

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transmisi adalah proses penyaluran energi listrik dalam jumlah besar dari sumber pembangkit menuju gardu tegangan tinggi dan ekstra tinggi. Transmisi tegangan tinggi merupakan proses pengaliran energi listrik dari satu gardu induk ke gardu induk lainnya. Proses ini melibatkan penggunaan konduktor yang direntangkan di antara tiang-tiang transmisi (*tower*) dengan bantuan isolator untuk menjaga keamanan dan efisiensi, serta menggunakan sistem tegangan tinggi guna meminimalkan kerugian energi selama penyaluran [1]. Saluran transmisi merupakan mata rantai penghubung antara pembangkit dan sistem distribusi [2]. Terdapat 132 kejadian gangguan pada jaringan transmisi di seluruh Indonesia sepanjang tahun 2023, berdasarkan data statistik PLN tahun 2023 [3]. Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik pada jaringan transmisi dengan mengoptimalkan kinerja sistem proteksi guna meminimalkan potensi gangguan yang terjadi.

Sistem proteksi pada jaringan transmisi biasanya dilengkapi dengan berbagai perangkat utama, seperti transformator arus atau *current transformer* (CT), transformator tegangan atau *voltage transformer* (VT), pemutus tenaga (PMT), relai proteksi, *power supply*, serta sistem pengawatan [2]. Salah satu relai proteksi utama pada jaringan transmisi ialah relai jarak. Prinsip kerja yang dimiliki oleh relai jarak yaitu berdasarkan pengukuran impedansi penghantar. Impedansi penghantar yang dirasakan oleh relai adalah hasil bagi tegangan dengan arus [2]. Ketika sebuah gangguan teridentifikasi dan berada dalam zona 1 yang mencakup 80% dari total panjang saluran transmisi, relai jarak akan segera mengaktifkan perintah *trip* untuk memutus aliran listrik secara otomatis dan instan [4]. Sedangkan untuk gangguan yang terjadi di luar zona 1, relai akan *trip* dengan adanya waktu tunda sesuai dengan karakteristik zona 2 [5]. Elemen proteksi pada relai jarak yang berada di zona 3 diperuntukan sebagai cadangan terhadap kemungkinan kegagalan elemen proteksi pada zona 1 dan 2 [6].

Teleproteksi merupakan serangkaian perangkat yang berfungsi untuk mengirim dan menerima sinyal antara satu gardu induk dengan gardu induk lainnya [7]. Relai jarak dilengkapi dengan berbagai pola teleproteksi, termasuk *Permissive Underreach TransferTrip* (PUTT), *Permissive Overreach Transfer Trip* (POTT), dan *Blocking*, yang dirancang untuk meningkatkan keandalan dan selektivitas sistem proteksi [2]. Relai jarak yang dilengkapi dengan teleproteksi dapat merespon dengan cepat dan selektif terhadap gangguan yang terjadi di zona 1 [8]. Namun, relai akan memerintahkan *trip* dengan waktu tunda untuk gangguan di luar zona 1 [9]. Mekanisme penundaan ini mengakibatkan bertambahnya durasi yang diperlukan untuk melindungi jaringan listrik dari gangguan, sehingga berpotensi memperbesar kemungkinan kerusakan pada perangkat elektronik [10]. Oleh karena itu, pola PUTT mempunyai kelebihan untuk gangguan yang terjadi di zona 2, relai di kedua ujung saluran yang diamankan akan *trip* seketika karena menerima sinyal *trip* dari relai di ujung yang lain [11]. Metode teleproteksi GOOSE Message IEC 61850 dapat melakukan pertukaran data atau pesan secara cepat di lingkungan gardu induk. Sistem ini berfungsi untuk mengirim berbagai informasi penting seperti perintah, sinyal peringatan (*alarm*), dan indikator status, sehingga memastikan kecepatan dan efisiensi komunikasi antar perangkat [5]. Keunggulan utama GOOSE Message terletak pada kecepatannya dalam mengirim data informasi serta kemampuannya untuk bertukar data secara *real-time*, menjadikannya solusi untuk komunikasi proteksi yang responsif [12].

