UNIVERSITAS GADJAH MADA
Analisis Tekno-Ekonomi, Lingkungan, dan Stabilitas Frekuensi Sistem Hibrida Terisolasi: Studi Kasus Pulau Moa
Ichsan Arief Wibowo, Dr. Ir. Rachmawan Budiarto, S.T., M.T., IPU.;Dr. Eng. Ir. Dwi Joko Suroso, S.T., M.Eng., IPP.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ANALISIS TEKNO-EKONOMI, LINGKUNGAN, DAN STABILITAS FREKUENSI SISTEM HIBRIDA TERISOLASI: STUDI KASUS PULAU MOA

oleh

Ichsan Arief Wibowo

Diajukan ke Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada pada 22 April 2026 untuk memenuhi sebagian persyaratan untuk memperoleh derajat Magister Program Studi Teknik Fisika

INTISARI

Ketergantungan wilayah terpencil pada pembangkit berbahan bakar fosil menimbulkan tantangan signifikan terhadap biaya operasional yang tinggi dan emisi karbon yang signifikan. Di sisi lain, transisi menuju energi terbarukan di wilayah tersebut menghadapi kendala stabilitas frekuensi akibat rendahnya inersia sistem. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kelayakan sistem hibrida terisolasi di Pulau Moa guna mengakselerasi dekarbonisasi regional melalui pendekatan komprehensif yang mengintegrasikan aspek tekno-ekonomi, lingkungan, dan stabilitas frekuensi. Metodologi penelitian menggabungkan optimasi tekno-ekonomi menggunakan simulasi HOMER Pro serta analisis sistem tenaga menggunakan DIgSILENT PowerFactory untuk mengevaluasi stabilitas frekuensi saat terjadi gangguan intermitensi dan kontingensi. Hasil optimasi menunjukkan konfigurasi hibrida PLTS-BESS-PLTD sebagai solusi paling unggul, yang mampu menurunkan *Net Present Cost* (NPC) sebesar 45,59% (menjadi Rp443,07 miliar) dan *Levelized Cost of Energy* (LCOE) sebesar 45,08% (menjadi Rp2.816,49/kWh) dengan *unmet load* hanya 0,95%. Dari perspektif pengelola sistem, pengembangan sistem hibrida dinyatakan layak dan lebih memberikan manfaat dengan potensi penurunan subsidi tahunan sebesar Rp35,42 miliar dan memperoleh penghematan dari *avoided cost* sebesar Rp344,19 miliar dibanding sistem eksisting. Dari sisi lingkungan, sistem mencapai *renewable fraction* 91,00% yang mereduksi emisi CO_2 hingga 91,08% menjadi 633.994 kg/tahun. Analisis stabilitas mengonfirmasi peran vital BESS melalui fitur *Fast Frequency Response* (FFR) dalam menjaga frekuensi nadir di atas 48,00 Hz, guna mencegah keruntuhan frekuensi (*frequency collapse*) saat terjadi kontingensi. Penelitian ini menyediakan kerangka evaluasi strategis untuk desain sistem energi di wilayah terpencil yang bersih, ekonomis, dan andal secara teknis.

Kata kunci : analisis tekno-ekonomi, dekarbonisasi, *Net Zero Emission*, sistem hibrida, stabilitas frekuensi

Pembimbing Utama : Dr. Ir. Rachmawan Budiarto, S.T., M.T., IPU.
Pembimbing Pendamping : Dr. Eng. Ir. Dwi Joko Suroso, S.T., M.Eng., IPP.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Tekno-Ekonomi, Lingkungan, dan Stabilitas Frekuensi Sistem Hibrida Terisolasi: Studi Kasus Pulau Moa
Ichsan Arief Wibowo, Dr. Ir. Rachmawan Budiarto, S.T., M.T., IPU.;Dr. Eng. Ir. Dwi Joko Suroso, S.T., M.Eng., IPP.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

TECHNO-ECONOMIC, ENVIRONMENTAL, AND FREQUENCY STABILITY ANALYSIS OF AN ISOLATED HYBRID SYSTEM: A CASE STUDY OF MOA ISLAND

by

Ichsan Arief Wibowo

Submitted to the Department of Nuclear Engineering and Engineering Physics Faculty of Engineering Universitas Gadjah Mada as one of the requirement to obtain the Master's Degree in Engineering Physics

ABSTRACT

Remote areas' reliance on fossil fuel power plants poses significant challenges due to high operational costs and substantial carbon emissions. On the other hand, the transition to renewable energy in these regions faces frequency stability constraints due to low system inertia. This study aims to analyze the feasibility of an isolated hybrid system on Moa Island to accelerate regional decarbonization through a comprehensive approach integrating techno-economic, environmental, and frequency stability aspects. The methodology combines techno-economic optimization using HOMER Pro and power system analysis using DIgSILENT PowerFactory to evaluate frequency stability during intermittency and contingency events. The optimization results identify the PV-BESS-DG hybrid configuration as the most superior solution, capable of reducing the Net Present Cost (NPC) by 45.59% (to IDR 443.07 billion) and the Levelized Cost of Energy (LCOE) by 45.08% (to IDR 2,816.49/kWh) with an unmet load of only 0.95%. Financial analysis indicates that the hybrid system development is feasible for the system operator, potentially cutting annual subsidies by IDR 35.42 billion and generating IDR 344.19 billion in avoided cost savings over the existing system. From an environmental perspective, the system achieves a renewable fraction of 91.00%, reducing CO_2 emissions by 91.08% to 633,994 kg/year. Stability analysis confirms the vital role of the Battery Energy Storage System (BESS) through the Fast Frequency Response (FFR) feature in maintaining the frequency nadir above 48.00 Hz, thereby preventing frequency collapse during contingencies. This research provides a strategic evaluation framework for designing clean, economical, and technically reliable energy systems in other remote regions.

Keywords : *decarbonization, frequency stability, hybrid renewable energy system, Net Zero Emission, techno-economic analysis*

Supervisor : Dr. Ir. Rachmawan Budiarto, S.T., M.T., IPU.
Co-Supervisor : Dr. Eng. Ir. Dwi Joko Suroso, S.T., M.Eng., IPP.