hidroelektrik dapat menyediakan pasokan listrik yang kontinu selama periode aliran air yang stabil, sementara biomassa dapat digunakan sebagai sumber energi cadangan saat pasokan air tidak tersedia. Oleh karena itu, energi alternatif tersebut dapat dimanfaatkan untuk membantu dalam penyediaan energi listrik di daerah tersebut yang mana diharapkan dapat meningkatkan kesejahteraan masyarakat di daerah tersebut, dan mendukung perkembangan potensi-potensi yang ada di daerah tersebut. Namun, meskipun sistem ini menawarkan potensi yang besar, pengembangan dan implementasinya memerlukan pendekatan yang komprehensif, terutama dalam hal teknis dan ekonomi. Aspek teknis meliputi perancangan dan integrasi sistem energi hibrida yang efisien, sedangkan aspek ekonomi melibatkan perhitungan biaya investasi, biaya operasional, dan analisis kelayakan jangka panjang dari penerapan teknologi ini. Oleh karena itu, pendekatan tekno-ekonomi diperlukan untuk memastikan bahwa sistem energi hibrida hidro-biomassa dapat diterapkan secara berkelanjutan di kecamatan Pemenang, baik dari sisi teknologi yang efisien maupun dari sisi ekonomi yang menguntungkan.

Dengan mempertimbangkan kebutuhan yang mendesak untuk solusi energi berkelanjutan dan keterbatasan yang ada, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi dan merancang sistem energi hibrida hidro-biomassa yang optimal bagi daerah Pemenang, dengan analisis tekno-ekonomi, yang akan memberikan gambaran menyeluruh tentang potensi dan manfaat dari sistem tersebut.

Kajian sistem pembangkit listrik *hybrid* berbasis energi terbarukan telah banyak diteliti dalam model simulasi berdasarkan data potensi energi setempat sampai tahap implementasi baik di Indonesia maupun di berbagai negara lainnya. Perencanaan untuk peningkatan pasokan energi listrik sistem hibrida PV dan PLTMh di desa Merden menggunakan bantuan *software* HOMER memberikan produksi energi 1.301.169 kWh per tahun [1], konfigurasi sistem pembangkit listrik *hybrid* (angin dan surya) di desa Ahuawali menghasilkan energi 164.707 kWh/tahun [2]. Upaya optimalisasi pemanfaatan energi terbarukan memanfaatkan potensi energi setempat khususnya di Nusa Tenggara Barat telah disimulasikan dalam beberapa penelitian, antara lain pemanfaatan energi alternatif sistem *off-grid* di desa Sembalun Bumbung [3], *Hybrid PV-Hydro Off-Grid* di desa Suryawangi [4] dan sistem *On-Grid PV-Wind Turbine* Kecamatan Asakota [5], menggunakan simulator *software* Homer telah memberikan solusi secara teknis dan ekonomi.

Pemanfaatan Energi Baru Terbarukan (EBT) sebagai sumber energi listrik memberikan dampak positif bagi lingkungan [6]. Dengan memanfaatkan limbah kotoran sapi melalui pendekatan indikator teknis, ekonomi, dan lingkungan, biaya energi per 1 kWh yang dihasilkan dari penggunaan energi terbarukan tersebut mencapai Rp 1.076/kWh. Masalah kekurangan pasokan listrik di sebagian masyarakat disebabkan oleh ketiadaan jaringan listrik PLN, terutama di daerah pedesaan yang terpencil. Dengan membangun model pembangkit listrik *hybrid* solar PV-biogas *off-grid*, sistem ini mampu menghasilkan daya sebesar 2.694 kW, dengan produksi 1.260 kW per hari, yang dapat memberikan pasokan daya di luar jaringan listrik (*off-grid*) [7]. Ketersediaan energi surya dan angin, serta memiliki inventaris ternak terbesar di dunia, yang menjadikannya potensi besar untuk pembangkit energi terbarukan menunjukkan bahwa sebagian besar orang di pedesaan India. Desain pembangkit terdistribusi sistem hibrida *Biogas-Solar-Wind* dilakukan dengan simulator Homer untuk memasok listrik ke komunitas kecil yang terdiri dari 300 rumah telah dilakukan [8]. Dengan pendekatan tekno-ekonomi untuk pengembangan sistem energi hibrida hidro-biomassa untuk pasokan listrik berkelanjutan dilaksanakan penelitian di daerah Pemenang memanfaatkan potensi energi setempat.

