UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Penggantian Pltd Dengan Energi Terbarukan Terhadap Operasi Dan Stabilitas Sistem Kelistrikan Karimunjawa
Rangga Ivan Nugraha, Dr. Ir. Jimmy Trio Putra, S.T., M.Eng., IPM
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

INTISARI

Ketergantungan sistem kelistrikan Pulau Karimunjawa pada PLTD menyebabkan biaya operasional tinggi dan emisi karbon besar. Penelitian ini menganalisis dampak integrasi sistem hibrida PLTS, PLTB, dan BESS menggunakan metode *quasi-dynamic simulation* selama 24 jam pada empat skenario penempatan pembangkit, yaitu Skenario 1 (kondisi eksisting), Skenario 2 (mengikuti rencana pengembangan PLN), Skenario 3 (penetrasi energi terbarukan tertinggi), dan Skenario 4 (penempatan pembangkit tersebar di dekat beban). Metode ini mampu merepresentasikan dinamika operasi harian secara realistis, termasuk pola *charging* dan *discharging* BESS yang menyesuaikan surplus produksi PLTS siang hari dengan kebutuhan beban puncak malam hari. Hasil simulasi menunjukkan integrasi energi terbarukan memperbaiki profil tegangan bus kritis mendekati nilai nominal dan sesuai standar SPLN T6.001:2013, serta mampu menjaga margin kestabilan tegangan tetap sebesar 11,17% pada seluruh skenario, meskipun *overload* pada tiga trafo distribusi hingga 129% belum teratasi pada konfigurasi yang diuji. BESS yang berperan sebagai *Grid-forming* terbukti krusial bagi kestabilan frekuensi: pada Skenario 1, pelepasan satu unit pembangkit menjatuhkan frekuensi hingga 30,45 Hz dan hanya tertahan pada 48,08 Hz tanpa kembali ke nilai nominal, sedangkan pada skenario-skenario terintegrasi (Skenario 2-4), deviasi frekuensi tertekan hingga kurang dari 0,001 Hz dan kembali ke 50 Hz. Berdasarkan evaluasi menyeluruh terhadap profil tegangan, rugi-rugi daya, *loading* trafo dan *line*, serta daya keluaran pembangkit, Skenario 3 ditetapkan sebagai konfigurasi terbaik, sementara Skenario 4 unggul dari sisi stabilitas frekuensi dengan deviasi terkecil, yaitu +0,0002 Hz untuk puncak dan -0,0003 Hz untuk nadir. Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi PLTS, PLTB, dan BESS dapat meningkatkan operasi dan stabilitas sistem kelistrikan pulau terisolasi tanpa mengorbankan stabilitas operasi.

Kata kunci: BESS, energi terbarukan, Karimunjawa, PLTB, PLTS, *quasi-dynamic simulation*, sistem distribusi, stabilitas frekuensi, stabilitas tegangan.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Penggantian Pltd Dengan Energi Terbarukan Terhadap Operasi Dan Stabilitas Sistem Kelistrikan Karimunjawa
Rangga Ivan Nugraha, Dr. Ir. Jimmy Trio Putra, S.T., M.Eng., IPM
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ABSTRACT

The dependence of Karimunjawa Island's electricity system on diesel power plants (PLTD) results in high operational costs and significant carbon emissions. This study analyzes the impact of integrating a hybrid system consisting of solar power plants (PLTS), wind power plants (PLTB), and a Battery Energy Storage System (BESS) using a 24-hour quasi-dynamic simulation method for four power plant placement scenarios: Scenario 1 (existing conditions), Scenario 2 (following PLN's development plan), Scenario 3 (highest renewable energy penetration), and Scenario 4 (distributed power plant placement near the load). This method realistically represents daily operational dynamics, including BESS charging and discharging patterns that store excess solar generation during the day and supply energy during the evening peak load. Simulation results show that renewable energy integration improves the critical bus voltage profile to near-nominal values and meets the SPLN T6.001:2013 standard. The system also maintains a constant voltage stability margin of 11.17% in all scenarios, although overloads on three distribution transformers of up to 129% remain unresolved in the tested configuration. The Grid-forming BESS plays a crucial role in frequency stability. In Scenario 1, the outage of one generating unit causes the frequency to drop to 30.45 Hz and stabilize at only 48.08 Hz without recovering to the nominal value. In contrast, in the integrated scenarios (Scenarios 2–4), frequency deviations are limited to less than 0.001 Hz and the system successfully returns to the nominal frequency of 50 Hz. Based on a comprehensive evaluation of voltage profile, power losses, transformer and line loading, and generation performance, Scenario 3 was identified as the optimal configuration, while Scenario 4 achieved the best frequency stability with the smallest deviations of +0.0002 Hz (peak) and -0.0003 Hz (nadir). These findings demonstrate that integrating PLTS, PLTB, and BESS significantly enhances the operational performance and stability of isolated island power systems without compromising system reliability.

Key words: BESS, renewable energy, Karimunjawa, wind power plant, solar power plant, quasi-dynamic simulation, distribution system, frequency stability, voltage stability.