

ABSTRAK

Penetrasi *Photovoltaic Farm* (PVF) pada sistem tenaga listrik menjadi salah satu strategi utama untuk mencapai bauran energi terbarukan nasional sebesar 23% pada tahun 2025. Namun demikian, penetrasi PVF yang tidak direncanakan secara optimal berpotensi memperburuk profil tegangan dan menimbulkan pelanggaran terhadap batas teknis sistem. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan lokasi dan kapasitas PVF yang paling optimal guna meminimalkan fluktuasi tegangan dan menjaga kualitas layanan jaringan listrik 150 kV di Bali.

Metode optimasi yang digunakan adalah *Particle Swarm Optimization* (PSO) yang diimplementasikan dalam perangkat lunak simulasi berbasis Python-DIGSILENT. Optimasi dilakukan terhadap lima skenario beban: beban normal, Hari Raya Nyepi, Idul Fitri hari pertama dan kedua, serta musim liburan. Hasil optimasi menunjukkan bahwa setiap skenario memiliki konfigurasi lokasi dan kapasitas PVF yang berbeda-beda, tergantung pada distribusi beban dan posisi generator dalam sistem. Oleh karena itu, digunakan evaluasi dengan strategi *curtailment* berbasis konfigurasi skenario acuan (beban normal) untuk menentukan satu konfigurasi penetrasi PVF yang tetap optimal lintas skenario.

Evaluasi menunjukkan dengan konfigurasi PVF acuan yang dilakukan *curtailment* mampu menghasilkan profil tegangan yang menuju 1 pu dengan margin *optimization cost* di bawah 10% dibandingkan optimasi PSO independen masing-masing skenario. Konfigurasi acuan memungkinkan akomodasi seluruh variasi skenario beban dalam satu konfigurasi PVF yang ter-*install*, sekaligus tetap mempertahankan kondisi penetrasi PVF yang optimal serta menunjukkan *capacity factor* yang lebih tinggi. Dengan demikian, didapatkan konfigurasi penetrasi PVF yang optimal berbasis optimasi dari skenario beban normal/acuan yang tetap optimal pada skenario beban lain dengan menggunakan strategi *curtailment* di jaringan 150 kV Bali.

Kata kunci: *Photovoltaic Farm*, 150 kV Bali, *Particle Swarm Optimization*, fluktuasi tegangan, strategi *curtailment*.

ABSTRACT

The penetration of Photovoltaic Farms (PVF) into power systems has become one of the key strategies to achieve the national renewable energy mix target of 23% by 2025. However, unplanned or suboptimal PVF penetration has the potential to deteriorate voltage profiles and cause violations of technical system limits. This study aims to determine the most optimal PVF locations and capacities to minimize voltage fluctuations and maintain the power quality of the 150 kV electricity network in Bali.

The optimization method used is Particle Swarm Optimization (PSO), implemented through a Python-DIGSILENT-based simulation tool. The optimization is carried out under five load scenarios: normal load, Nyepi Day, the first and second days of Eid al-Fitr, and the holiday season. The optimization results show that each scenario yields different PVF location and capacity configurations, depending on the load distribution and generator positions within the system. Therefore, an evaluation using a curtailment strategy based on the reference scenario configuration (normal load) is employed to determine a single PVF penetration configuration that remains optimal across all scenarios.

The evaluation shows that the reference PVF configuration with curtailment can produce voltage profiles approaching 1 pu, with an optimization cost margin of less than 10% compared to the independent PSO optimization results for each scenario. The reference configuration allows for accommodating all variations of load scenarios within a single installed PVF configuration, while maintaining optimal PVF penetration and achieving a higher capacity factor. Thus, an optimal PVF penetration configuration derived from the optimization of the normal/reference load scenario remains effective under other load scenarios by applying a curtailment strategy in the 150 kV Bali network.

Keywords: Photovoltaic Farm, 150 kV Bali, Particle Swarm Optimization, voltage fluctuation, curtailment strategy.