2. METODE PENELITIAN

Desa Pemenang Timur Kec. Pemenang Barat memiliki sungai Menggala dengan Dam Menggala pada 8°42'38.5"LS dan 116°09'13.4" BT dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi mikro hidro. Daerah Pemenang juga terdapat potensi energi dari sisa kotoran ternak [9], sehingga limbah kotoran ternak mereka dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi biogas.

Metode penelitian ini berupa simulasi dengan menggunakan alat bantu komputasi berupa perangkat personal komputer untuk menjalankan program pendukung yang digunakan sebagai acuan dalam menganalisis sistem hibrida yang dibentuk. Program pendukung yang digunakan adalah *software* HOMER beta v 2.19, yang mengaplikasikan pendekatan metode tekno-ekonomi. Data yang diperlukan untuk analisis diperoleh dari kantor BPS NTB, khususnya pada publikasi Kecamatan Dalam Angka, dengan data yang

digunakan diambil dari tahun 2023. Simulasi tekno-ekonomi akan memberikan aspek teknis sistem pembangkit hibrida dengan kajian ekonomi memberikan nilai harga energi dengan metode NPV, NPC dan IRR.

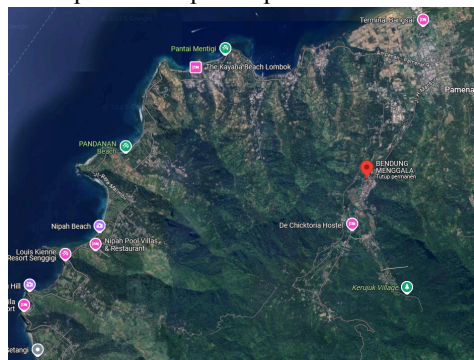
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kondisi Geografis Kecamatan Pemenang

Kecamatan Pemenang terletak di pesisir utara Pulau Lombok, tepatnya di Kabupaten Lombok Utara. Secara geografis, kecamatan ini memiliki posisi yang strategis dan berbatasan dengan berbagai wilayah penting. Di sebelah utara, Kecamatan Pemenang berbatasan langsung dengan Laut Jawa, memberikan akses langsung ke laut yang menjadi sumber kehidupan dan perekonomian bagi masyarakat setempat, terutama dalam sektor perikanan.

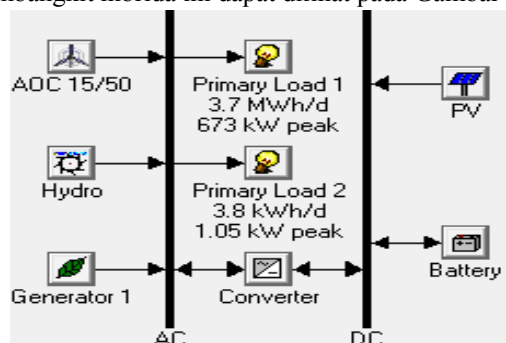
Di sisi timur, kecamatan ini berbatasan dengan Kecamatan Tanjung, yang juga merupakan bagian dari Kabupaten Lombok Utara. Sebelah selatan, Kecamatan Pemenang berbatasan dengan Kabupaten Lombok Barat, yang memisahkan wilayah pesisir utara dengan daerah yang lebih bergunung-gunung dan dataran tinggi. Sementara itu, di sebelah barat, kecamatan ini berbatasan dengan Selat Lombok, yang memisahkan Pulau Lombok dengan Pulau Bali, menjadikan wilayah ini memiliki posisi yang sangat penting sebagai jalur perdagangan dan transportasi antar pulau.

