

RANCANG BANGUN PROTOTIPE PEMBANGKIT LISTRIK HYBRID SURYA–ANGIN PORTABLE BERBASIS MODULAR UNTUK APLIKASI POS PERBATASAN

Rian Tansatrisna Abrianto¹⁾ dan Koko Hadi Santoso²⁾

¹⁾ Politeknik Angkatan Darat Jl. Raya Anggrek, Ds Pendem, Kec Junrejo, Kota Batu,
Malang 65324, Prov Jawa Timur

E – mail : riantansatrisna3@gmail.com¹⁾ kokohadisantoso21100@gmail.com²⁾

Abstract: *The demand for electricity in border posts is crucial to support operations such as communication, lighting, and tactical equipment, while the availability of fossil fuel is often limited due to distribution challenges. This study aims to design and develop a portable modular hybrid solar–wind power generation prototype as an efficient and mobile renewable energy solution. The research method includes the design of a photovoltaic system, a small-scale wind turbine, a battery-based energy storage module, and an integrated charging control system. The prototype was tested through load simulations representing border post electricity demand with variations in solar irradiance and wind speed. The results show that the hybrid system can generate an average electrical output of 450 W under optimal conditions with an energy storage efficiency of 82%. The modular design provides advantages in mobility and ease of maintenance compared to conventional systems. The conclusion of this study is that the portable modular hybrid solar–wind power generator is feasible to be applied as an alternative energy source for border posts. Future research is suggested to focus on optimizing battery capacity and implementing IoT-based monitoring systems to improve system reliability and efficiency.*

Keywords: *Hybrid power generation, solar–wind, portable, modular, border post*

Abstrak: *Kebutuhan energi listrik di pos perbatasan sangat penting untuk mendukung operasional komunikasi, pencahayaan, dan peralatan taktis, sementara ketersediaan bahan bakar fosil sering terkendala distribusi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun prototipe pembangkit listrik hybrid surya–angin portable berbasis modular sebagai solusi energi terbarukan yang efisien dan mudah dipindahkan. Metode penelitian meliputi perancangan sistem panel surya, turbin angin skala kecil, modul penyimpanan energi berbasis baterai, serta integrasi kontrol pengisian. Prototipe diuji melalui simulasi beban listrik skala pos perbatasan dengan variasi intensitas cahaya matahari dan kecepatan angin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem hybrid mampu menghasilkan daya listrik rata-rata sebesar 450 W pada kondisi optimal dengan efisiensi penyimpanan energi mencapai 82%. Desain modular memberikan keunggulan dalam mobilitas dan kemudahan perawatan dibandingkan sistem konvensional. Kesimpulan dari penelitian ini adalah pembangkit listrik hybrid surya–angin portable berbasis modular layak digunakan sebagai alternatif sumber energi di pos perbatasan. Saran untuk penelitian selanjutnya adalah optimasi kapasitas baterai dan*

penerapan sistem monitoring berbasis IoT guna meningkatkan keandalan dan efisiensi sistem.

Kata kunci: Pembangkit hybrid, surya–angin, portable, modular, pos perbatasan

PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan utama dalam menunjang berbagai aspek kehidupan manusia, termasuk sektor pertahanan dan keamanan. Di wilayah perbatasan, keberadaan energi listrik sangat penting untuk mendukung kegiatan operasional seperti sistem komunikasi, penerangan, radar, hingga perangkat elektronik yang digunakan oleh personel militer. Namun, penyediaan energi listrik di pos perbatasan masih menghadapi kendala besar, terutama karena keterbatasan jaringan listrik negara serta sulitnya distribusi bahan bakar fosil untuk pengoperasian generator. Ketergantungan pada bahan bakar fosil tidak hanya menimbulkan biaya operasional tinggi, tetapi juga menimbulkan risiko keamanan logistik serta dampak lingkungan berupa emisi gas buang.

Sebagai alternatif, energi terbarukan menjadi solusi yang layak dipertimbangkan. Indonesia memiliki potensi energi surya yang melimpah dengan rata-rata radiasi matahari 4–5 kWh/m² per hari, serta potensi energi angin di beberapa wilayah pesisir dan daerah perbatasan dengan kecepatan rata-rata yang memadai. Kombinasi keduanya melalui sistem pembangkit listrik hybrid surya–angin memungkinkan kontinuitas suplai energi listrik yang lebih stabil, karena panel surya bekerja optimal pada siang hari, sedangkan turbin angin dapat menghasilkan energi pada malam hari atau kondisi mendung.

Pengembangan sistem pembangkit listrik hybrid yang bersifat portable dan modular memiliki urgensi tinggi bagi pos perbatasan. Portable berarti sistem dapat dipindahkan sesuai kebutuhan operasi, sementara modular memberi fleksibilitas

dalam ekspansi kapasitas, perawatan, maupun penggantian komponen. Konsep ini relevan dengan kebutuhan militer di perbatasan yang menuntut sistem energi efisien, fleksibel, dan mudah dioperasikan di berbagai kondisi medan.

