UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Security Constrained Optimal Power Flow Pada Interkoneksi Sub Sistem Ketapang Dengan Sistem Kalimantan
Mochamad Farid Mustofa, Ir. Lesnanto Multa Putranto, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM., SMIEEE. ; Dr. Ir. Avrin Nur Widiast
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ABSTRAK

Interkoneksi sistem tenaga listrik memberikan peluang peningkatan efisiensi operasi melalui pemanfaatan sumber daya pembangkitan yang lebih ekonomis. Berdasarkan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2025-2034, direncanakan pembangunan saluran transmisi Sukamara – Kendawangan sepanjang 298 kms dan Sandai – Tayan sepanjang 332,34 kms yang akan menghubungkan Sub Sistem Ketapang dengan sistem Kalimantan melalui sistem Khatulistiwa dan Sistem Kalseltengtimra. Meskipun interkoneksi berpotensi menurunkan biaya operasi sistem, ketergantungan yang tinggi terhadap daya impor dapat meningkatkan risiko gangguan apabila terjadi pelepasan interkoneksi atau kontingensi pada jaringan transmisi. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model *Security-Constrained Optimal Power Flow* (SCOPF) untuk memperoleh pola operasi sistem yang ekonomis sekaligus memenuhi aspek keamanan dan keandalan sistem tenaga listrik. Model SCOPF diformulasikan dalam bentuk *Quadratic Programming* (QP) dengan mempertimbangkan batasan operasi pembangkit, kapasitas saluran transmisi, penyediaan *spinning reserve* berbasis *headroom* pembangkit, serta batas frekuensi minimum sistem. Simulasi dilakukan pada susbsistem Ketapang dengan tiga skenario pembebanan, yaitu beban rendah, beban rata – rata, dan beban puncak. Kinerja SCOPF dibandingkan dengan *Optimal Power Flow* (OPF) konvensional melalui analisis biaya operasi, pemanfaatan daya impor, cadangan putar, dan respon sistem terhadap skenario kontingensi kehilangan interkoneksi. Hasil optimasi kemudian divalidasi menggunakan AC *Power Flow* berbasis pandapower untuk mengevaluasi profil tegangan dan pembebanan saluran transmisi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa OPF menghasilkan biaya operasi yang lebih rendah, namun memiliki ketergantungan yang lebih tinggi terhadap daya impor serta tingkat ketahanan sistem yang lebih rendah pada kondisi kontingensi. Sebaliknya, SCOPF mampu meningkatkan keandalan operasi melalui penyediaan *spinning reserve* yang memadai, pengurangan ketergantungan terhadap interkoneksi, serta kemampuan mempertahankan frekuensi sistem dalam batas operasi yang diizinkan. Hasil validasi AC *Power Flow* menunjukkan bahwa profil tegangan dan pembebanan saluran transmisi tetap berada dalam batas operasi yang aman pada berbagai skenario pembebanan maupun kondisi kehilangan interkoneksi. Dengan demikian, SCOPF terbukti mampu menghasilkan pola operasi yang lebih aman dan andal dibandingkan OPF konvensional untuk mendukung pengoperasian sistem interkoneksi Sub Sistem Ketapang.

Kata kunci— *Security-Constrained Optimal Power Flow (SCOPF), Optimal Power Flow (OPF), Spinning Reserve, Interkoneksi Sistem Tenaga Listrik, Quadratic Programming.*

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Security Constrained Optimal Power Flow Pada Interkoneksi Sub Sistem Ketapang Dengan Sistem Kalimantan
Mochamad Farid Mustofa, Ir. Lesnanto Multa Putranto, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM., SMIEEE. ; Dr. Ir. Avrin Nur Widiast
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ABSTRACT

Electrical power system interconnection offers significant opportunities to improve operational efficiency through the utilization of more economical generation resources. According to the Electricity Supply Business Plan (RUPTL) 2025–2034, the construction of the 298 km Sukamara–Kendawangan transmission line and the 332,34 km Sandai–Tayan transmission line is planned to connect the Ketapang Subsystem with the Kalimantan System through the Khatulistiwa and Kalseltengtimra systems. Although interconnection has the potential to reduce system operating costs, excessive dependence on imported power may increase system vulnerability in the event of interconnection outages or transmission network contingencies. This study aims to develop a Security-Constrained Optimal Power Flow (SCOPF) model to obtain an operating strategy that is not only economical but also capable of maintaining system security and reliability. The SCOPF model is formulated as a Quadratic Programming (QP) problem by considering generator operating limits, transmission line capacity constraints, spinning reserve provision based on generator headroom, and minimum frequency requirements. Simulations were conducted on the Ketapang Subsystem under three loading scenarios, namely low load, average load, and peak load conditions. The performance of SCOPF was compared with conventional Optimal Power Flow (OPF) in terms of operating cost, imported power utilization, spinning reserve allocation, and system response to interconnection loss contingencies. The optimization results were subsequently validated using AC Power Flow analysis based on pandapower to evaluate voltage profiles and transmission line loading. The results indicate that OPF achieves lower operating costs but exhibits higher dependence on imported power and lower system resilience under contingency conditions. In contrast, SCOPF enhances operational reliability through adequate spinning reserve allocation, reduced dependence on interconnection support, and the ability to maintain system frequency within acceptable operating limits. AC Power Flow validation confirms that bus voltage profiles and transmission line loading remain within permissible operating limits under various loading conditions and interconnection outage scenarios. Therefore, SCOPF is proven to provide a safer and more reliable operating strategy than conventional OPF for supporting the future operation of the Ketapang interconnected power system.

Keywords— Security-Constrained Optimal Power Flow (SCOPF), Optimal Power Flow (OPF), Spinning Reserve, Power System Interconnection, Quadratic Programming