Keberadaan Kecamatan Pemenang di pesisir utara Pulau Lombok menjadikannya daerah dengan potensi pariwisata yang tinggi, terutama di sepanjang garis pantai, serta penting dalam hal kegiatan ekonomi maritim. Letaknya yang berbatasan langsung dengan laut juga memberikan pengaruh besar terhadap kehidupan sosial dan budaya masyarakat setempat. Salah satu desa di Kecamatan Pemenang adalah desa Pemenang Barat, berdasarkan letak geografisnya, terletak pada posisi lintang $8^{\circ}42'38.5''$ LS dan $116^{\circ}09'13.4''$ BT. Secara geografis peta desa Pemenang Barat seperti ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Desa Pemenang (with Google Map)

Dalam perancangan sistem, digunakan *software* HOMER guna menganalisis sistem hibrida yang digunakan, serta biaya-biaya dalam investasi pembangkit sistem hibrida tersebut. Pada perencanaan ini, sistem pembangkitan yang digunakan terdiri dari beberapa sumber energi terbarukan, yaitu PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu), PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya), PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro), dan Biogas. Komponen-komponen utama yang digunakan dalam pembangkit hibrida ini meliputi Turbin Angin, Panel Surya, Turbin Air, Baterai, Generator Biomassa, Converter, Jaringan, dan Beban. Konfigurasi sistem pembangkit hibrida ini dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini.:



Gambar 2. Konfigurasi perencanaan sistem *hybrid* berbasis energi terbarukan

B. Pengumpulan dan Klasifikasi Data untuk Sistem Pembangkit Hibrida

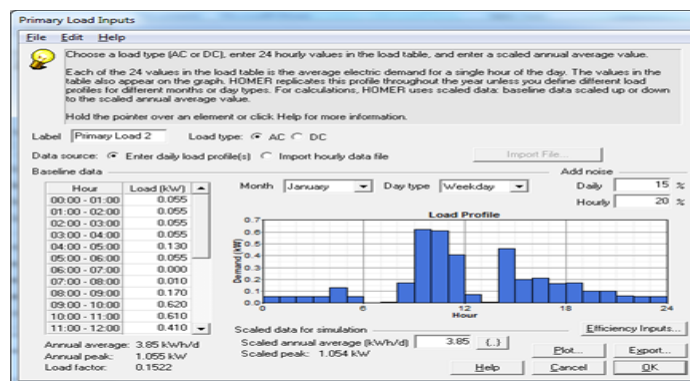
Langkah pertama dalam perencanaan sistem pembangkit hibrida adalah mengumpulkan berbagai data yang diperlukan, yang akan menjadi dasar untuk perancangan dan analisis. Data yang dikumpulkan meliputi informasi tentang sumber energi terbarukan yang akan digunakan, seperti potensi angin, radiasi matahari, debit air, serta ketersediaan bahan baku untuk biogas. Selain itu, data mengenai kebutuhan energi yang diperlukan untuk memenuhi beban juga penting untuk dikumpulkan. Setelah itu, data yang diperoleh akan diklasifikasikan berdasarkan jenis sumber energi dan komponen sistem pembangkit yang digunakan, yang selanjutnya akan diolah untuk melakukan analisis teknis dan ekonomi guna menentukan kelayakan sistem hibrida yang dirancang.

1. Data Karakteristik Beban

Dalam perencanaan sistem tenaga listrik hibrida akan melayani beban rumah tangga, fasilitas umum (sekolah, masjid, puskesmas dan kantor desa) dan usaha ekonomi mikro. Untuk rumah tangga dengan energi listrik yang digunakan akan berada pada nilai rerata 3.807,36 kWh/hari, profil beban rerata harian dapat dilihat pada Gambar 3. Perencanaan ini hanya mampu mensuplai daya untuk 195 rumah beserta fasilitas umum di desa tersebut. Untuk fasilitas umum rata-rata konsumsi energi per hari sebesar 3,85 kWh/hari, dengan profil beban seperti pada Gambar 4. Berdasarkan Gambar 3, dapat dilihat bahwa beban rumah tangga mencapai puncaknya pada pukul 20.00-21.00, sementara beban terendah terjadi pada pukul 14.00-16.00. Sementara itu, Gambar 4 menunjukkan bahwa jumlah beban fasilitas umum mencapai maksimum pada pukul 09.00-10.00, dan beban akan berada pada tingkat minimum pada pukul 06.00-07.00.



