ABSTRAK

Sistem transmisi tegangan tinggi kombinasi (*hybrid*) yang menggabungkan antara Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan Saluran Kabel Tanah Tegangan Tinggi (SKTT) menjadi solusi yang krusial dalam menyalurkan energi listrik di area urban ataupun daerah industrial dengan keterbatasan lahan yang ada. Namun, sistem transmisi *hybrid* ini menimbulkan tantangan besar pada sistem proteksi, khususnya terkait penerapan fungsi *auto reclose* (AR). Pada sistem eksisting di PLN UPT Bekasi, fungsi AR dinonaktifkan secara total (*non-reclose*) karena kekhawatiran gangguan permanen pada kabel tanah dapat memicu kerusakan fatal atau ledakan. Penelitian pengaktifan fungsi AR di saluran transmisi *hybrid* sudah banyak dilakukan dengan menggunakan simulasi secara *software*, tetapi belum dilakukan simulasi menggunakan *hardware*. Penelitian ini melakukan pengujian dengan mengintegrasikan *hardware* menggunakan Relay *Line Current Differential* (LCD)/Distance (MiCOM P546) dan Relay *Circulating Current Protection* (CCP) (NR PCS-924S) yang dihubungkan menggunakan *dummy circuit breaker*. Melalui injeksi sekunder menggunakan alat uji Omicron CMC-365 dan perangkat lunak *Test Universe*, skema *auto reclose* pada sistem transmisi *hybrid* dapat divalidasi mendekati kondisi aktual sistem kelistrikan di lapangan. Penelitian ini mengambil ruas transmisi 150 kV Gardu Induk Rajapaksi - Gardu Induk Gandamekar yang pernah terdampak *trip* pada saat gangguan temporer terjadi. Pengujian dalam penelitian ini dilakukan dengan empat skenario yang terdiri dari gangguan temporer pada SUTT, gangguan permanen pada jaringan SUTT, gangguan permanen pada jangkauan zona 2 dan 3 dan gangguan permanen pada SKTT. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada gangguan temporer SUTT, relay LCD/*Distance* berhasil mengeksekusi perintah *trip* dan *reclose* dalam waktu sesaat (instant). Sebaliknya, saat gangguan permanen terjadi di SKTT, relay CCP secara akurat mendeteksi kenaikan arus differensial ($I_{diff} > I_{set}$) dan langsung mengeksekusi perintah *trip* pada *circuit breaker* (CB). Hasil penelitian ini membuktikan bahwa menambah relay pengaman utama CCP sangat efektif dalam pengamanan penghantar *hybrid*. Pada saat terjadi gangguan temporer pada ruas Rajapaksi – Gandamekar, eksekusi *trip* terjadi dan menyumbangkan penambahan nilai indeks *Transmission Line Outage Frequency* (TLOF) menjadi satu kali dan *Transmission Line Outage Duration* (TLOD) sekitar 3 jam. Penerapan skema ini dapat berkontribusi pada peningkatan keandalan unit transmisi khususnya di unit PLN UPT Bekasi dengan menekan penurunan nilai indeks TLOF dan TLOD.

Kata Kunci: Transmisi *Hybrid*, *Auto Reclose*, *Line Current Differential*, *Circulating Current Protection*, TLOF, TLOD.

ABSTRACT

Hybrid transmission systems combining High Voltage Overhead Lines (SUTT) and High Voltage Underground Cable (SKTT) are crucial solution for power distribution in urban or industrial areas with land constrains. However, hybrid transmission system pose major challenges on system protection of transmission, specifically implementation of application auto reclose system (AR). On PLN UPT Bekasi, autoreclose function on hybrid transmission is disabled on existing concerns over permanent faults in underground cables can trigger fatal damage or explosions. Activation of autoreclose on hybrid transmission has been widely conducted using software simulations, but simulations using hardware have not yet been performed. The method for this study is laboratory simulation modeling by integrating a Line Current Differential (LCD)/ Distance Relay (MiCom P546) and a Circulating Current Protection (CCP) Relay (NR PCS-924S) using dummy circuit breakers. Through secondary injection using the Omicron CMC-365 test set and Test Universe software, the auto-reclose scheme on the hybrid transmission system can be validated to closely match the actual field conditions of the electrical power system. This study aims to analyze implementation of AR operation for hybrid transmission system on the 150 kV transmission line of Rajapaksi Substation - Gandamekar Substation. Testing for this study was conducted through four fault scenarios consisting of temporary faults on overhead lines, permanent faults on overhead lines, permanent faults in the range of zone 2 and 3 and last permanent faults on underground cables. The result from this simulation indicate that during temporary faults on SUTT, LCD/Distance relay successfully executed instantaneous trip and reclose command. But, during permanent faults on SKTT. CCP relay detected the differential current surge ($I_{diff} > I_{set}$) and immediately triggered trip to circuit breaker (CB). The results of this study prove that adding a CCP main protection relay is highly effective in securing hybrid transmission lines. When a temporary fault occurs on the Rajapaksi – Gandamekar section, a trip execution occurs, contributing to an increase in the Transmission Line Outage Frequency (TLOF) index by one occurrence and the Transmission Line Outage Duration (TLOD) by approximately 3 hours. The implementation of this scheme can contribute to enhancing transmission unit reliability especially PLN UPT Bekasi by reducing the TLOF and TLOD index values.

Keywords: *Transmisi Hybrid, Auto Reclose, Line Current Differential, Circulating Current Protection, TLOF, TLOD*