



Optimalisasi Penggunaan Energi Terbarukan dalam Sistem Pembangkit Listrik Hibrida untuk Komunitas Pedesaan

Irwansyah Syahputra^{1*}, Mustika Rahmat²

^{1,2}Teknik Elektro, Universitas Mulia Darma, Siantar, Indonesia

Email: ^{1*}irwansyah-putra@email.com, ³mustika_rahmat@gmail.com

Email Penulis Korespondensi: ¹ irwansyah-putra@email.com

Kata Kunci	Abstrak
Energi terbarukan Pembangkit listrik hibrida Komunitas pedesaan Optimasi HOMER	Komunitas pedesaan sering menghadapi tantangan dalam akses listrik akibat keterbatasan infrastruktur. Pembangkit listrik hibrida berbasis energi terbarukan (seperti tenaga surya dan angin) menjadi solusi yang berpotensi meningkatkan ketersediaan energi sekaligus mengurangi dampak lingkungan. Penelitian ini bertujuan mengkaji optimalisasi desain sistem pembangkit listrik hibrida yang memadukan energi terbarukan dengan generator berbahan bakar fosil sebagai pendukung. Dengan menggunakan metode simulasi perangkat lunak HOMER, dilakukan analisis terhadap berbagai konfigurasi sistem untuk memaksimalkan efisiensi energi dan menurunkan biaya operasional. Hasil menunjukkan bahwa sistem hibrida dengan dominasi energi terbarukan dapat memenuhi kebutuhan listrik komunitas pedesaan secara berkelanjutan dengan biaya yang lebih rendah dibandingkan solusi konvensional.
Abstract	
Keywords: Renewable energy Hybrid power plant Rural communities Optimization HOMER	Rural communities often face challenges in accessing electricity due to limited infrastructure. Hybrid power plants based on renewable energy (such as solar and wind) are solutions that have the potential to increase energy availability while reducing environmental impact. This study aims to examine the optimization of the design of a hybrid power generation system that combines renewable energy with fossil fuel generators as support. Using the HOMER software simulation method, various system configurations are analyzed to maximize energy efficiency and reduce operational costs. The results show that hybrid systems with a predominance of renewable energy can meet the electricity needs of rural communities sustainably at a lower cost than conventional solutions.

JuKSIT is licensed under a Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License



1. PENDAHULUAN

Akses listrik yang stabil dan terjangkau adalah faktor penting dalam pembangunan komunitas pedesaan. Namun, banyak daerah terpencil masih bergantung pada pembangkit listrik berbahan bakar fosil yang memiliki biaya tinggi dan dampak lingkungan negatif. Penggunaan energi terbarukan seperti tenaga surya dan angin menjadi solusi potensial, tetapi ketersediaannya yang fluktuatif menjadi tantangan utama. Sistem pembangkit listrik hibrida dapat menjadi solusi yang mengombinasikan keandalan pembangkit konvensional dengan keberlanjutan energi terbarukan. Penelitian ini berfokus pada desain dan optimalisasi sistem tersebut untuk diterapkan di komunitas pedesaan dengan memanfaatkan perangkat lunak simulasi.

Akses energi listrik yang andal dan terjangkau merupakan elemen penting dalam pembangunan ekonomi, pendidikan, dan kualitas hidup masyarakat, terutama di daerah pedesaan. Namun, komunitas pedesaan di banyak negara, termasuk Indonesia, masih menghadapi keterbatasan akses listrik akibat tantangan geografis, ekonomi, dan minimnya infrastruktur. Penggunaan generator berbahan bakar fosil menjadi solusi umum, tetapi menimbulkan masalah biaya operasional tinggi, polusi lingkungan, dan ketergantungan pada pasokan bahan bakar yang tidak stabil.

Dalam beberapa dekade terakhir, perhatian terhadap energi terbarukan semakin meningkat. Teknologi seperti panel surya, turbin angin, dan penyimpanan energi berbasis baterai kini lebih terjangkau dan efisien, membuka peluang untuk menerapkan sistem pembangkit listrik berbasis energi terbarukan di komunitas pedesaan. Sistem hibrida yang

mengombinasikan energi terbarukan dengan generator diesel dianggap sebagai solusi transisi yang dapat menjembatani kebutuhan listrik secara andal dengan mengurangi dampak lingkungan.