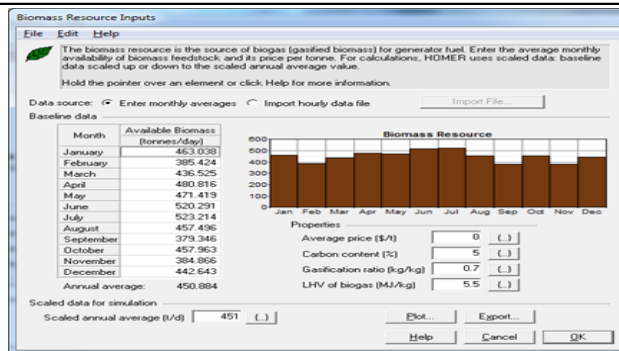
Gambar 3. Grafik profil beban Rumah Tangga



Gambar 4. Grafik profil beban fasilitas umum

2. Data Potensi Biogas (Sisa limbah ternak)

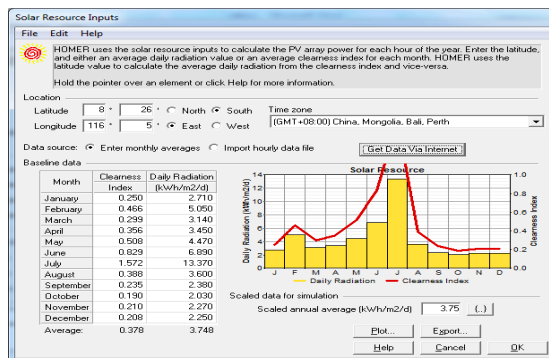
Potensi limbah hasil ternak di desa Pemenang Barat sebagai sumber biogas dapat dihitung berdasarkan besar daya yang dihasilkan dari limbah kotoran hewan kuda, kambing, sapi, ayam buras dan unggas lainnya. Dari data potensi ternak yang ada setelah diolah, diinputkan dalam Homer pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Biogas dengan Perhitungan

3. Perhitungan Potensi Intensitas Radiasi Solar Langsung

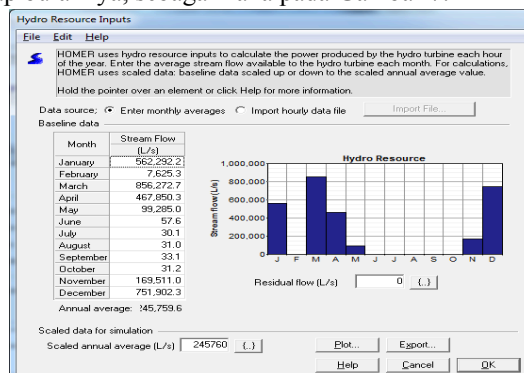
Potensi energi surya diperoleh berdasarkan perhitungan pada lokasi desa Pemenang Barat, yang terletak pada posisi geografis 8°42'38.5" LS dan 116°09'34" BT dari meridian standar zona waktu. Berdasarkan informasi ini, intensitas iradiasi langsung (IDN) pada tengah hari, yaitu pada pukul 12.00 siang waktu setempat, dapat dihitung saat matahari bersinar terik. Perhitungan ini diasumsikan pada tanggal 21 Januari 2023 [10], sebagaimana Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Radiasi Matahari dengan Perhitungan

4. Data Potensi Air

Berdasarkan curah hujan di desa Pemenang Barat dengan wilayah DAS Menggala, dapat dihitung besar debit air yang dihasilkan setiap bulannya, sebagaimana pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik debit air l/s

C. Analisis Hasil Tekno-Ekonomi Perencanaan Sistem Pembangkit Hibrida

Melalui pendekatan tekno-ekonomi simulasi perencanaan sistem pembangkit hibrida dengan *software* HOMER dan menjalankan program, didapatkan hasil berupa pendekatan teknis meliputi komposisi sistem pembangkit hibrida dengan nilai daya dari masing-masing unit komponen. Sedangkan pendekatan ekonomi memberikan hasil simulasi optimal berupa nilai biaya total *Net Present Cost* (NPC), biaya awal dan harga produksi energi listrik per kWh *Cost of Energy* (COE).

Hasil optimasi dari model sistem pembangkit hibrida yang diajukan menggunakan simulator HOMER akan memberikan optimasi pembiayaan dengan hasil perhitungan NPC dan COE menggunakan metode analisis investasi ekonomi yaitu NPV dan IRR, sebagaimana pada Gambar 8.