Beberapa penelitian terdahulu telah menganalisis optimalisasi waktu respon pada relai jarak dengan menggunakan GOOSE Message IEC 61850. Akan tetapi, belum ada yang menganalisis tentang meningkatkan keandalan relai jarak pada gangguan satu fasa, fasa-fasa, dan tiga fasa dengan skema pola proteksi *Permissive Underreach TransferTrip Scheme* (PUTT) dengan perbandingan respon waktu menggunakan GOOSE Message IEC 61850 dengan teleproteksi konvensional. Penelitian ini berfokus pada analisis perbandingan respon waktu relai jarak dengan skema pola proteksi *Permissive Underreach TransferTrip Scheme* (PUTT) menggunakan teleproteksi GOOSE Message IEC 61850 dan teleproteksi konvensional (TP).

1.2 Tinjauan Penelitian Terdahulu

Tinjauan penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penyelesaian masalah yang diajukan berbeda dari penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti lain. Tabel 1.1 menggambarkan referensi utama mengenai analisis perbandingan respon waktu relai jarak menggunakan dua jenis teleproteksi. Dengan melihat Tabel 1.1, dapat diketahui perbedaan antara penelitian yang dilakukan dan penelitian-penelitian sebelumnya. Perbandingan ini membantu dalam memahami inovasi yang dihadirkan oleh penelitian ini, serta mengidentifikasi aspek baru yang belum dijelajahi dalam studi-studi terdahulu.

Tabel 1. 1 Referensi utama

No	Nama Peneliti	Tahun	Judul Penelitian
1	Idam Firdaus, Muhammad Fadli Nasution, Riarsari Meirani Utami	2022	<i>Implementation of Intersubstation IEC 61850 GOOSE Message for Distance Protection Scheme with Teleprotection.</i>
2	Atieh Delavari , Patrice Brunelle, dan Chuma Francis Mugombozi	2020	<i>Real-Time Modeling and Testing of Distance Protection Relay Based on IEC 61850 Protocol.</i>
3	Eko Prasetyo, Rendie Ramadhan, Jaka Purnama, Rieza Rijky Purnama	2021	<i>Improving the Reliability of Distance Protection by GOOSE Message Based Teleprotection.</i>
4	Muhammad Said Al Manshury	2022	Implementasi GOOSE (IEC 61850) pada Sistem Otomasi Gardu Induk di PLN UPDL Semarang.

Dalam penelitian Idam Firdaus dkk [5] dibahas mengenai pengusulan penggunaan GOOSE Message IEC 61850 untuk menggantikan teleproteksi konvensional atau yang terdahulu. Skema tersebut bertujuan mengurangi waktu respon proteksi. Sistem tersebut menggunakan jaringan intranet untuk transmisi

GOOSE Message IEC 61850 antar substation. Pengujiannya dilakukan dengan menggunakan perangkat relai MiCOM P443 dan GE D60 pada saluran Rangkas-Bunar 70 kV untuk mensimulasikan gangguan sementara di zona 1 dan zona 2. Hasil yang didapat dari pengujian untuk gangguan di zona 1 dan zona 2 dengan teleproteksi GOOSE Message IEC 61850 aktif dengan waktu respon berada di kisaran 20-30 ms, jauh lebih cepat dibandingkan teleproteksi konvensional yang memerlukan hingga 400+ ms.

Atieh Delavari dkk [13] melakukan penelitian yang membahas model real-time serta pengujian relai proteksi jarak berdasarkan protokol komunikasi IEC 61850. Penelitian tersebut bertujuan untuk memvalidasi implementasi relai jarak berbasis modul GOOSE dan SV dari protokol IEC 61850 menggunakan simulasi real-time serta mengevaluasi performa relai dalam hal keandalan dan waktu tunda untuk memastikan efektivitasnya. Pengujian tersebut disimulasikan melibatkan sistem tegangan tinggi 735 kV yang dihubungkan oleh saluran transmisi 230 kV sepanjang 200 km. Kinerja relai pada penelitian tersebut dievaluasi menggunakan parameter seperti jalur impedansi, sinyal *trip*, dan waktu tunda menggunakan metode GOOSE Message. Hasil yang didapatkan dari penelitian tersebut bahwa penggunaan modul GOOSE Message dan SV secara signifikan mengurangi waktu tunda dibandingkan dengan metode teleproteksi konvensional, sehingga meningkatkan respons sistem terhadap gangguan. Pengujian tersebut menunjukkan bahwa model relai berbasis IEC 61850 efektif dalam mendukung operasi real-time pada sistem *smart protection*.