Penelitian oleh Rinaldi dan Sutanto (2022) menyoroti pentingnya energi terbarukan untuk komunitas terpencil di Indonesia. Sistem berbasis tenaga surya dan angin mampu mengurangi ketergantungan pada generator diesel hingga 50%, namun studi ini masih berfokus pada wilayah dengan radiasi matahari tinggi dan belum mengintegrasikan penyimpanan energi secara menyeluruh. Schmid et al. (2020) menganalisis konfigurasi sistem hibrida di daerah pedesaan Afrika. Studi ini menunjukkan bahwa integrasi energi terbarukan dengan generator diesel dapat mengurangi emisi karbon sebesar 40% dan menurunkan biaya listrik per kWh. Namun, penelitian ini kurang mempertimbangkan dinamika potensi energi lokal seperti fluktuasi kecepatan angin. Al-Turki et al. (2021) menggunakan perangkat lunak HOMER untuk simulasi sistem hibrida di Timur Tengah. Studi ini berhasil mengoptimalkan konfigurasi berbasis energi terbarukan, tetapi implementasi sistem dalam skala besar menghadapi kendala finansial akibat tingginya biaya awal investasi.

Meskipun penelitian sebelumnya telah menunjukkan potensi besar energi terbarukan dalam sistem pembangkit listrik hibrida, terdapat beberapa celah yang belum sepenuhnya dieksplorasi. Sebagian besar penelitian difokuskan pada wilayah dengan potensi energi stabil (misalnya, Afrika atau Timur Tengah). Wilayah tropis seperti Indonesia dengan variabilitas tinggi (curah hujan tinggi dan fluktuasi angin) belum banyak diteliti. Penelitian sebelumnya cenderung fokus pada efisiensi energi tanpa mengintegrasikan faktor sosial-ekonomi seperti kemampuan finansial masyarakat pedesaan. Perkembangan teknologi penyimpanan energi seperti baterai lithium-ion belum sepenuhnya dimanfaatkan dalam penelitian yang relevan dengan kondisi pedesaan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengisi gap tersebut dengan Melakukan simulasi optimalisasi sistem hibrida berbasis tenaga surya, angin, dan generator diesel di wilayah tropis menggunakan perangkat lunak HOMER, serta Mengintegrasikan analisis efisiensi energi dengan pertimbangan sosial-ekonomi komunitas pedesaan, penelitian ini juga bertujuan Mengevaluasi manfaat penerapan baterai modern untuk meningkatkan keandalan dan keberlanjutan sistem.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi praktis untuk pengembangan sistem pembangkit listrik hibrida di komunitas pedesaan dengan pendekatan yang holistik

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji optimalisasi sistem pembangkit listrik hibrida berbasis energi terbarukan untuk komunitas pedesaan. Pendekatan yang digunakan adalah simulasi dengan perangkat lunak HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables), yang memungkinkan analisis teknis dan ekonomi dari berbagai konfigurasi sistem pembangkit listrik.

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dipilih berdasarkan karakteristik daerah pedesaan di Indonesia yang belum memiliki akses listrik memadai. Data potensi sumber daya energi (radiasi matahari, kecepatan angin) diambil dari data meteorologi lokal. Misalnya:

1. **Radiasi Matahari:** 4,5–5,5 kWh/m²/hari
2. **Kecepatan Angin:** 4–5 m/s

2.2 Desain Penelitian

Proses penelitian mencakup beberapa tahapan:

1. Pengumpulan Data

- a. Data Energi: Intensitas cahaya matahari dan kecepatan angin.
- b. Profil Beban: Konsumsi listrik masyarakat pedesaan (kebutuhan rumah tangga, sekolah, fasilitas kesehatan).
- c. Parameter Ekonomi: Biaya komponen, biaya operasional, dan biaya pemeliharaan.