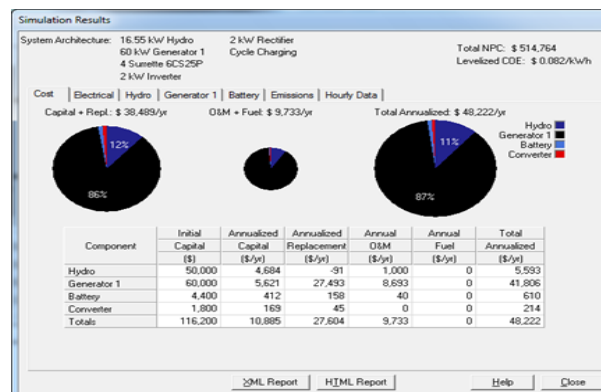
| | PV (kW) | 15/50 (kW) | Hydro (kW) | Gen1 (kW) | Batt (kW) | Conv. (kW) | Initial Capital | Total NPC | COE (\$/kWh) | Ren. Frac. | Capacity Shortage | Biomass (t) |
|--|---------|------------|------------|-----------|-----------|------------|-----------------|------------|--------------|------------|-------------------|-------------|
| | | | 1 | | | | \$ 110,000 | \$ 142,024 | 0.675 | 1.00 | 1.00 | |
| | | | 1 | | 4 | 2 | \$ 116,200 | \$ 150,815 | 0.705 | 1.00 | 1.00 | |
| | | 20 | | | | | \$ 141,800 | \$ 156,985 | 2.588 | 1.00 | 1.00 | |
| | | 20 | | | 4 | 2 | \$ 146,200 | \$ 163,496 | 2.009 | 1.00 | 1.00 | |
| | | | 1 | 16.55 | | | \$ 160,000 | \$ 201,726 | 0.105 | 1.00 | 0.97 | |
| | | | 1 | 16.55 | | 4 | \$ 166,200 | \$ 210,516 | 0.109 | 1.00 | 0.97 | |
| | | 20 | 16.55 | | | 2 | \$ 191,800 | \$ 216,686 | 0.122 | 1.00 | 0.98 | |
| | | 20 | 16.55 | | 4 | 2 | \$ 196,200 | \$ 223,197 | 0.124 | 1.00 | 0.98 | |
| | | 20 | 1 | | | 2 | \$ 251,800 | \$ 299,009 | 1.109 | 1.00 | 1.00 | |
| | | 20 | 1 | | 4 | 2 | \$ 256,200 | \$ 305,520 | 1.049 | 1.00 | 1.00 | |
| | | 20 | 1 | 16.55 | | 2 | \$ 301,800 | \$ 358,710 | 0.181 | 1.00 | 0.97 | |
| | | 20 | 1 | 16.55 | | 4 | \$ 306,200 | \$ 365,221 | 0.182 | 1.00 | 0.97 | |
| | | | | 60 | | | \$ 60,000 | \$ 449,410 | 0.093 | 1.00 | 0.76 | 1,880 |
| | | | 16.55 | 60 | | | \$ 110,000 | \$ 456,686 | 0.073 | 1.00 | 0.66 | 1,677 |
| | | | | 60 | 4 | 2 | \$ 66,200 | \$ 458,105 | 0.095 | 1.00 | 0.76 | 1,882 |
| | | | 16.55 | 60 | 4 | 2 | \$ 116,200 | \$ 514,764 | 0.082 | 1.00 | 0.66 | 1,805 |
| | | | | 60 | | | \$ 170,000 | \$ 570,948 | 0.114 | 1.00 | 0.76 | 1,824 |

Gambar 8 Hasil simulasi perencanaan sistem dengan nilai total NPC terkecil

Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa nilai NPC terkecil terletak paling atas dan ketika semua komponen digunakan terletak pada nomor 2 paling bawah. Optimasi yang paling bagus tentunya yang memiliki nilai NPC terkecil.

