

INTISARI

Seiring meningkatnya kebutuhan integrasi energi terbarukan berskala besar, khususnya Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB) lepas pantai, sistem transmisi arus searah tegangan tinggi (HVDC) dengan topologi hibrida menjadi solusi yang strategis. Penelitian ini mengkaji stabilitas transien dari sistem HVDC *multi-terminal* (MTDC) hibrida menggunakan pendekatan simulasi *Electromagnetic Transient* (EMT). Sistem yang dimodelkan menggabungkan *Voltage Source Converter* (VSC) pada dua terminal penyearah di sisi lepas pantai dengan *Line-Commutated Converter* (LCC) pada terminal inverter di sisi darat, yang diuji dalam berbagai skenario gangguan hubung singkat tiga fasa.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem MTDC hibrida memiliki ketahanan yang tinggi terhadap gangguan di sisi lepas pantai, membuktikan efektivitas sistem kendali tegangan DC pada inverter LCC dalam menyeimbangkan aliran daya saat terjadi kehilangan pasokan daya parsial maupun total. Pengujian pada terminal VSC memvalidasi kemampuan sistem untuk pulih secara cepat. Namun, pengujian pada terminal LCC berhasil mengidentifikasi kerentanan kritis dari topologi ini. Gangguan pada terminal AC inverter LCC secara konsisten menyebabkan terjadinya kegagalan komutasi, yang berakibat pada keruntuhan tegangan pada tautan DC dan waktu pemulihan sistem yang sangat lama.

Studi ini menegaskan bahwa tantangan stabilitas transien utama pada topologi hibrida VSC-LCC adalah kerentanan inverter LCC terhadap gangguan di jaringan AC sisi darat. Temuan ini dapat menjadi dasar bagi pengembangan strategi kendali dan proteksi yang lebih canggih untuk inverter LCC, guna meningkatkan keandalan sistem HVDC hibrida untuk aplikasi transmisi energi terbarukan di masa depan.

Kata kunci: Stabilitas Transien, HVDC Hibrida, VSC-LCC, Kegagalan Komutasi, Integrasi Tenaga Angin.

ABSTRACT

As the need for large-scale integration of renewable energy, particularly offshore wind farms, continues to grow, hybrid High Voltage Direct Current (HVDC) transmission systems have emerged as a strategic solution. This research investigates the transient stability of a hybrid multi-terminal HVDC (MTDC) system using an Electromagnetic Transient (EMT) simulation approach. The modeled system combines Voltage Source Converters (VSC) at two offshore rectifier terminals with a Line-Commutated Converter (LCC) at the onshore inverter terminal, which is tested under various three-phase short-circuit fault scenarios.

The simulation results demonstrate that the hybrid MTDC system exhibits high resilience to offshore-side faults, proving the effectiveness of the DC voltage control system at the LCC inverter in balancing power flow during partial and total losses of power infeed. However, tests on the LCC terminal successfully identified the critical vulnerability of this topology. A fault at the onshore AC terminal of the LCC inverter consistently causes a commutation failure, resulting in a DC link voltage collapse and a significantly prolonged system recovery time.

This study affirms that the primary transient stability challenge in the hybrid VSC-LCC topology is the LCC inverter's vulnerability to disturbances on the onshore AC grid. These findings can serve as a basis for the development of more advanced control and protection strategies for LCC inverters, aiming to enhance the reliability of hybrid HVDC systems for future renewable energy transmission applications.

Keywords: Transient Stability, Hybrid HVDC, VSC-LCC, Commutation Failure, Offshore Wind Integration.