UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Dampak Integrasi PLTB terhadap Stabilitas Sinyal Kecil
Made Abel Noelanza, Dr. Ir. Avrin Nur Widiastuti, S.T., M. Eng., IPM., ASEAN Eng.; Ir. Roni Irnawan, , S.T., M.Sc., P
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

INTISARI

Integrasi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) berbasis *doubly fed induction generator* (DFIG-WT) dan *permanent magnet synchronous generator* (PMSG-WT) mengubah karakteristik *small signal stability* (SSS) sistem tenaga listrik dengan cara yang bergantung pada arsitektur konverter masing-masing teknologi. Penelitian ini menganalisis dan membandingkan dampak integrasi DFIG-WT dan PMSG-WT pada sistem uji IEEE *nine-bus* melalui analisis modal berbasis *eigenvalue* yang dilengkapi simulasi domain waktu (*RMS simulation*) di DIgSILENT PowerFactory 2024, mencakup sebelas skenario yang memvariasikan teknologi PLTB, posisi integrasi (Bus 7 dan Bus 9), serta kondisi pembebanan. Integrasi DFIG-WT menurunkan *damping ratio* mode dominan dari 7,22% menjadi 4,04% tanpa bergantung pada posisi bus. Analisis *participation factor* menunjukkan hal ini dikendalikan oleh variabel poros DFIG-WT ($\Delta\delta_{12}$, PRF $\approx 1{,}00$) dan bukan oleh topologi jaringan. Margin kestabilan beban menyempit drastis: batas ketidakstabilan Beban A turun dari 247% menjadi 83% dan Beban B dari 373% menjadi 123%, keduanya melalui divergensi aperiodik (DR $= -100\%$) yang dikendalikan oleh sudut fluks rotor DFIG-WT (φ_m), mekanisme yang lebih tiba-tiba dibanding ketidakstabilan osilatoris pada sistem konvensional. Integrasi PMSG-WT mempertahankan atau meningkatkan *damping ratio* ke 7,25%–8,73%, dengan batas ketidakstabilan Beban A 165% dan Beban B 284%, karena *fully-rated converter* memisahkan dinamika mesin dari jaringan. Tiga mekanisme ketidakstabilan yang berbeda teridentifikasi: divergensi aperiodik (φ_m-dominan, DFIG-WT), osilasi frekuensi rendah (ω-dominan, generator sinkron), dan osilasi *inter-area* (x_{s2} PLL PMSG-WT dominan, Bus 7). Simulasi domain waktu pada keenam skenario peningkatan beban mengonfirmasi prediksi *eigenvalue* ini: kondisi stabil menunjukkan respons teredam yang konvergen ke keseimbangan baru, sedangkan kondisi tidak stabil menunjukkan divergensi berkelanjutan yang konsisten dengan mode tidak stabil yang teridentifikasi. Hasil penelitian berlaku dalam batasan model: sistem uji IEEE *nine-bus* tanpa AVR/PSS, parameter bawaan DIgSILENT PowerFactory 2024, satu tingkat penetrasi per skenario. DFIG-WT memperburuk redaman dan mempersempit margin operasi aman. PMSG-WT mempertahankan atau meningkatkannya, dengan besaran peningkatan bergantung pada generator yang digantikan.

Kata kunci : stabilitas sinyal kecil, DFIG-WT, PMSG-WT, analisis modal, *eigenvalue*, simulasi RMS domain waktu

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Dampak Integrasi PLTB terhadap Stabilitas Sinyal Kecil
Made Abel Noelanza, Dr. Ir. Avrin Nur Widiastuti, S.T., M. Eng., IPM., ASEAN Eng.; Ir. Roni Irnawan, , S.T., M.Sc., P
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ABSTRACT

Wind power plants using doubly fed induction generator (DFIG-WT) and permanent magnet synchronous generator (PMSG-WT) alter small signal stability (SSS) differently depending on converter architecture. This study analyzes and compares their SSS impact on the IEEE nine-bus test system through eigenvalue-based modal analysis complemented by RMS time-domain simulation in DIgSILENT PowerFactory 2024, across eleven scenarios varying technology, bus location (Bus 7 and Bus 9), and loading conditions. DFIG-WT integration reduces the dominant mode damping ratio from 7.22% to 4.04% at both integration bus locations. Participation factor analysis reveals the DFIG-WT shaft variable ($\Delta\delta_{12}$, PRF ≈ 1.00) governs this reduction, not network topology. The load stability margin narrows: instability thresholds fall from 247% to 83% (Load A) and from 373% to 123% (Load B), both via aperiodic divergence (DR $= -100\%$) driven by the DFIG-WT rotor flux angle (φ_m), a more abrupt failure mode than the oscillatory instability of the conventional system. PMSG-WT integration holds or raises the damping ratio to 7.25%–8.73%, with instability thresholds at 165% (Load A) and 284% (Load B), because the fully-rated converter decouples machine dynamics from the network. The analysis identifies three distinct instability mechanisms: aperiodic divergence (φ_m-driven, DFIG-WT), low-frequency oscillatory instability (ω-driven, residual synchronous generators), and inter-area oscillatory instability (x_{s2} PLL-driven, PMSG-WT at Bus 7). RMS time-domain simulation across all six load-increase scenarios confirms these eigenvalue predictions: stable cases show damped transients converging to a new equilibrium, while unstable cases exhibit sustained divergence consistent with the identified unstable modes. These findings apply within the model bounds: IEEE nine-bus without AVR/PSS, default DIgSILENT PowerFactory 2024 parameters, one penetration level per scenario. DFIG-WT erodes damping and shrinks the safe operating range. PMSG-WT preserves or improves both, with the degree of improvement depending on which generator is replaced.

Keywords : small signal stability, DFIG-WT, PMSG-WT, modal analysis, eigenvalue, RMS time-domain simulation