1. Biaya komponen-komponen pada sistem hibrida

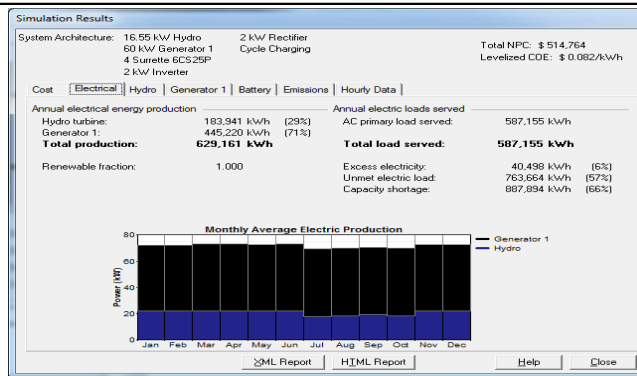
Berdasarkan Gambar 9 didapatkan nilai modal tahunan dimiliki komponen tenaga air yakni US\$ 4.684/tahun. Sedangkan komponen biomassa US\$ 5.621/tahun, baterai US\$ 412/tahun, dan Converter US\$ 169/tahun, maka nilai total biaya setelah penambahan biaya penggantian dan O&M serta di kurangi keuntungan, didapatkan biaya total tahunan sebesar US\$ 48.222/tahun. Total biaya NPC sebesar US\$ 514.764 dengan biaya energi (COE) sebesar US\$ 0,082.



Gambar 9 Hasil komposisi biaya komponen sistem pembangkit hibrida

2. Hasil Produksi Energi Listrik per tahun

Kebutuhan energi listrik rata-rata sebesar 587.155 kWh/tahun sesuai dengan karakteristik profil beban, serta mempertimbangkan potensi energi terbarukan yang tersedia di Desa Pemenang Barat, hasil simulasi perencanaan dengan HOMER dapat memberikan informasi mengenai persentase kontribusi masing-masing komponen dalam menghasilkan listrik tahunan. Sebagaimana pada Gambar 10, yang menggambarkan kontribusi setiap sumber energi terbarukan, seperti PLTB (*Wind Turbine*), PLTS (*PV*), PLTMH (*MHPP*), dan Generator biogas, terhadap total produksi listrik tahunan yang diperlukan untuk memenuhi profil beban tersebut. Dengan demikian, Gambar 10 menunjukkan bagaimana setiap sumber energi berperan dalam mencapai target pemenuhan kebutuhan listrik di Desa Pemenang Barat.

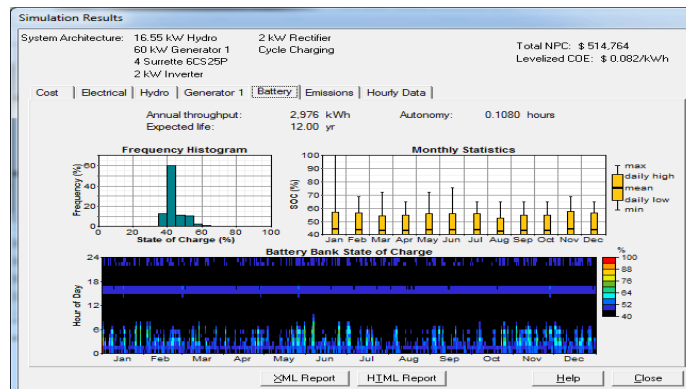


Gambar 10 Komposisi produksi energi listrik dari komponen sistem pembangkit hibrida

Pada Gambar 10, terlihat bahwa energi air menghasilkan produksi listrik sebesar 183.941 kWh/tahun (29%), sementara biomassa menghasilkan 445.220 kWh/tahun (71%). Dengan demikian, total produksi listrik dari sistem mencapai 629.161 kWh dalam satu tahun. Dari jumlah total produksi listrik yang tersedia, beban listrik yang digunakan atau jumlah beban yang disuplai adalah sebesar 587.155 kWh/tahun, dengan sisa energi sebesar 40.498 kWh/tahun (6%). Sisa atau kelebihan energi ini terjadi karena pembangkit memiliki potensi energi yang besar, sementara kebutuhan beban lebih kecil dari total produksi energi. Oleh karena itu, dengan kelebihan energi yang tersedia, energi tersebut dapat dijual untuk menghasilkan pendapatan tambahan yang dapat digunakan untuk biaya pemeliharaan sistem.

