

Integrasi sumber energi baru terbarukan (EBT) ke dalam jaringan listrik existing menciptakan tantangan kompleks terkait intermitensi dan sifat terdistribusi yang tidak dapat ditangani oleh infrastruktur konvensional. DIgSILENT PowerFactory sebagai perangkat lunak analisis sistem tenaga yang komprehensif memiliki kendala kurva belajar yang curam, sehingga membatasi aksesibilitas bagi operator dan peneliti. Penelitian ini mengembangkan simulator sistem pemantauan dan kontrol jaringan listrik real-time bernama MV Microgrid Dashboard yang mengintegrasikan DIgSILENT PowerFactory dengan protokol komunikasi OPC UA dan antarmuka pengguna berbasis Python.

Metodologi penelitian menggunakan pendekatan eksperimental dengan pengembangan purwarupa dan pengujian sistem pada skala laboratorium. Simulator dikembangkan dengan arsitektur *client-server* menggunakan OPC UA sebagai *middleware* komunikasi, DIgSILENT PowerFactory sebagai mesin simulasi, dan PyQt5 untuk *human machine interface*. Pengujian performa dilakukan melalui tiga skenario: *baseline* (kondisi normal), *load testing* (*switching* satu komponen per detik), dan *stress testing* (*switching* semua komponen per detik) dengan mengukur latensi komunikasi data.

Hasil pengujian menunjukkan performa sistem yang memenuhi kriteria real-time. Skenario *baseline* menghasilkan latensi rata-rata 24,86 ms dengan standar deviasi 2,94 ms. Pada kondisi *load testing*, latensi meningkat menjadi 58,20 ms dengan standar deviasi 6,95 ms. Skenario *stress testing* yang paling kritis menghasilkan latensi rata-rata 69,07 ms dengan standar deviasi 15,32 ms dan latensi maksimum 118,77 ms. Koefisien variasi untuk ketiga skenario berturut-turut adalah 11,83%, 11,94%, dan 22,18%, menunjukkan stabilitas sistem yang terjaga meskipun di bawah beban berat. Semua nilai latensi berada di bawah ambang batas 1 s, sehingga memvalidasi kemampuan sistem untuk operasi real-time.

Penelitian ini berhasil membuktikan bahwa integrasi DIgSILENT PowerFactory dengan OPC UA dapat menghasilkan simulator real-time yang andal dengan latensi dapat diterima. Simulator yang dikembangkan memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai *dispatcher training simulator* yang fleksibel, memungkinkan operator berlatih menghadapi berbagai skenario gangguan tanpa risiko pada sistem fisik. Implikasi penelitian ini memberikan kontribusi signifikan bagi pengembangan sistem monitoring dan kontrol jaringan listrik modern yang adaptif terhadap integrasi EBT berskala besar. Kata kunci: DIgSILENT PowerFactory, OPC UA, simulasi real-time, kontrol sistem listrik

ABSTRACT

The integration of renewable energy sources (EBT) into existing power grid networks creates complex challenges related to intermittency and distributed characteristics that cannot be handled by conventional infrastructure. DIgSILENT PowerFactory, as a comprehensive power system analysis software, has a steep learning curve that limits accessibility for operators and researchers. This research develops a real-time power grid monitoring and control system simulator called MV Microgrid Dashboard that integrates DIgSILENT PowerFactory with OPC UA communication protocol and Python-based user interface.

The research methodology employs an experimental approach with prototype development and laboratory-scale system testing. The simulator was developed with a client-server architecture using OPC UA as communication middleware, DIgSILENT PowerFactory as the simulation engine, and PyQt5 for the human machine interface (HMI). Performance testing was conducted through three scenarios: baseline (normal conditions), load testing (switching one component per second), and stress testing (switching all components per second) by measuring data communication latency.

The test results show system performance that meets real-time criteria. The baseline scenario produced an average latency of 24.86 ms with a standard deviation of 2.94 ms. Under load testing conditions, latency increased to 58.20 ms with a standard deviation of 6.95 ms. The most critical stress testing scenario produced an average latency of 69.07 ms with a standard deviation of 15.32 ms and a maximum latency of 118.77 ms. The coefficient of variation for the three scenarios was 11.83%, 11.94%, and 22.18% respectively, indicating maintained system stability even under heavy load. All latency values remained below the 1 second threshold, validating the system's capability for real-time operation.

This research successfully demonstrates that the integration of DIgSILENT PowerFactory with OPC UA can produce a reliable real-time simulator with acceptable latency. The developed simulator has potential for further development as a flexible dispatcher training simulator, enabling operators to practice handling various disturbance scenarios without risk to physical systems. The implications of this research provide significant contributions to the development of modern power grid monitoring and control systems that are adaptive to large-scale EBT integration.

Keywords: DIgSILENT PowerFactory, OPC UA, Real-time Simulation, Power Grid Monitoring, Python-based Interface