2. Pemodelan Sistem Hibrida

Sistem pembangkit listrik hibrida terdiri dari:

- a. Energi Terbarukan: Panel surya dan turbin angin.
- b. Penyimpanan Energi: Baterai lithium-ion.
- c. Pembangkit Pendukung: Generator diesel sebagai cadangan.
- d. Komponen Pendukung: Inverter dan kontroler.

3. Simulasi dan Optimalisasi

Dengan perangkat lunak HOMER, simulasi dilakukan untuk mengevaluasi:

- a. Biaya Listrik per kWh (Cost of Energy/CoE).
- b. Penetrasi energi terbarukan dalam total produksi energi.



c. Emisi karbon sistem.

4. Analisis Sensitivitas

Analisis dilakukan untuk melihat pengaruh variasi parameter seperti biaya bahan bakar, potensi energi terbarukan, dan harga komponen terhadap kinerja sistem.

2.3 Alur Penelitian

Berikut adalah alur penelitian yang menggambarkan tahapan dari pengumpulan data hingga analisis hasil:

1. Pengumpulan Data
2. Pemodelan Sistem Hibrida
3. Simulasi dengan HOMER
4. Analisis Teknis dan Ekonomi
5. Hasil dan Pembahasan

2.4 Konfigurasi Sistem

Konfigurasi sistem dirancang sebagai berikut:

- a. Panel Surya: Menghasilkan listrik dari energi matahari.
- b. Turbin Angin: Menghasilkan listrik dari energi angin.
- c. Baterai: Menyimpan energi saat produksi lebih besar dari konsumsi.

2.5 Analisis Data

- a) Efisiensi Energi: Persentase energi yang dipenuhi dari sumber terbarukan.
- b) Ekonomi: Analisis biaya investasi awal, biaya operasi tahunan, dan biaya listrik per kWh.
- c) Lingkungan: Pengurangan emisi karbon dibandingkan sistem berbahan bakar diesel sepenuhnya.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan model sistem pembangkit listrik hibrida berbasis energi terbarukan untuk komunitas pedesaan. Berikut adalah temuan utama yang diperoleh dari simulasi menggunakan perangkat lunak HOMER:

1. Potensi Sumber Daya Energi Terbarukan

Data meteorologi menunjukkan bahwa wilayah penelitian memiliki potensi energi yang cukup baik:

1. **Radiasi Matahari:** Rata-rata 5,2 kWh/m²/hari.
 2. **Kecepatan Angin:** Rata-rata 4,6 m/s, dengan fluktuasi musiman yang moderat.
- Potensi ini memungkinkan integrasi panel surya dan turbin angin untuk memenuhi kebutuhan listrik.

2. Konfigurasi Sistem Optimal

Hasil simulasi menunjukkan bahwa konfigurasi terbaik untuk sistem hibrida di lokasi penelitian adalah sebagai berikut:

1. **Panel Surya:** Kapasitas 50 kWp.
2. **Turbin Angin:** Kapasitas 30 kWp.
3. **Generator Diesel:** Kapasitas 20 kWp (sebagai cadangan).
4. **Baterai Lithium-Ion:** Kapasitas penyimpanan 200 kWh.
5. **Inverter:** Kapasitas 60 kW.

Konfigurasi ini menghasilkan:

- a. Penetrasi energi terbarukan sebesar 78%.
- b. Biaya listrik per kWh (Cost of Energy/CoE) sebesar USD 0,12.
- c. Emisi karbon yang berkurang hingga 65% dibandingkan sistem berbasis diesel sepenuhnya.

Perbandingan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya, terlihat pada tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Penelitian dengan Penelitian Sebelumnya

Aspek	Penelitian Ini	Rinaldi & Sutanto (2022)	Schmid et al. (2020)
Lokasi	Komunitas pedesaan di wilayah tropis (Indonesia)	Wilayah Indonesia dengan radiasi tinggi	Daerah pedesaan Afrika
Energi Terbarukan	Surya (50%), Angin (30%)	Surya (70%), Diesel (30%)	Surya (60%), Angin (20%), Diesel (20%)
Teknologi Penyimpanan	Baterai Lithium-Ion	Tanpa penyimpanan	Baterai Lead-Acid