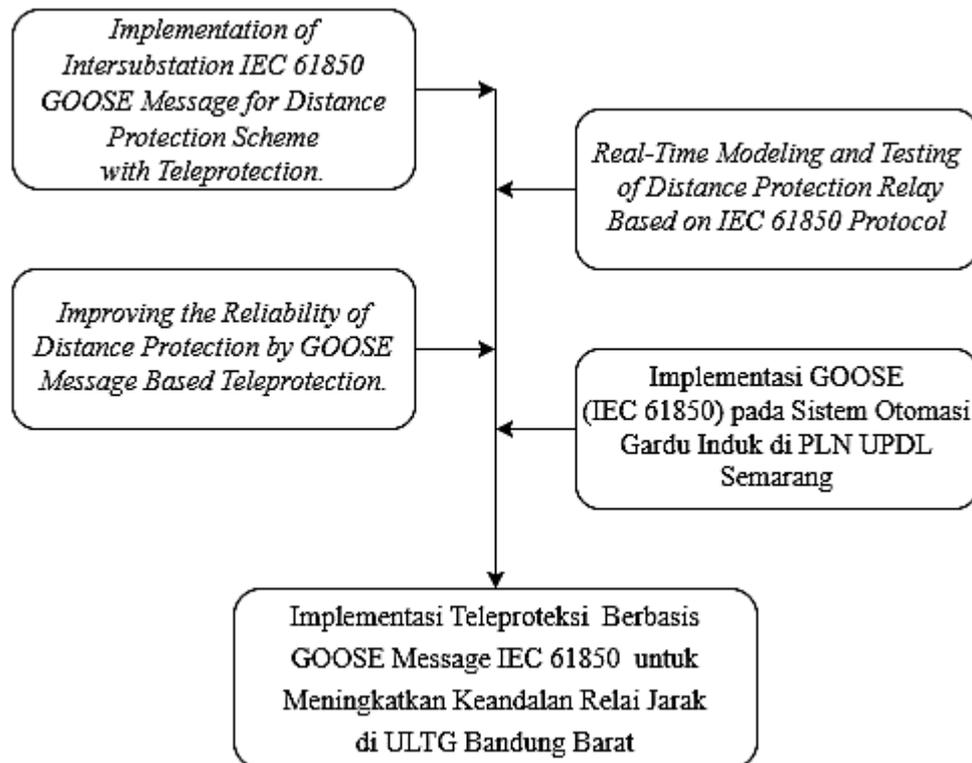
Penelitian yang dilakukan oleh Eko Prasetyo dkk [14] mengenai penerapan GOOSE Message IEC 61850 untuk meningkatkan keandalan relai jarak pada jaringan transmisi 70 kV di Indonesia. Sistem menggunakan relai jarak berbasis IEC 61850 dan jaringan ethernet untuk mengirimkan sinyal GOOSE. Metode komunikasi tunneling diterapkan untuk mentransmisikan pesan GOOSE Message IEC 61850 melalui *wide area network* (WAN). Hasil dari penelitian tersebut didapatkan kecepatan respon waktu pengiriman sinyal gangguan antar relai melalui GOOSE Message berada dalam kisaran 12-20 ms, tergantung pada kondisi jaringan. Waktu total untuk menghilangkan gangguan (*fault clearing time*) kurang dari 100

ms untuk gangguan di zona 2, jauh lebih cepat dibandingkan metode teleproteksi konvensional (TP) yang memerlukan waktu ratusan milidetik. Implementasi GOOSE Message menunjukkan performa yang memuaskan dengan waktu delay yang minimal. Dengan demikian, dari penelitian tersebut membuktikan bahwa implementasi GOOSE Message berbasis IEC 61850 secara signifikan meningkatkan kecepatan dan keandalan sistem proteksi pada relai jarak.

Peneliti keempat yaitu Muhammad Said Al Manshury [15] melakukan penelitian dengan tujuan untuk mengimplementasikan komunikasi berbasis GOOSE pada laboratorium SCADA PLN UPDL Semarang serta mengevaluasi pengurangan biaya dan waktu instalasi dibandingkan teleproteksi konvensional. Sistem Otomasi Gardu Induk (SOGI) menggunakan standar komunikasi yang wajib diterapkan untuk memastikan perangkat elektronik cerdas (IED) dari berbagai pabrikan dapat bekerja sama. Salah satu fitur pentingnya adalah GOOSE (*Generic Object Oriented Substation Event*), yang menggantikan penggunaan kabel fisik dengan komunikasi digital melalui jaringan Ethernet, sehingga lebih cepat dan efisien. Pengujian pada penelitian tersebut dilakukan dengan memantau komunikasi antar perangkat melalui protokol IEC 61850 yang mana data status dikirimkan dari GOOSE Publisher (pengirim) ke jaringan Ethernet dan diterima oleh GOOSE Subscriber (penerima). Hasil dari penelitian tersebut dinyatakan dengan perangkat teleproteksi GOOSE berhasil diterapkan antara perangkat Schneider dan Siemens yang mendukung protokol IEC 61850, meskipun berasal dari pabrikan berbeda. Penggunaan GOOSE menggantikan teleproteksi konvensional yang menggunakan kabel keras (*hardwire*) dapat mengurangi biaya dan waktu instalasi, serta dapat digunakan untuk fungsi seperti *interlocking*, *tripping*, dan *blocking*.

