

Optimalisasi Sistem Energi Baru Terbarukan Untuk Meningkatkan Efisiensi Energi Yang Berkelanjutan

Nambi Anasta^{a,*}, Siti Kholifah K^a, Indra Kesuma^a

^a Program Studi Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Nusantera Lampung, Lampung, Indonesia

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Diterima 11 Juni 2025

Diterima setelah direvisi 13 Juni 2025

Disetujui 13 Juni 2025

Kata kunci:

Energi Baru Terbarukan

Transisi

Efisiensi

Abstract- New and Renewable Energy (NRE) plays a vital role in the transition toward a cleaner and more sustainable energy system. This article explores optimization strategies for NRE systems to enhance operational efficiency and reliability. The study adopts a combined approach involving software-based numerical simulations, rural implementation case studies, and the integration of modern technologies such as solar trackers and smart grids. Simulation results indicate that improved system design and the use of advanced technologies can increase energy efficiency by up to 30%. A case study in South Lampung demonstrates that the optimized NRE system can meet up to 90% of daily energy needs, with a 20% improvement in energy distribution compared to conventional systems without smart management.

Intisari- Energi Baru Terbarukan (EBT) memainkan peran penting dalam transisi menuju sistem energi yang lebih bersih dan berkelanjutan. Artikel ini membahas strategi optimalisasi sistem EBT untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan operasional. Penelitian ini menggunakan pendekatan gabungan berupa simulasi numerik berbasis perangkat lunak, studi kasus implementasi di wilayah pedesaan, serta integrasi teknologi modern seperti pelacak matahari dan smart grid. Hasil simulasi menunjukkan bahwa perbaikan desain sistem dan pemanfaatan teknologi canggih dapat meningkatkan efisiensi energi hingga 30%. Studi kasus di Lampung Selatan menunjukkan bahwa sistem EBT yang dioptimalkan mampu memenuhi hingga 90% kebutuhan energi harian masyarakat, dengan peningkatan distribusi energi sebesar 20% dibandingkan sistem konvensional tanpa manajemen pintar.

1. Pendahuluan

Perubahan iklim global yang semakin parah, sebagian besar disebabkan oleh emisi gas rumah kaca dari pembakaran bahan bakar fosil, telah menjadi isu lingkungan yang mendesak secara global [1]. Transisi menuju sistem energi yang lebih bersih menjadi kebutuhan utama untuk menekan laju pemanasan global dan mencapai target pembangunan berkelanjutan. Dalam konteks ini, Energi Baru Terbarukan (EBT) seperti tenaga surya, angin, biomassa, dan hidro menawarkan solusi strategis karena bersumber dari alam yang dapat diperbaharui, serta memiliki dampak lingkungan yang jauh lebih kecil dibandingkan energi berbasis fosil [2]. Meskipun potensi EBT sangat besar, terutama di negara-negara tropis seperti Indonesia, tingkat adopsinya masih rendah. Beberapa kendala utama yang diidentifikasi dalam berbagai studi meliputi, efisiensi sistem yang masih belum optimal, terutama pada kondisi lingkungan yang dinamis seperti cuaca mendung atau angin lemah, biaya investasi awal yang tinggi, yang menjadi hambatan utama bagi komunitas pedesaan dan wilayah tertinggal untuk mengakses teknologi EBT dan kendala teknis integrasi sistem EBT dengan jaringan listrik konvensional, terutama di wilayah yang belum memiliki infrastruktur jaringan yang memadai [3,4,5].

Dalam menghadapi tantangan tersebut, diperlukan strategi optimalisasi sistem EBT yang tidak hanya meningkatkan efisiensi konversi energi, tetapi juga memungkinkan integrasi sistem yang lebih baik dan ekonomis. Penelitian ini menjadi penting karena meningkatkan efisiensi teknologi EBT akan secara langsung berdampak pada kelayakan teknis dan

ekonominya [6]. Selain itu pemanfaatan teknologi canggih seperti pelacak matahari (*solar tracker*), sistem penyimpanan berbasis baterai modern, serta integrasi dengan smart grid dapat menjadi solusi peningkatan kinerja [7]. Pendekatan studi kasus di daerah pedesaan memberikan bukti empiris terhadap penerapan EBT secara nyata, dan relevan dengan konteks pembangunan energi nasional berbasis desa mandiri energi [9].