Pembangkit listrik hybrid merupakan integrasi dari dua atau lebih sumber energi terbarukan yang bekerja secara bersamaan untuk menghasilkan energi listrik yang lebih stabil. Sistem photovoltaic (PV) mengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik, sedangkan turbin angin mengonversi energi kinetik angin menjadi energi mekanik yang kemudian diubah menjadi energi listrik. Integrasi kedua sistem ini dapat meningkatkan kontinuitas suplai energi dan mengurangi ketergantungan terhadap satu jenis sumber energi (Kumar, 2020).

Desain modular dalam rekayasa mesin dikenal sebagai pendekatan yang memberikan fleksibilitas tinggi. Setiap modul dapat dirancang sebagai unit mandiri yang dapat digabungkan atau dilepaskan sesuai kebutuhan. Konsep ini banyak digunakan pada sistem energi terbarukan untuk memudahkan perawatan dan meningkatkan efisiensi distribusi (Li, 2019). Sedangkan desain portable menekankan aspek mobilitas sehingga sistem dapat dibawa, dipasang, dan dipindahkan dengan mudah di lapangan.

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sistem hybrid surya–angin skala kecil dapat meningkatkan efisiensi penyediaan energi di daerah terpencil. Namun, penelitian mengenai penerapannya dalam bentuk prototipe portable dan modular untuk kebutuhan pos perbatasan masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini penting dilakukan untuk mengisi

celah tersebut sekaligus memberikan kontribusi nyata bagi kemandirian energi di wilayah strategis.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan prototipe pembangkit listrik hybrid surya–angin portable berbasis modular yang andal, efisien, serta sesuai untuk kebutuhan operasional pos perbatasan. Secara akademis, penelitian ini dapat menjadi referensi dalam pengembangan teknologi energi terbarukan di bidang teknik mesin, khususnya dalam konteks desain sistem mekanis dan integrasi sumber energi. Secara praktis, hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan oleh institusi pertahanan maupun masyarakat sipil di daerah terpencil sebagai solusi energi alternatif yang berkelanjutan, ramah lingkungan, dan hemat biaya.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan rekayasa eksperimental dengan metode rancang bangun (design and build). Tahapan penelitian dimulai dari identifikasi kebutuhan energi listrik pos perbatasan, perancangan sistem pembangkit listrik hybrid berbasis surya–angin, pembuatan prototipe portable dengan konsep modular, hingga pengujian kinerja prototipe pada kondisi laboratorium yang disimulasikan menyerupai kebutuhan beban di pos perbatasan. Pendekatan rancang bangun dipilih karena penelitian ini bertujuan menghasilkan prototipe fungsional sekaligus menguji kinerjanya secara langsung (Creswell, 2014).

Sasaran penelitian ini adalah sistem penyedia energi listrik untuk pos perbatasan yang umumnya memiliki keterbatasan pasokan energi konvensional. Karena penelitian bersifat rekayasa, populasi tidak didefinisikan sebagai individu, melainkan pada sistem energi terbarukan berbasis hybrid. Sampel penelitian berupa prototipe pembangkit listrik hybrid surya–angin skala kecil dengan kapasitas keluaran daya maksimum sekitar 500 W, yang didesain untuk mampu melayani kebutuhan dasar

listrik di pos perbatasan, seperti pencahayaan, radio komunikasi, dan peralatan elektronik ringan.

Teknik Pengumpulan Data dikumpulkan melalui dua pendekatan utama:

Data Primer, diperoleh dari hasil pengujian langsung prototipe meliputi tegangan, arus, daya keluaran, efisiensi penyimpanan energi baterai, serta kontinuitas pasokan energi pada variasi intensitas radiasi matahari dan kecepatan angin. Pengujian dilakukan menggunakan alat ukur seperti multimeter digital, anemometer, pyranometer, serta data logger. Data Sekunder, diperoleh dari literatur, jurnal, dan standar teknis terkait energi surya, turbin angin skala kecil, serta sistem hybrid portable yang relevan.

Instrumen penelitian berupa prototipe pembangkit listrik hybrid portable berbasis modular yang terdiri dari panel surya, turbin angin skala kecil, sistem penyimpanan energi berbasis baterai, charge controller, dan inverter. Instrumen pendukung berupa alat ukur intensitas radiasi matahari (pyranometer), alat ukur kecepatan angin (anemometer), dan perangkat pencatat data arus-tegangan (data logger). Instrumen diuji terlebih dahulu untuk memastikan validitas dan reliabilitas data pengukuran sesuai standar pengujian energi terbarukan (IEC 61400 untuk turbin angin kecil dan IEC 61215 untuk panel surya).

Teknik Analisis Data dianalisis secara deskriptif kuantitatif dengan membandingkan performa sistem terhadap kebutuhan energi dasar pos perbatasan. Parameter yang dianalisis meliputi:

1. Daya keluaran sistem (Watt) dari kombinasi panel surya dan turbin angin.
2. Efisiensi konversi energi dari sumber primer ke baterai penyimpanan.
3. Rasio kontinuitas energi (availability ratio), yaitu perbandingan antara energi yang dihasilkan dengan kebutuhan beban listrik simulasi.

