



INTISARI

Seiring dengan meningkatnya konsumsi energi listrik serta emisi karbon dioksida (CO_2), terjadi pergeseran paradigma dalam sistem pembangkitan tenaga listrik, dari yang semula didominasi oleh pembangkit termal berbasis generator sinkron menuju pemanfaatan sumber daya berbasis inverter atau *Inverter-Based Resources* (IBRs). Transisi ini berdampak pada penurunan inersia sistem tenaga listrik, yang pada gilirannya dapat mengakibatkan penurunan stabilitas dinamis sistem. Di samping itu, integrasi IBRs menghadirkan tantangan baru berupa munculnya osilasi frekuensi rendah dan osilasi subsinkron. Kajian dalam literatur telah banyak membahas analisis dinamis dan stabilitas sistem pada Doubly-Fed Induction Generator (DFIG) maupun IBRs dalam konfigurasi *standalone*. Namun demikian, studi yang secara komprehensif mengevaluasi kinerja gabungan antara DFIG dengan *Grid-Following* (GFL) *inverter* maupun *Grid-Forming* (GFM) *inverter* masih relatif terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan melakukan analisis perbandingan antara konfigurasi DFIG-GFL dan DFIG-GFM, khususnya dalam konteks stabilitas sistem dan karakteristik osilasi yang dipengaruhi oleh metode sinkronisasi yang digunakan. Metodologi yang digunakan mencakup analisis stabilitas pada sistem pembangkit listrik tenaga angin yang menggunakan DFIG, inverter GFL, dan inverter GFM secara individual, yang kemudian dilanjutkan dengan studi pada operasi gabungan DFIG dengan masing-masing jenis inverter ketika dihubungkan ke *infinite bus*. Analisis dilakukan dalam domain sinyal kecil maupun transien. Hasil menunjukkan bahwa kombinasi DFIG-GFL cenderung menimbulkan sistem yang lebih tidak stabil, sedangkan konfigurasi DFIG-GFM memberikan stabilitas yang lebih baik, meskipun disertai dengan kemunculan osilasi subsinkron. Validasi melalui analisis domain waktu menunjukkan bahwa pada kondisi transien, terdapat osilasi subsinkron yang teredam pada konfigurasi DFIG-GFM.

Kata kunci : Stabilitas, *Inverter Based Resources*, Pembangkit Listrik Tenaga Angin, *Doubly-Fed Induction Generator*, Osilasi

ABSTRACT

With the rising global electricity demand and associated CO₂ emissions, there is a growing transition from conventional synchronous thermal power generation to renewable energy sources (RES). This shift, particularly through the integration of Inverter-Based Resources (IBRs) such as those employed in Wind Energy Conversion Systems (WECS) utilizing Doubly-Fed Induction Generators (DFIG), leads to a reduction in overall system inertia and consequently increases susceptibility to frequency instability. Moreover, IBR integration introduces new dynamic challenges, including low-frequency and subsynchronous oscillations. While existing literature has addressed the dynamics of DFIG and IBRs in standalone configurations, a comprehensive investigation of hybrid DFIG-Grid-Following (GFL) and DFIG-Grid-Forming (GFM) operation remains limited. This study aims to fill this gap by conducting a comparative stability analysis focusing on their combined effects on system stability and oscillatory characteristics, particularly in the context of synchronization strategies. The methodology begins with individual stability assessments of DFIG-based WECS, GFL inverters, and GFM inverters, followed by an analysis of their hybrid operations, wherein DFIG and the respective inverter operate in parallel and are connected to an infinite bus. Both small-signal and transient stability analyses are performed. The results indicate that hybrid DFIG-GFL operation tends to exacerbate system instability, whereas DFIG-GFM operation enhances stability but introduces subsynchronous oscillatory modes. Time-domain simulations further reveal the presence of damped subsynchronous oscillations in the DFIG-GFM hybrid configuration under transient conditions.

Keywords : Stability, Inverter Based Resources, Wind Energy Conversion Systems, Doubly-Fed Induction Generator, Oscillations