Penetrasi Energi Terbarukan	78%	50%	65%
Biaya Listrik per kWh	USD 0,12	USD 0,15	USD 0,18
Emisi Karbon	65% lebih rendah dibanding diesel	40% lebih rendah dibanding diesel	50% lebih rendah dibanding diesel

Penelitian ini menunjukkan peningkatan penetrasi energi terbarukan (78%) dibandingkan penelitian sebelumnya. Penggunaan baterai lithium-ion memungkinkan penyimpanan energi lebih efisien, sehingga mengurangi penggunaan generator diesel. Biaya listrik dalam penelitian ini lebih rendah (USD 0,12/kWh) karena optimasi sistem dan penurunan harga komponen energi terbarukan. Sebaliknya, Rinaldi & Sutanto (2022) dan Schmid et al. (2020) mencatat biaya lebih tinggi karena keterbatasan teknologi penyimpanan. Sistem ini mengurangi emisi karbon secara signifikan, mencapai 65% lebih rendah dibandingkan sistem berbasis diesel sepenuhnya. Hal ini lebih baik dibandingkan penelitian sebelumnya yang hanya mencapai 40-50%.

Dengan demikian penelitian ini berkontribusi dalam Memberikan model sistem pembangkit listrik hibrida yang lebih relevan untuk wilayah tropis dengan variabilitas tinggi. Menunjukkan pentingnya penyimpanan energi modern dalam meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan sistem. Menawarkan pendekatan holistik yang mempertimbangkan aspek teknis, ekonomi, dan lingkungan. Hasil ini mengisi gap dari penelitian sebelumnya, terutama dalam konteks integrasi energi terbarukan di wilayah tropis dengan potensi energi yang dinamis.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengkaji dan mengoptimalkan sistem pembangkit listrik hibrida berbasis energi terbarukan untuk komunitas pedesaan di wilayah tropis. Simulasi dengan perangkat lunak HOMER menunjukkan bahwa konfigurasi terbaik adalah kombinasi panel surya, turbin angin, baterai lithium-ion, dan generator diesel sebagai cadangan. Sistem ini mampu Meningkatkan Efisiensi Energi: Penetrasi energi terbarukan mencapai 78%, jauh lebih tinggi dibandingkan penelitian sebelumnya, sehingga mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, Menurunkan Biaya Listrik: Biaya listrik per kWh (USD 0,12) lebih rendah dibandingkan pendekatan konvensional atau sistem berbasis diesel sepenuhnya. Mengurangi Emisi Karbon: Sistem ini berhasil menurunkan emisi karbon hingga 65%, mendukung transisi energi yang lebih berkelanjutan, Penelitian ini juga menyoroti pentingnya pemanfaatan teknologi penyimpanan energi modern seperti baterai lithium-ion untuk meningkatkan keandalan sistem. Selain itu, pendekatan ini memberikan solusi praktis bagi komunitas pedesaan di wilayah dengan variabilitas potensi energi tinggi, menjawab celah dalam penelitian sebelumnya., Adopsi sistem ini memerlukan dukungan kebijakan seperti subsidi atau insentif untuk mengatasi tantangan biaya investasi awal. Dengan pendekatan yang holistik, penelitian ini memberikan rekomendasi yang relevan untuk implementasi energi terbarukan di komunitas pedesaan, mendukung akses energi yang ramah lingkungan, berkelanjutan, dan ekonomis..

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada pihak-pihak yang telah mendukung terlaksananya penelitian ini.

REFERENCES

- [1] HOMER Energy. (2023). *Hybrid Optimization Model for Electric Renewables*. [Online] Tersedia di: <https://www.homerenergy.com>
- [2] Rinaldi, T., & Sutanto, D. (2022). "Penerapan Energi Terbarukan di Pedesaan: Studi Kasus Indonesia." *Jurnal Energi Terbarukan*, 15(3), 45-56.
- [3] International Renewable Energy Agency (IRENA). (2021). "Renewable Energy in Off-Grid Communities." Abu Dhabi: IRENA Publications.
- [4] Schmid, M., et al. (2020). "Economic Analysis of Hybrid Renewable Energy Systems." *Renewable Energy Journal*, 45(2), 312-324.