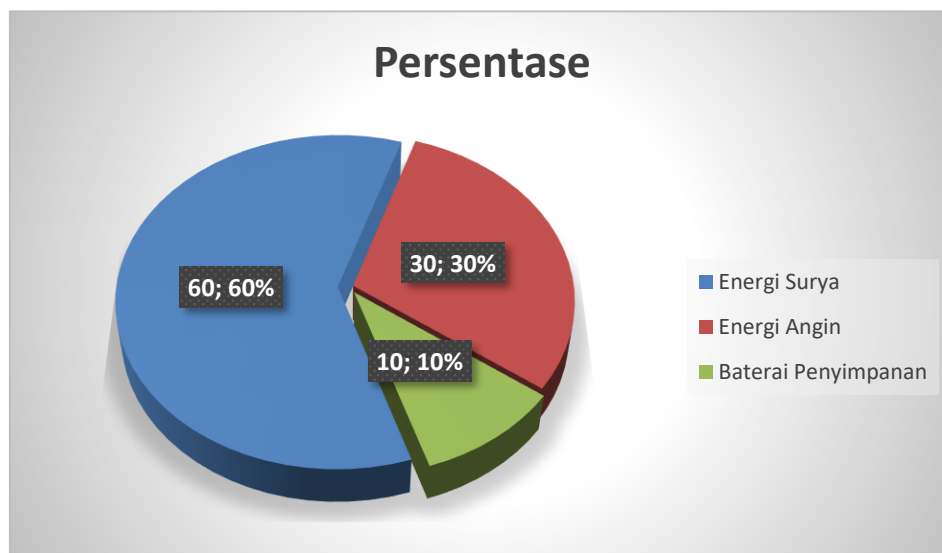
Analisis keunggulan dan keterbatasan dibandingkan sistem konvensional berbahan

bakar fosil. Hasil pengujian kemudian dievaluasi menggunakan pendekatan perbandingan standar kinerja sistem hybrid yang direkomendasikan dalam literatur energi terbarukan (Twidell & Weir, 2015). Analisis juga mempertimbangkan aspek teknis (output daya), aspek ekonomis (biaya operasional), serta aspek keberlanjutan (ramah lingkungan dan kemudahan operasional).

saja yang perlu dilaporkan, bukan proses analisis data seperti perhitungan statistik dan proses pengujian hipotesis tidak perlu disajikan. Tabel dan grafik dapat digunakan untuk memperjelas penyajian hasil penelitian secara verbal, dan harus diberi komentar atau dibahas. Untuk penelitian kualitatif, bagian hasil memuat bagian-bagian rinci dalam bentuk sub topik-sub topik yang

HASIL PENELITIAN

Hasil penelitian yang disajikan hanya hasil analisis dan hasil pengujian hipotesis



Gambar 1. Contoh gambar.

PEMBAHASAN

Tujuan dari temuan studi ini adalah untuk menganalisis permasalahan dan menilai prototipe sebagai sumber energi alternatif di wilayah terdampak. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kombinasi panel surya dan turbin angin dapat mengurangi kebutuhan dasar listrik, yaitu untuk penerangan, komunikasi radio, dan peralatan elektronik berkualitas tinggi.

Fitur utama sistem ini adalah desain modularnya, yang memudahkan perawatan, pengembangan komponen, dan mobilitas di lapangan. Dibandingkan dengan generator

yang menggunakan bahan bakar fosil, sistem ini lebih efisien, ramah lingkungan, dan tidak menimbulkan masalah saat mendistribusikan bahan bakar. Namun, terdapat penurunan yang signifikan pada kapasitas baterai serta sensitivitas terhadap perubahan intensitas cahaya dan kecepatan angin..

PENUTUP

Berisi hal yang menyatakan hubungan antarvariabel yang diteliti dan saran. Dibuat dalam satu paragraf, tidak dalam bentuk poin-poin.

DAFTAR PUSTAKA

- Twidell, J., & Weir, T. (2015).** *Renewable Energy Resources* (3rd ed.). Routledge. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781315766416>
[Taylor & Francis](#)
- Boyle, G. (2012).** *Renewable Energy: Power for a Sustainable Future* (3rd ed.). Oxford University Press. (Informasi lengkap tersedia melalui Google Books/wikipedia)
- Khan, B. H., & Manas, R. (2017).** *Non-Conventional Energy Resources*. McGraw-Hill Education.
- Kumar, A., & Rosen, M. A. (2012).** Performance evaluation of a solar–wind hybrid energy system for remote rural electrification. *Energy for Sustainable Development*, 16(4), 486–491.
- Choudhary, P., & Srivastava, R. K. (2019).** Design and analysis of a hybrid solar–wind energy system for off-grid applications. *International Journal of Renewable Energy Research*, 9(1), 108–116.
- Li, Q., & Wang, J. (2020).** Optimization of battery storage for hybrid renewable energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 124, 109777.