Berdasarkan referensi dari kajian riset terdahulu mengenai respon waktu pada relai jarak menggunakan pola teleproteksi *Permissive Underreach Transfer Trip* (PUTT) oleh GOOSE Message memiliki persamaan menerapkan penggunaan teleproteksi GOOSE Message. Pada penelitian ini dilakukan studi analisis meningkatkan keandalan dengan membandingkan respon waktu relai jarak pada gangguan satu fasa, fasa-fasa, dan tiga fasa dengan pola teleproteksi PUTT menggunakan GOOSE Message dan teleproteksi konvensional (TP). Adapun

hubungan dari kajian riset terdahulu yang digunakan pada penelitian ini berjumlah empat rujukan yang terdiri dari jurnal internasional dan nasional, yang ditujukan pada Gambar 1.1.



Gambar 1. 1 Penelitian terkait

1.3 Rumusan Masalah

Bagaimana respon waktu relai jarak ketika mengalami gangguan satu fasa, fasa-fasa, dan tiga fasa pada pola gangguan *Permissive Underreach TransferTrip* (PUTT) yang terjadi di zona 1 dan 2 untuk meningkatkan keandalan menggunakan teleproteksi GOOSE Message IEC 61850 dan teleproteksi konvensional (TP)?

1.4 Tujuan

Meningkatkan keandalan relai jarak ketika mengalami gangguan satu fasa, fasa-fasa, dan tiga fasa, pada pola gangguan *Permissive Underreach TransferTrip* (PUTT) yang terjadi di zona 1 dan 2, dengan membandingkan respon waktu menggunakan teleproteksi GOOSE Message dan teleprotrksi konvensional (TP).

1.5 Manfaat

Hasil penelitian ini memberikan dua manfaat yang berbeda, diantaranya yaitu.

1. Manfaat Akademik

Diharapkan hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi untuk pengembangan di masa mendatang dan memberikan wawasan baru terutama dalam sistem teleproteksi pada relai.

2. Manfaat Praktis

Penelitian ini diharapkan mampu menghadirkan solusi untuk pola proteksi yang lebih andal dan efisien dengan meminimalkan durasi gangguan, sehingga perangkat proteksi seperti relai dan komponen lainnya terlindungi dari paparan arus gangguan yang berkepanjangan, yang pada akhirnya dapat mempercepat umur pakai peralatan.

