

## BAB V

### SIMPULAN, IMPLIKASI, DAN REKOMENDASI

#### 5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil analisis temuan dan pembahasan pada penelitian ini, didapatkan simpulan sebagai berikut:

1. Implementasi *GOOSE Message* berbasis IEC 61850 dengan pola *non-cascade* pada sistem proteksi Trafo 3 berhasil diterapkan dengan baik. Komunikasi antar perangkat IED, yaitu antara relay AREVA P442 sebagai *publisher* dan relay NR PCS-9611S sebagai *subscriber*, dapat berlangsung secara real-time melalui jaringan Ethernet tanpa keterlambatan berarti. Hasil konfigurasi *IP address*, pembuatan dataset, serta mapping antar sinyal *GOOSE* menunjukkan bahwa sistem mampu mengirim dan menerima data dengan benar. Selain komunikasi, konfigurasi *Programmable Scheme Logic* (PSL) juga telah disesuaikan agar mendukung prinsip proteksi *non-cascade*, di mana relay penyulang dapat mengambil keputusan *trip* secara mandiri, dan relay incoming bertindak sebagai *backup* jika terjadi gangguan seperti busbar *fault* atau *circuit breaker failure*. Implementasi ini membuktikan bahwa penerapan *GOOSE Message* berbasis IEC 61850 tidak hanya berjalan secara teknis, tetapi juga selaras dengan prinsip logika proteksi selektif dan efisien.
2. Penggunaan *GOOSE Message* terbukti meningkatkan kinerja sistem proteksi dalam hal kecepatan waktu respons dan efektivitas komunikasi antar perangkat IED. Berdasarkan hasil perhitungan *setting* relay dan pengujian pada beberapa skenario gangguan, sistem menunjukkan waktu kerja relay yang cepat dan selektif. Pada skenario gangguan penyulang dengan arus 2,4 kA, relay penyulang merespons dalam waktu 0,78 detik, sementara relay *incoming* tetap tidak aktif. Pada gangguan busbar dengan arus 7,2 kA, relay *incoming* bereaksi dalam waktu 0,14 detik, dan dalam kondisi gagal *trip* (CBF) pada penyulang dengan arus 6,6 kA, relay

*incoming* berfungsi sebagai *backup* dengan waktu kerja 0,44 detik. Hasil ini menunjukkan bahwa sinyal *GOOSE* mampu mengoordinasikan komunikasi antar IED dengan sangat cepat, tanpa menggunakan wiring konvensional, serta memberikan respons yang akurat sesuai posisi dan jenis gangguan. Dengan demikian, penerapan *GOOSE Message* pada pola *non-cascade* terbukti dapat meningkatkan keandalan sistem proteksi melalui komunikasi yang cepat, selektif, dan adaptif terhadap berbagai kondisi gangguan.

## 5.2 Implikasi

Hasil penelitian ini memiliki implikasi penting terhadap pengembangan sistem proteksi tenaga listrik, khususnya dalam konteks digitalisasi gardu induk. Penggunaan *GOOSE Message* berbasis IEC 61850 pada pola proteksi *non-cascade* terbukti mampu meningkatkan kecepatan respon proteksi dan mengurangi ketergantungan terhadap kabel kontrol fisik. Hal ini mendukung efisiensi operasional serta memperkuat sistem proteksi terhadap kemungkinan kegagalan koordinasi antar relay. Selain itu, keberhasilan komunikasi langsung antar relay dalam hitungan milidetik menunjukkan bahwa sistem ini cocok untuk diimplementasikan dalam gardu induk modern yang mengusung konsep digital substation. Implikasi lebih luasnya, sistem ini juga memberikan landasan kuat dalam membangun jaringan listrik cerdas (*smart grid*) yang mengandalkan komunikasi data real-time untuk keandalan dan fleksibilitas operasi sistem tenaga.

## 5.3 Rekomendasi

Berdasarkan hasil penelitian ini, disarankan agar penelitian selanjutnya mempertimbangkan pengujian terhadap jumlah relay dan skema proteksi yang lebih kompleks untuk mengevaluasi efektivitas koordinasi proteksi *non-cascade* dalam kondisi sistem tenaga yang lebih luas. Selain itu, penelitian mendatang juga sebaiknya menguji performa komunikasi *Goose Message* terhadap kondisi abnormal seperti keterlambatan pengiriman data (*delay*) atau gangguan komunikasi (*GOOSE Fail*), guna mengetahui ketahanan sistem dalam situasi tidak ideal.