UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Penguatan Sistem Transmisi AC Lemah yang Terhubung HVDC (High Voltage Direct Current) dengan Synchronous Condenser
Rizki Nur Hidayat, Dr.Ir.M. Isnaeni Bambang Setyonegoro, M.T. ; Ir. Roni Irnawan, S.T., M.Sc., Ph.D., SMIEEE.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ABSTRACT

To reduce rising carbon emissions in line with the Indonesian government's targets set out in the Nationally Determined Contribution (NDC), the development of advanced, environmentally friendly technologies is necessary. One way to achieve this is by transitioning from fossil-fueled power plants to renewable energy sources such as solar and wind power plants. Indonesia has significant renewable energy potential, but its utilization faces challenges because power plants, particularly Type 4 wind power plants, are generally located far from load centers. This condition causes increased power losses in the transmission system. HVDC technology is a superior solution for long-distance power transmission over distances exceeding 300 km. This technology faces challenges when connected to weak AC systems and when integrating renewable power plants to replace conventional power plants, including low SCR values, lack of inertial support, and reduced reactive power, resulting in system weakness and reduced stability.

This thesis research aims to enhance HVDC transmission by connecting to a weakened power grid and integrating renewable energy sources, including Type 4 wind power, through the use of a Synchronous Condenser. In this study, a weak system is characterized by an SCR value of less than 3. The test system used is an IEEE 14-bus system with a modified scenario that adds HVDC technology to replace one of the lines and replaces one of the generators with Type 4 wind power. Furthermore, RMS analysis was performed on the Synchronous system using two different control modes: Constant V and Voltage Q droop.

Using DIgSILENT PowerFactory software, the results showed that the synchronous condenser strengthened a weak system. Its capacity was set at 50 MVA, 100 MVA, 200 MVA, and 335 MVA. After installation, the SCR value increased from 1.2 to 1.46, 1.73, 2.28, and 3.03, respectively. With Constant V mode, reactive power injection remained at 14.4 MVar regardless of increasing capacity. Switching to Voltage Q droop mode with a 10 % droop on the condenser side and 2 % on the converter side, reactive power injection rose to 38.1, 43.0, 52.5, and 95.7 MVar. In a stable 3-phase RMS simulation of a disturbance, increasing the synchronous condenser capacity in both operating modes corrected voltage fluctuations and dampened oscillations.

Keywords :Synchronous Condenser, Type 4 Wind Power, Weak grids, SCR

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Penguatan Sistem Transmisi AC Lemah yang Terhubung HVDC (High Voltage Direct Current) dengan Synchronous Condenser
Rizki Nur Hidayat, Dr.Ir.M. Isnaeni Bambang Setyonegoro, M.T. ; Ir. Roni Irnawan, S.T., M.Sc., Ph.D., SMIEEE.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

INTISARI

Sebagai upaya menekan peningkatan emisi karbon sesuai target pemerintah Indonesia yang tercantum dalam *Nationally Determined Contribution* (NDC) diperlukan pengembangan teknologi yang canggih dan ramah lingkungan. Salah satunya adalah dengan transisi energi dari pembangkit berbahan bakar fosil menuju energi terbarukan seperti pembangkit listrik tenaga surya dan angin. Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang besar, namun pemanfaatannya menghadapi tantangan karena lokasi pembangkit, khususnya pembangkit angin tipe 4, umumnya berada jauh dari pusat beban. Kondisi ini menyebabkan peningkatan rugi-rugi daya pada sistem transmisi. Teknologi HVDC menjadi solusi unggul untuk transmisi daya jarak jauh lebih dari 300 km. Teknologi ini mempunyai tantangan ketika terhubung pada sistem transmisi AC yang lemah dan adanya integrasi pembangkit terbarukan menggantikan pembangkit konvensional seperti rendahnya nilai SCR, tidak adanya dukungan inersia dan daya reaktif yang berkurang sehingga sistem menjadi lemah dan stabilitas berkurang.

Penelitian tesis ini bertujuan untuk memberikan penguatan pada sistem transimis AC lemah yang terhubung HVDC akibat adanya integrasi energi terbarukan tenaga angin tipe 4, dan impedansi saluran yang tinggi akibat panjangnya saluran dengan menggunakan *synchronous condenser*. Pada penelitian ini sistem lemah ditandai denagn indikator nilai SCR kurang dari 3. Sistem uji yang digunakan yaitu pada IEEE 14-bus dengan sekenario modifikasi,penambahan teknologi HVDC menggantikan salah satu saluran, impedansi saluran dinaikan dan penggantian salah satu generator pembangkit dengan tenaga angin tipe 4. Pada penelitiani ini dilakukan analisis *load flow*, hubung singkat dan analisis RMS dengan menggunakan dua mode kontrol yang berbeda yaitu *constant* V dan *voltage Q droop*.

Dengan menggunakan perangkat lunak DIgSILENT PowerFactory, didapat hasil *synchronous condenser* mampu menguatkan sistem yang lemah. Pada penlitian ini kapasitas *synchronous condenser* ditentukan mulai dari 50 MVA, 100 MVA, 200 MVA, dan 335 MVA. Hasilnya nilai SCR meningkat setelah pemasangan *synchronous condenser* dari 1,2 menjadi 1,46; 1,73; 2,28 dan 3,03. Pada injeksi daya reaktif saat *synchronous condenser* pada mode *constant* V di dapat nilai 14,4 MVar dan tidak berubah meskipun kapasitas dinaikan. Pada saat mode diubah menjadi *voltage Q droop* dengan *droop* 10 % pada sisi *synchronous condenser* dan 2 % pada sisi konverter di dapat peningkatan injeksi daya reaktif sebesar 38,1; 43,0; 52,5; 95,7 dalam satuan (Mvar). Pada simulasi RMS gangguan 3 fasa stabil teknologi penguatan *synchronous condenser* mampu memperbaiki fluktuasi tegangan dan melakukan peredaman osilasi setelah adanya gangguan seiring dengan penambahan kapasitas *synchronous condenser* pada dua mode operasi *synchronous condenser* yang berbeda.

Kata kunci – *Synchronous condenser*, HVDC Tenaga angin tipe 4, Jaringan lemah, SCR