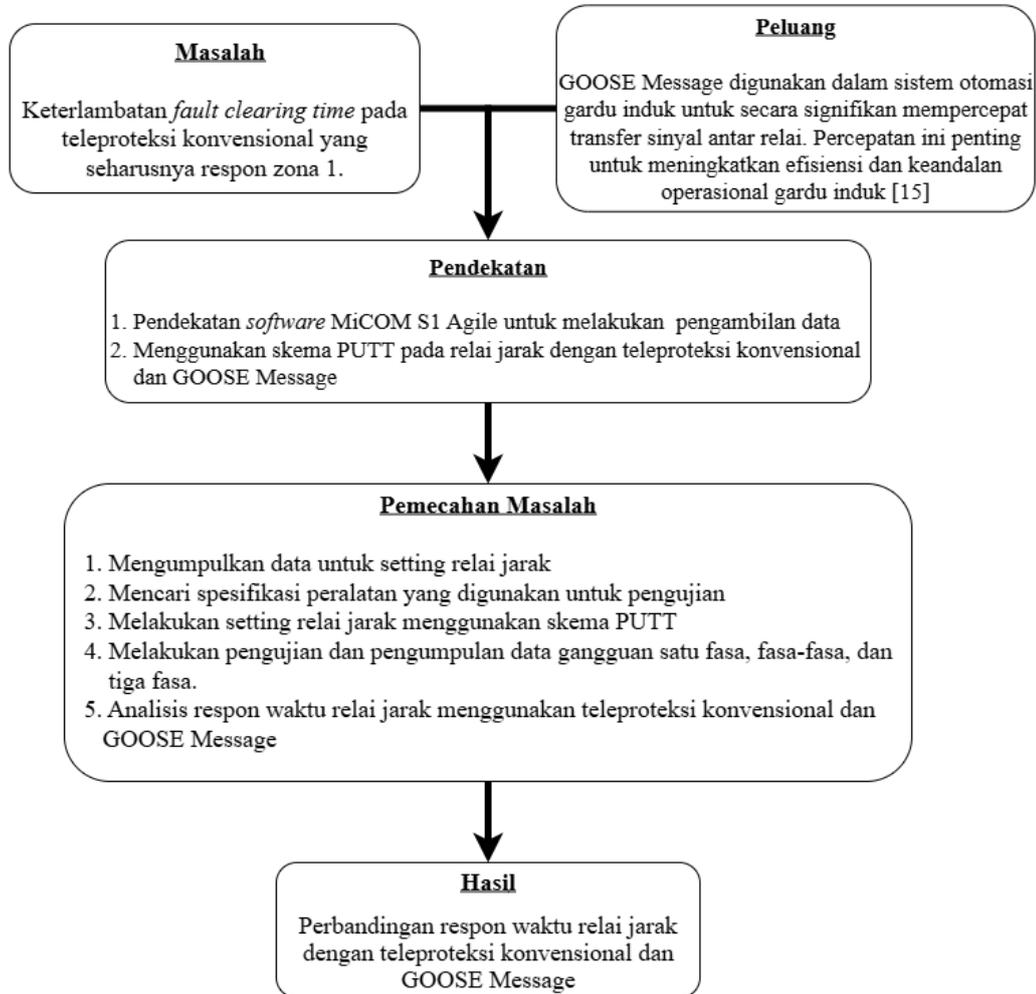
1.6 Batasan Masalah

Penelitian ini diharapkan memiliki fokus penelitian yang jelas, sehingga perlu adanya batasan masalah untuk menghindari meluasnya topik bahasan. Batasan-batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian dilakukan pada relai jarak di Gardu Induk Cibabat bay New Cibabat.
2. Fokus pada pola proteksi *Permissive Underreach Transfer Trip* (PUTT) dalam mengakomodasi gangguan.
3. Fokus meningkatkan keadilan relai jarak dengan membandingkan respon waktu menggunakan teleproteksi GOOSE Message dan teleproteksi konvensional (TP).
4. Jenis gangguan yang dibahas merupakan gangguan satu fasa, fasa-fasa, dan tiga fasa yang terjadi pada zona 1 dan 2.
5. Hanya membahas respon waktu relai jarak saat gangguan terjadi di wilayah kerja sistem proteksinya.
6. Standar pengujian yang digunakan pada penelitian ini merupakan standar SPLN dan IEC.
7. Hanya membahas fungsi GOOSE Message sebagai pengirim sinyal pada relai di Gardu Induk.

1.7 Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.2.



Gambar 1. 2 Kerangka berpikir

1.8 Sistematika Penulisan

Tugas akhir ini disusun dengan sistematika penulisan yang terdiri dari enam bab, di mana setiap bab memiliki isi dan penjelasan sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang latar belakang, penelitian terkait, rumusan masalah, tujuan dan manfaat, batasan masalah, kerangka berpikir, serta sistematika penulisan. Semua elemen tersebut menjadi langkah awal dalam menentukan judul penelitian.

BAB II TEORI DASAR

Bab ini membahas teori-teori dasar yang menjadi landasan penelitian, berdasarkan referensi dari berbagai jurnal dan buku. Teori yang digunakan mencakup sistem tenaga listrik, transmisi, relai proteksi, teleproteksi, gangguan pada sistem tenaga, zona kerja relai, pola proteksi, serta alat uji dan aplikasi yang digunakan untuk pengujian relai.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas tahapan-tahapan penelitian yang dijelaskan melalui diagram alir, mulai dari studi literatur, pengumpulan data, hingga pencapaian hasil yang diinginkan.

BAB IV PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Bab ini membahas proses *setting* relai dengan tahapan awal yaitu dengan memperhitungan impedansi panjang saluran dan impedansi zona proteksi.

BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS

Bab ini membahas hasil uji kinerja relai menggunakan teleproteksi konvensional dan GOOSE Message, serta membandingkan kedua hasil uji teleproteksi konvensional dengan GOOSE Message.

BAB VI KESIMPULAN

Bab ini memuat kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan serta saran untuk pengembangan penelitian di masa mendatang.