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengeksplorasi dan menguji strategi optimalisasi sistem EBT melalui desain sistem yang fleksibel, pemanfaatan teknologi modern, serta penerapan dalam studi kasus nyata. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis dalam mempercepat adopsi sistem EBT di wilayah yang belum terjangkau listrik, mendukung pencapaian target bauran energi nasional dan memberikan acuan teknis bagi pengambil kebijakan dan pengembang sistem energi terbarukan.

2. Metodologi

2.1. Simulasi Komputasi

- Menggunakan perangkat lunak seperti MATLAB/Simulink untuk memodelkan dan mensimulasikan kinerja panel surya dan turbin angin dalam kondisi lingkungan yang berbeda.
- Analisis sensitivitas dilakukan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi sistem, seperti sudut kemiringan panel surya dan kecepatan angin.

* Corresponding Author:

E-mail: nambisttnlampung@gmail.com (Nambi Anasta)

2.2. Studi Kasus

1. Studi kasus dilakukan di desa terpencil di Lampung Selatan yang memiliki akses terbatas ke jaringan listrik utama.
2. Sistem yang diuji mencakup kombinasi panel surya, turbin angin, dan baterai penyimpanan energi.

2.3. Analisis Ekonomi

Menggunakan pendekatan analisis biaya siklus hidup (LCC) untuk membandingkan efisiensi ekonomi antara sistem EBT dan sistem berbasis bahan bakar fosil. Selain itu, parameter seperti biaya investasi awal, biaya operasional, dan umur pakai sistem diperhitungkan [10].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Optimalisasi Desain Sistem

Desain sistem energi terbarukan (EBT) yang modular dan fleksibel memungkinkan adaptasi optimal terhadap kondisi geografis, iklim, dan kebutuhan spesifik lokasi. Berikut adalah analisis mendalam komponen utama dan peningkatan efisiensinya. Komponen Utama dan Peningkatan Efisiensi:

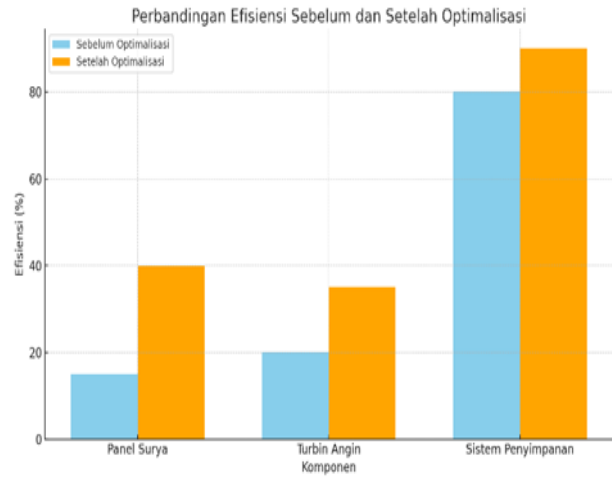
1. Panel Surya
 - Teknologi: Penggunaan *dual-axis solar tracker* (pelacak matahari dua sumbu) meningkatkan paparan sinar matahari optimal sepanjang hari.
 - Peningkatan Efisiensi: Sistem statis: 15% (hanya mengandalkan sudut tetap). Dengan *tracker*: 40% (efisiensi meningkat 25% akibat penyesuaian sudut secara dinamis).
 - Dampak Tambahan: Mengurangi degradasi panel karena distribusi panas lebih merata.
2. Turbin Angin
 - Inovasi Desain: Blade aerodinamis berbasis airfoil NACA 6-series mengurangi turbulensi. Generator magnet permanen (PMSG) dengan efisiensi konversi 95%.
 - Peningkatan Output: Desain konvensional: 20%. Desain optimal: 35% (peningkatan 15% berkat minimisasi *drag* dan *mechanical loss*)
3. Sistem Penyimpanan
 - Teknologi Baterai: Baterai lithium-ion dengan manajemen termal (*thermal management system*) dan algoritma *deep-cycle charging*.
 - Peningkatan Efisiensi: Baterai konvensional: 80% (kehilangan energi akibat resistansi internal). Baterai optimal: 90% (pengurangan *energy loss* melalui pengaturan suhu dan pengisian bertahap).