3. Produksi energi yang disimpan pada Battery

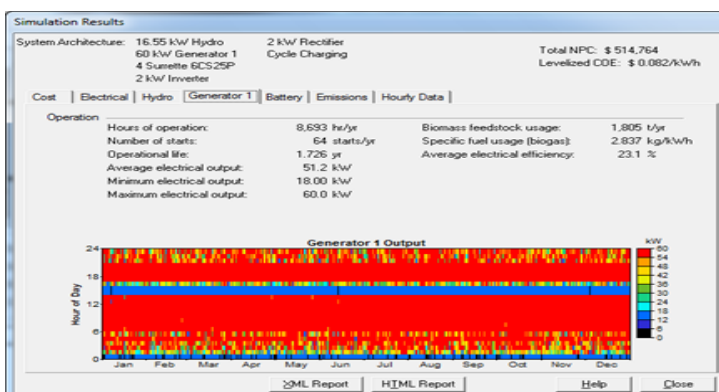
Produksi energi listrik yang dapat disimpan pada *battery* pada sistem hibrida sebesar 2.976 kWh dengan waktu otonomi selama 0,1080 jam dengan masa pakai diperkirakan selama 12 tahun. Hasil produksi energi yang tersimpan dari baterai sebagaimana pada Gambar 11.



Gambar 11 Produksi energi yang tersimpan pada baterai

4. Operasional Biomassa

Hasil simulasi dari generator biomassa, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12, memberikan informasi mengenai jumlah listrik yang dihasilkan oleh biomassa selama beroperasi setiap tahunan. Data ini memungkinkan untuk memantau kinerja generator biomassa secara harian, serta mengevaluasi kapasitas produksi listrik yang dihasilkan dari pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi. Dengan demikian, Gambar 12 memberikan gambaran yang jelas tentang kontribusi biomassa terhadap penyediaan energi dalam sistem hibrida.



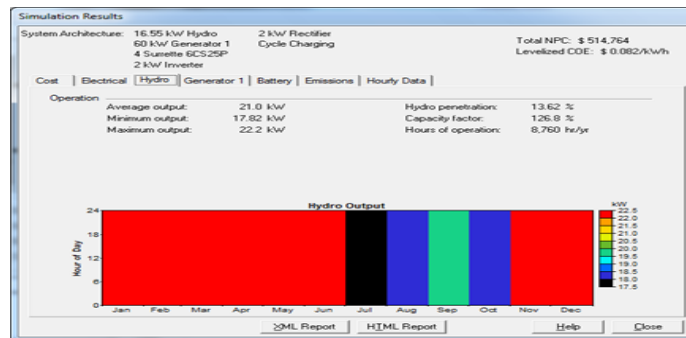
da Hidro-Biomassa untuk Pasokan Listrik di Muljono et. al.)

Gambar 12 Jam operasional dan kapasitas daya dari generator *biomass*

Sebagaimana terlihat pada Gambar 12, generator biomassa menghasilkan daya rerata sebesar 51,2 kW, dengan daya maksimum yang dihasilkan mencapai 60 kW, dan daya minimum yang dihasilkan sebesar 18 kW dengan rerata efisiensi sebesar 23,1 %. Data ini menggambarkan fluktuasi produksi daya listrik yang dihasilkan oleh generator biomassa selama operasionalnya, yang dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti ketersediaan bahan baku biomassa dan kondisi operasional sistem. Informasi ini sangat penting untuk perencanaan dan pengelolaan sistem pembangkit listrik hibrida, karena dapat membantu dalam menyesuaikan kapasitas sistem dengan kebutuhan energi yang diperlukan serta mengoptimalkan kinerja generator biomassa dalam jangka panjang.

5. Operasional PLTMH

Daya listrik yang dihasilkan dari PLTMH memberikan nilai kapasitas maksimum sebesar 22,2 kW memberikan kontribusi sebesar 13,62 % dari kebutuhan daya total sistem hibrida yang dibangun, seperti pada Gambar 13.

