



## INTISARI

Stabilitas sinyal kecil merupakan aspek penting dalam operasi sistem tenaga listrik berinterkoneksi, khususnya pada sistem multi-area yang rentan terhadap osilasi antar area. Karakteristik beban, baik beban statis maupun beban dinamis, berperan penting dalam menentukan respons dinamis sistem. Peningkatan proporsi beban dinamis berupa motor induksi, yang semakin dominan dalam sistem tenaga modern, dapat memengaruhi karakteristik redaman dan memicu perubahan perilaku osilasi sistem. Penelitian ini menganalisis pengaruh karakteristik dan distribusi beban terhadap stabilitas sinyal kecil pada sistem dua area Kundur sebagai model acuan.

Pemodelan sistem dilakukan menggunakan DIGSILENT PowerFactory dengan kombinasi beban statis tipe ZIP dan beban dinamis motor induksi. Evaluasi stabilitas sinyal kecil dilakukan melalui analisis modal berbasis *eigenvalue* untuk mengamati pergeseran nilai *eigenvalue*, frekuensi osilasi teredam, dan rasio redaman. Studi dilakukan melalui beberapa skenario, meliputi variasi proporsi beban dinamis, perubahan parameter inti motor induksi, variasi komposisi beban statis ZIP, serta asimetri distribusi beban dinamis antar area.

Peningkatan proporsi beban dinamis berupa motor induksi pada sistem dua area Kundur menyebabkan pergeseran *eigenvalue* mode kritis menuju daerah dengan redaman yang semakin kecil, hingga pada fraksi sekitar 13% mode tersebut menjadi tidak stabil. Perubahan parameter inti motor induksi menunjukkan bahwa peningkatan resistansi rotor meningkatkan redaman dan menggeser *eigenvalue* mode kritis ke arah yang lebih stabil, sedangkan peningkatan reaktansi hubung singkat menurunkan redaman dan pada nilai tertentu menyebabkan ketidakstabilan osilatori. Variasi komposisi beban statis model ZIP memberikan pengaruh signifikan terhadap stabilitas kecil sistem dengan dampak yang berbeda pada mode kritis dan mode inter-area. Pada mode kritis, beban *constant Z* dan *constant I* bersifat stabil non-osilatori, dengan *constant Z* sebagai yang paling stabil dan menunjukkan tingkat stabilitas yang lebih baik dibandingkan beban campuran ZIP. Sebaliknya, beban *constant P* menyebabkan ketidakstabilan non-osilatori. Pada mode inter-area, urutan kontribusi redaman tertinggi hingga terendah adalah beban campuran ZIP, *constant I*, dan *constant Z*. Selain itu, asimetri distribusi beban dinamis antar area tidak berpengaruh signifikan terhadap stabilitas, di mana faktor penentu utama adalah total proporsi motor induksi yang memberikan respons berlawanan pada mode kritis dan mode inter-area.

Kata kunci : stabilitas sinyal kecil, sistem dua area Kundur, beban statis, beban dinamis, analisis modal.



## ABSTRACT

*Small signal stability is a critical aspect of power system operation, particularly in interconnected multi-area systems that are susceptible to inter-area oscillations. Load characteristics, including static and dynamic components, play a significant role in determining system damping and oscillatory behavior. The increasing penetration of dynamic loads in the form of induction motors can substantially affect system damping and alter modal characteristics. This study investigates the impact of load characteristics and load distribution on the small signal stability of the Kundur two-area system.*

*The system is modeled using DIgSILENT PowerFactory with a combination of static ZIP loads and dynamic induction motor loads. Small signal stability is assessed using eigenvalue-based modal analysis to evaluate eigenvalue locations, damped oscillation frequencies, and damping ratios. Several scenarios are examined, including variations in dynamic load penetration, changes in key induction motor parameters, variations in static ZIP load composition, and asymmetric distribution of dynamic loads between areas.*

*An increase in the proportion of dynamic load in the form of induction motors in the Kundur two-area system causes the eigenvalue of the critical mode to shift toward regions with reduced damping and leads to instability when the dynamic load fraction reaches approximately 13 percent. Variations in key induction motor parameters indicate that increasing rotor resistance improves damping and shifts the critical mode eigenvalue toward a more stable region while increasing short-circuit reactance reduces damping and at certain values results in oscillatory instability. Variations in static load composition using the ZIP model have a significant impact on small signal stability with distinct effects on the critical mode and inter-area modes. In the critical mode, constant Z and constant I loads exhibit non-oscillatory stable behavior, with the constant Z load providing the highest level of stability and demonstrating better stability performance than the mixed-type ZIP load. In contrast, the constant P load leads to non-oscillatory instability. For the inter-area mode, the damping contribution decreases in the order of the mixed-type ZIP load, constant I load, and constant Z load. Furthermore asymmetry in the distribution of dynamic induction motor loads between areas does not significantly affect system stability since the dominant factor is the total proportion of induction motor load which produces opposite responses of stability in the critical and inter-area modes.*

**Keywords :** *small signal stability, Kundur two-area system, static loads, dynamic loads, modal analysis.*