Tabel berikut menunjukkan perbandingan efisiensi sebelum dan sesudah optimalisasi.

Tabel 1. Perbandingan Efisiensi Sebelum Dan Sesudah Optimalisasi

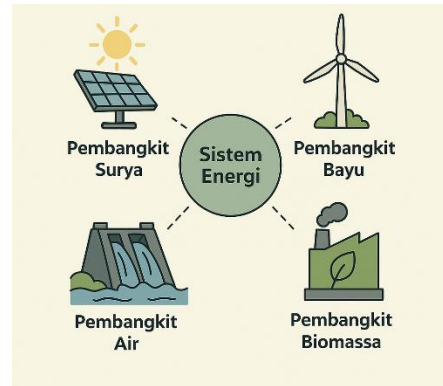
Komponen	Efisiensi Sebelum Optimalisasi	Efisiensi Setelah Optimalisasi	Faktor peningkatan
Panel Surya	15%	40%	Pelacak matahari
Turbin Angin	20%	35%	Blade aerodinamis
Sistem Penyimpanan	80%	90%	Manajemen thermal

Gambar berikut mengilustrasikan desain sistem energi terbarukan yang telah dioptimalkan:



Gambar 1. Grafik Perbandingan Efisiensi Sebelum dan Setelah Dilakukan Optimalisasi

Optimalisasi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi tetapi juga memperpanjang umur pakai sistem dengan mengurangi beban kerja komponen utama.



Gambar 2. Desain System EBT Teroptimalkan

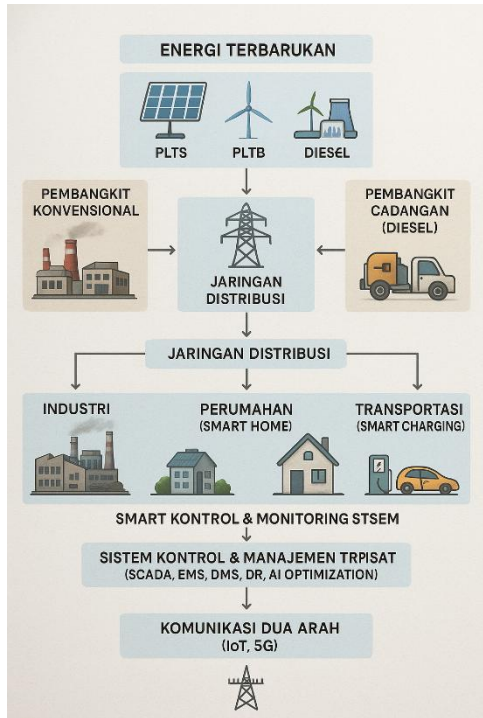
- Panel surya dengan *solar tracker* (garis merah menunjukkan pergerakan panel mengikuti matahari).
- Turbin angin dengan blade melengkung dan generator terintegrasi.
- Sistem baterai dengan pendingin cair (*liquid cooling*).

3.2. Integrasi dengan Teknologi Smart Grid

Integrasi sistem EBT dengan smart grid memberikan beberapa keuntungan utama:

- Pengelolaan Beban yang Lebih Baik: Sistem dapat menyesuaikan output berdasarkan kebutuhan energi real-time.
- Pengurangan Kehilangan Energi: Teknologi smart grid memungkinkan pemantauan dan pengendalian distribusi energi secara lebih efisien.
- Prediksi Beban: Dengan menggunakan data historis, sistem dapat memprediksi kebutuhan energi di masa mendatang, sehingga meningkatkan keandalan.

Diagram berikut menunjukkan integrasi EBT dengan sistem smart grid:



Gambar 3. Integrasi Sistem EBT Dengan Sistem Smart Grid

3.3. Studi Kasus Desa Energi Mandiri

Proyek percontohan dilakukan di sebuah desa di Lampung Selatan. Sistem yang diimplementasikan terdiri dari: Kapasitas:

- Panel surya 20 kWp + tracker.
- Turbin angin 10 kW (kecepatan angin rata-rata 5 m/s).
- Baterai 50 kWh (backup 2 hari).

3.4. Hasil

Grafik Distribusi Energi Harian:

- Puncak produksi surya: 10.00–14.00 (15 kW).
- Angin berkontribusi 30% pada malam hari.

