

## INTISARI

Perkembangan ekonomi yang meningkatkan laju pertumbuhan listrik menjadi latar belakang dalam bertambahnya kapasitas pembangkitan. Penggunaan pembangkit berbahan bakar fosil secara terus-menerus menghasilkan dampak buruk pada lingkungan serta mengurangi cadangan sumber energi primer yang semakin lama akan habis. Oleh karena itu, penggunaan energi terbarukan dalam proses produksi listrik menjadi sangat penting. Pembangkit energi terbarukan, terutama *Photovoltaic* (PV) memiliki sifat intermitensi karena bergantung pada intensitas sinar matahari serta tidak adanya inersia alami yang dihasilkan. Penetrasi tinggi pembangkit PV ke jaringan listrik dapat mempengaruhi keseimbangan daya sistem yang berhubungan pada kestabilan frekuensi. Untuk mengatasi fluktuasi daya dari PV, diperlukan sumber energi yang dapat memberikan injeksi daya secara cepat yaitu menggunakan *Battery Energy Storage System* (BESS). Penggunaan BESS pada sistem tenaga listrik perlu diteliti lebih dalam untuk membuktikan fungsi dari BESS dalam meningkatkan stabilitas frekuensi. Pada penelitian ini, akan dilakukan simulasi BESS untuk kestabilan frekuensi pada sistem tenaga listrik terintegrasi PV menggunakan *software* DIgSILENT PowerFactory. Simulasi dilakukan pada tes sistem *IEEE 14-Bus* yang telah dimodifikasi dengan mengganti semua generator selain *slack generator* dengan pembangkit PV, dimana kapasitas pembangkit PV ditentukan dari total permintaan daya beban. Skenario tingkat penetrasi PV yang digunakan pada penelitian ini adalah sebesar 10%, 20%, 30%, dan 40% dari kapasitas pembangkitan sistem. Untuk membuktikan peranan BESS, simulasi domain waktu dilakukan dengan mengurangi daya keluaran pembangkit PV pada presentase 25%, 50%, 75%, dan 100% pada setiap level penetrasi. Hasil simulasi menunjukkan, BESS terbukti dapat meningkatkan respon frekuensi sistem ditandai dengan meningkatkan frekuensi nadir dan frekuensi *steady-state*. Dari simulasi ini juga menghasilkan kapasitas BESS paling optimal untuk setiap level penetrasi PV agar respon frekuensi menjadi stabil. Semakin tinggi tingkat penetrasi PV membutuhkan presentase kapasitas BESS terhadap kapasitas PV lebih besar. Daya injeksi BESS berbanding lurus dengan besar fluktuasi PV sehingga pada skenario kehilangan daya 100% membutuhkan kapasitas BESS paling besar.

Kata kunci : Kestabilan Frekuensi, *Photovoltaic*, BESS, Respon Frekuensi, *IEEE 14-Bus*

## ABSTRACT

*The economic development that increases the rate of electricity growth serves as the background for the addition of generation capacity. The continuous use of fossil fuel power plants results in negative environmental impacts and depletes primary energy reserves, which will eventually run out. Therefore, the use of renewable energy in electricity production processes is becoming increasingly important. Renewable energy plants, especially Photovoltaic (PV) systems, have intermittent characteristics due to their dependence on sunlight intensity and the lack of natural inertia. High penetration of PV plants into the power grid can affect the power balance of the system, which is related to frequency stability. To address the power fluctuations from PV, an energy source that can quickly inject power is needed, which is the Battery Energy Storage System (BESS). The use of BESS in power systems needs to be studied further to demonstrate its function in improving frequency stability. In this study, a BESS simulation for frequency stability in a PV-integrated power system will be conducted using DIgSILENT PowerFactory software. The simulation is carried out on a modified IEEE 14-Bus test system, replacing all generators except the slack generator with PV plants, where the capacity of the PV plants is determined by the total load demand. The PV penetration levels used in this study are 10%, 20%, 30%, and 40% of the system's generation capacity. To demonstrate the role of BESS, time-domain simulations are conducted by reducing the output power of the PV plants by 25%, 50%, 75%, and 100% at each penetration level. The simulation results show that BESS can improve the system's frequency response, indicated by an increase in the nadir frequency and steady-state frequency. This simulation also identifies the most optimal BESS capacity for each PV penetration level to achieve stable frequency response. Higher PV penetration levels require a larger percentage of BESS capacity relative to PV capacity. The power injection from BESS is directly proportional to the magnitude of PV fluctuations, so in the scenario of 100% power loss, the largest BESS capacity is needed.*

*Keywords: Frequency Stability, Photovoltaic, Battery Energy Storage System, Frequency Response, IEEE 14-Bus*