**Gambar 13** Komposisi kapasitas daya pembangkit listrik PLTMH

Berdasarkan Gambar 13, pada operasi hibrida Hidro-Biomassa rerata PLTMH menghasilkan daya listrik sebesar 21 kW, dengan daya maksimum yang dihasilkan mencapai 22,2 kW, dan daya minimum yang dihasilkan sebesar 17,82 kW. Data ini menunjukkan fluktuasi produksi daya listrik dari turbin air, yang dipengaruhi oleh variasi aliran air yang terjadi sepanjang hari. Fluktuasi ini mencerminkan bagaimana kinerja turbin dalam sistem pembangkit listrik hibrida dapat berubah seiring dengan kondisi aliran air yang bervariasi.

KESIMPULAN

Simulasi perencanaan berdasarkan pendekatan tekno-ekonomi menggunakan *software* HOMER operasi sistem hibrida hidro-biomassa di Desa Pemenang Barat, Kecamatan Pemenang, Kabupaten Lombok Utara, Provinsi Nusa Tenggara Barat, dapat disimpulkan:

1. Kawasan ini memiliki potensi untuk pembangunan energi alternatif yang dapat digunakan sebagai pembangkit energi listrik untuk memenuhi kebutuhan energi listrik masyarakat setempat.
2. Adanya produksi lebih pada jam-jam tertentu pada saat beban ringan atau adanya produksi lebih dapat digunakan untuk keperluan industri atau usaha untuk peningkatan kesejahteraan masyarakat, serta dapat dijual ke PLN.
3. Dengan menggunakan *software* Homer, kita dapat mensimulasikan perencanaan pembuatan sistem pembangkit energi listrik dengan meninjau segi teknis dan ekonomi.
4. Total dana yang dibutuhkan untuk membeli komponen sistem saat proyek dimulai adalah US\$ 116.200. Nilai ini dari biaya pemasangan dan pengoperasian sistem sampai umur proyek selesai adalah US\$ 514.764. Harga rata-rata per kWh penggunaan energi listrik yang dihasilkan adalah US\$ 0,082.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. N. Azizah and S. Purbawanto, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid (PV dan Mikrohidro) Terhubung Grid (Studi Kasus Desa Merden, Kecamatan Padureso, Kebumen)," *J. List. Instrumentasi dan Elektron. Terap.*, vol. 2, no. 1, pp. 6–10, 2021, doi: 10.22146/juliet.v2i1.64365.
- [2] M. F. Rusydi, A. Djohar, M. Musaruddin, A. Lolok, A. N. Aliansyah, and I. Galugu, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTB dan PLTS) Menggunakan Aplikasi HOMER (Studi Kasus di Gunung Ahuawali)," *J. Fokus Elektroda*, vol. 09, no. 02, pp. 106–111, 2024.
- [3] 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.
- [4] H. Hidayatullah, I. Adhevina, and 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.)*, vol. 2, no. 2, pp. 34–44, 2024.
- [5] 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>
- [6] N. Amir, M. Efendy, S. Akhmad, F. M. Wahyu, and R. Firman Surya Putra, “Optimalisasi Penggunaan Energi Terbarukan untuk Desa Mandiri Energi dan Ramah Lingkungan,” *Rekayasa*, vol. 16, no. 1, pp. 42–48, 2023, doi: 10.21107/rekayasa.v16i1.19119.
- [7] A. Ansori, B. Yunitasari, S. Soeryanto, and M. Muhaji, “Model Hybrid Pembangkit Listrik Di Pedesaan,” *Otopro*, vol. 13, no. 2, p. 58, 2019, doi: 10.26740/otopro.v13n2.p58-62.
- [8] J. N. Zala, P. Jain, M. Tech, and E. Engineering, “Design and Optimization of a Biogas-Solar-Wind Hybrid System for Decentralized Energy Generation for Rural India,” *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 4, no. 9, pp. 649–656, 2017, [Online]. Available: <https://irjet.net/archives/V4/i9/IRJET-V4I9112.pdf>
- [9] Bapedda KLU, *Profil Daerah Kabupaten Lombok Utara Tahun 2023*. 2023. [Online]. Available: <https://satudata.lombokutarakab.go.id/storage/publikasi/PROFIL PEMBANGUNAN 2023.pdf>
- [10] Archie W. Culp, *Prinsip-Prinsip Konversi Energi*, 4th ed. Jakarta: Erlangga, 1996.