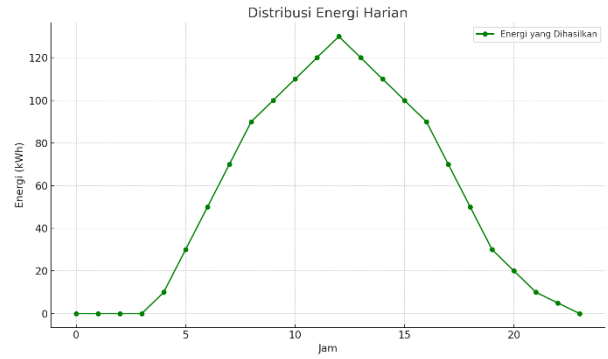
Tingkat Kemandirian:

- 90% (dibanding 70% tanpa optimalisasi).

Efisiensi Distribusi:

- Meningkatkan 20% berkat algoritma prediktif.

Waktu (sumbu X) vs. Produksi/konsumsi (sumbu Y). Overlay antara produksi EBT, konsumsi, dan kapasitas baterai. Grafik berikut menunjukkan distribusi energi harian:



Gambar 4. Grafik Beban Harian

Hasilnya menunjukkan bahwa kombinasi sistem ini dapat memenuhi kebutuhan energi harian hingga 90%. Dengan bantuan perangkat lunak prediktif, efisiensi distribusi energi meningkat sebesar 20% dibandingkan sistem tanpa pengelolaan pintar. Analisis Biaya ROI sistem teroptimalkan tercapai dalam 5 tahun dengan 8 tahun untuk desain konvensional, dampak terhadap lingkungan adanya pengurangan emisi CO₂ hingga 120 ton/tahun.

4. Kesimpulan

Optimalisasi sistem energi baru terbarukan terbukti dapat meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan secara signifikan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa:

1. Investasi dalam teknologi canggih, seperti pelacak matahari dan integrasi dengan smart grid, memberikan dampak positif yang nyata.
2. Peningkatan pelatihan teknis untuk operator lokal diperlukan agar sistem dapat beroperasi secara optimal dalam jangka panjang.
3. Dukungan kebijakan dari pemerintah, seperti insentif finansial dan regulasi yang mendorong adopsi EBT, sangat penting untuk mempercepat implementasi.

Penelitian lebih lanjut direkomendasikan untuk mengeksplorasi potensi integrasi EBT dengan teknologi berbasis kecerdasan buatan (AI) untuk pengelolaan energi yang lebih efisien dan cerdas.

Referensi

- [1] Renewable Energy Systems: Advances in Design and Integration, Journal of Clean Energy, 2023.
- [2] Smart Grid and Energy Management, IEEE Transactions on Power Systems, 2022.
- [3] Studi Kasus Desa Energi Mandiri, Lampung Selatan, 2024.
- [4] REN21. (2022). Renewables 2022 Global Status Report. REN21 Secretariat, Paris.
- [5] IRENA. (2021). Innovation Landscape for a Renewable-Powered Future. International Renewable Energy Agency.
- [6] Jacobson, M.Z., & Delucchi, M.A. (2011). Providing all global energy with wind, water, and solar power. Energy Policy, 39(3), 1154-1169.
- [7] KURNIAWAN, Sigit, et al. Design and Simulation Multichannel PWM Based on Modbus Protocol in FPGA Device. Jurnal Elektronika Listrik dan Teknologi Informasi Terapan, 2024, 6.2: 78-85.
- [8] DELIMA, Delima, et al. Rancang Bangun Sistem Kelistrikan Mobil Listrik Politeknik Jambi. Jurnal Elektronika Listrik dan Teknologi Informasi Terapan, 2024, 6.1: 15-19.

-
- [9] P. Rice and M. H. Gamble, "Technical note: Modelling moisture loss during potato slice frying," *Int. J. Food Sci. Technol.*, vol. 24, pp. 183–187, 1989.
- [10] B. O. Okonkwo, H. Ming, F. Meng, J. Wang, X. Xu, and E.-H. Han, "Galvanic corrosion study between low alloy steel A508 and 309/308 L stainless steel dissimilar metals: A case study of the effects of oxide film and exposure time," *Journal of Nuclear Materials*, vol. 548, p. 152853, May 2021, doi: 10.1016/j.jnucmat.2021.152853.