

Kinerja Relay Proteksi pada Kubikel Gardu Tembok GUO terhadap Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Performance of Protection Relays in the GUO Wall Substation Cubicle on the Reliability of the Electric Power Distribution System

¹Lailatul Nadiroh, ²Frintis Septa Merpaung, S.Pd., M.T.

¹Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Ciwaru Raya No.25, Cipare, Kec. Serang, Kota Serang, Banten 42117

²Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Ciwaru Raya No.25, Cipare, Kec. Serang, Kota Serang, Banten 42117

e-mail: lailatulnadiroh10@gmail.com

Receive: 10 Oktober 2026

Accepted: 21 Oktober 2026

Abstract

This study aimed to analyze the performance of the protection relays installed in the cubicle of the GUO wall substation and their contribution to the reliability of the electric power distribution system. A descriptive qualitative approach was used through technical document review, field observation, and interviews with maintenance personnel. The analysis focused on the suitability of the overcurrent relay (OCR) and ground fault relay (GFR) settings to the load characteristics and fault currents, the speed of the relays in isolating faults, and their impact on the SAIDI and SAIFI values. The results showed that the protection relays in the GUO cubicle functioned as the main protection that limited the faulted area so that the fault did not spread to other feeders. However, relay performance depended heavily on setting accuracy, the condition of the switching equipment, and the consistency of maintenance. Setting mismatches or component degradation could slow down fault isolation and thereby reduce the reliability of power delivery. These findings confirmed that optimizing protection relay performance is a key factor in maintaining service continuity in medium-voltage distribution systems.

Keywords: protection relay, 20 kV cubicle, wall substation, distribution reliability, SAIDI/SAIFI

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja relay proteksi yang terpasang pada kubikel Gardu Tembok GUO dan kontribusinya terhadap keandalan sistem distribusi tenaga listrik. Pendekatan yang digunakan adalah kualitatif deskriptif melalui studi dokumen teknis, observasi lapangan, dan wawancara dengan personel pemeliharaan. Fokus analisis meliputi kesesuaian setting relay arus lebih (OCR) dan gangguan tanah (GFR) terhadap karakteristik beban dan arus gangguan, kecepatan kerja relay dalam mengisolasi gangguan, serta dampaknya terhadap nilai SAIDI dan SAIFI. Hasil analisis menunjukkan bahwa relay proteksi pada kubikel GUO berfungsi sebagai pengaman utama yang membatasi wilayah gangguan agar tidak meluas ke penyulang lain. Namun, kinerja relay sangat bergantung pada ketepatan setting, kondisi peralatan switching, dan konsistensi pemeliharaan. Ketidaksesuaian setting atau degradasi komponen dapat memperlambat isolasi gangguan sehingga menurunkan keandalan penyaluran. Temuan ini menegaskan bahwa optimalisasi kinerja relay proteksi merupakan faktor kunci dalam menjaga kontinuitas pelayanan pada sistem distribusi tegangan menengah.

Kata Kunci: relay proteksi, kubikel 20 kV, gardu tembok, keandalan distribusi, SAIDI/SAIFI

PENDAHULUAN

Keandalan sistem distribusi tenaga listrik merupakan indikator utama mutu pelayanan yang dirasakan langsung oleh pelanggan. Jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV menjadi bagian yang paling rentan terhadap gangguan karena bersinggungan langsung dengan beban dan lingkungan sekitar (Sibarani dkk., 2021). Gangguan yang tidak terisolasi dengan cepat dapat menyebabkan pemadaman yang meluas, memperpanjang durasi padam, dan pada akhirnya menurunkan nilai indeks keandalan seperti SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) dan SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*).

Gardu Tembok GUO merupakan salah satu gardu distribusi tipe tembok yang berfungsi sebagai titik penghubung dan pembagi beban pada jaringan tegangan menengah. Di dalamnya terpasang kubikel 20 kV yang dilengkapi relay proteksi sebagai perangkat pengaman utama. Kubikel 20 kV didefinisikan sebagai seperangkat peralatan listrik yang berfungsi sebagai pembagi, pemutus, penghubung, pengontrol, dan proteksi sistem penyaluran tenaga listrik tegangan 20 kV (Saputra dkk., 2024). Relay proteksi bekerja berdasarkan sinyal dari transformator arus (CT) dan transformator tegangan (PT), kemudian memberikan perintah trip kepada pemutus tenaga (PMT) ketika mendeteksi kondisi abnormal seperti arus lebih atau gangguan ke tanah (Saputra dkk., 2024).

Kinerja relay proteksi tidak hanya ditentukan oleh spesifikasi perangkat, tetapi juga oleh ketepatan setting, koordinasi dengan peralatan proteksi lain, serta kondisi perawatan. Penelitian Saputra dkk. menegaskan bahwa relay proteksi pada kubikel 20 kV harus didesain untuk bekerja pada gangguan arus lebih, gangguan tanah, dan beban lebih, dengan perhitungan yang mempertimbangkan data daya pelanggan, kapasitas trafo, dan rasio CT (Saputra dkk., 2024). Ketidaktepatan dalam perhitungan setting dapat menyebabkan relay gagal bekerja pada kondisi yang seharusnya, atau sebaliknya bekerja terlalu sensitif sehingga mengganggu kontinuitas pelayanan.

Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini difokuskan pada evaluasi kinerja relay proteksi pada kubikel Gardu Tembok GUO. Analisis dilakukan secara kualitatif dengan menelaah kesesuaian fungsi proteksi, prosedur pengujian, dan dampaknya terhadap keandalan sistem distribusi. Diharapkan hasil penelitian ini memberikan gambaran mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja relay proteksi dan menjadi dasar rekomendasi perbaikan dalam pengelolaan gardu distribusi.

KAJIAN TEORITIS

Sistem proteksi pada jaringan distribusi tegangan menengah dirancang untuk mencegah atau membatasi kerusakan peralatan akibat gangguan, serta menjaga keselamatan umum dan kelangsungan pelayanan (Saputra dkk., 2024). Komponen utama sistem proteksi meliputi transformator arus, transformator tegangan, relay proteksi, pemutus tenaga, dan sumber daya DC sebagai penyedia energi operasi. Relay proteksi berfungsi sebagai elemen perasa yang menerima sinyal dari CT/PT dan memberikan perintah kepada PMT untuk memutus rangkaian yang terganggu.

Prinsip kerja relay proteksi diawali dari transformator arus (CT) yang menurunkan arus jaringan tegangan menengah menjadi arus sekunder berskala kecil yang aman diterima relay. Relay kemudian membandingkan besaran arus tersebut dengan nilai setting (pickup)

yang telah ditetapkan. Selama arus masih di bawah nilai setting, relay tidak bekerja. Ketika arus melampaui nilai setting akibat hubung singkat atau gangguan tanah, relay mulai menghitung waktu tunda sesuai karakteristik kurva waktu-arus yang dipilih, baik jenis invers maupun definite (Saputra dkk., 2024).

Setelah waktu tunda terlampaui, relay mengirim sinyal ke kumparan trip pemutus tenaga (PMT), sehingga PMT membuka dan bagian jaringan yang terganggu terpisah dari sistem. Proses ini membutuhkan sumber daya DC yang stabil, karena catu daya tersebut menyuplai operasi relay sekaligus energi untuk menggerakkan kumparan trip. Dengan demikian, kecepatan dan ketepatan isolasi gangguan ditentukan oleh rangkaian yang utuh, mulai dari CT, relay, catu daya DC, hingga mekanisme PMT (Saputra dkk., 2024; Zain, 2022).

Pada kubikel 20 kV, jenis relay yang umum digunakan adalah *Over Current Relay* (OCR) dan *Ground Fault Relay* (GFR). OCR mendeteksi arus lebih yang timbul akibat hubung singkat antar fasa, sedangkan GFR mendeteksi arus gangguan yang mengalir ke tanah. Setting OCR umumnya mengacu pada arus beban maksimum dengan faktor pengali tertentu, sementara setting GFR mempertimbangkan arus gangguan tanah terkecil yang mungkin terjadi (Saputra dkk., 2024). Nilai setting yang tepat memastikan relay bekerja secara selektif: hanya bagian jaringan yang terganggu yang terputus, sementara bagian lain tetap beroperasi.

Keandalan sistem distribusi diukur melalui indeks SAIDI dan SAIFI. SAIDI menunjukkan rata-rata durasi pemadaman per pelanggan dalam periode tertentu, sedangkan SAIFI menunjukkan rata-rata frekuensi pemadaman (Sibarani dkk., 2021). Kedua indeks ini dipengaruhi oleh frekuensi gangguan, kecepatan isolasi, dan durasi perbaikan. Sistem proteksi yang bekerja cepat dan selektif akan menekan nilai SAIDI dan SAIFI karena meminimalkan jumlah pelanggan yang terdampak dan mempercepat pemulihan pasokan.

Gardu tembok merupakan salah satu tipe gardu distribusi yang menggunakan konstruksi beton, umumnya digunakan untuk melayani kawasan dengan kebutuhan beban yang relatif besar atau sebagai gardu hubung pada jaringan SKTM (Saputra dkk., 2024). Kubikel yang terpasang di dalamnya berperan sebagai peralatan hubung bagi yang mengatur aliran daya dari penyulang masuk ke penyulang keluar, sekaligus sebagai lokasi penempatan relay proteksi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif. Data dikumpulkan melalui tiga teknik utama: studi dokumen, observasi, dan wawancara. Studi dokumen dilakukan terhadap catatan pemeliharaan kubikel, data setting relay, laporan gangguan, serta data indeks keandalan pada periode tertentu. Observasi dilakukan untuk memeriksa kondisi fisik kubikel, relay, CT/PT, dan instalasi pendukung di Gardu Tembok GUO. Wawancara semi-terstruktur dilakukan dengan personel pemeliharaan dan operator gardu untuk memperoleh pemahaman mengenai prosedur pengujian, kendala operasional, dan pengalaman penanganan gangguan.

Analisis data dilakukan secara tematik dengan fokus pada tiga aspek: (1) kesesuaian setting relay terhadap karakteristik beban dan arus gangguan; (2) kinerja operasional relay

dalam merespons gangguan berdasarkan catatan kejadian; dan (3) kontribusi kinerja relay terhadap keandalan penyaluran, yang dilihat dari data SAIDI dan SAIFI pada penyulang terkait. Validasi data dilakukan melalui triangulasi sumber, yaitu membandingkan informasi dari dokumen, observasi, dan wawancara.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Kesesuaian Setting Relay Proteksi

Berdasarkan telaah dokumen setting, relay OCR pada kubikel GUO diset berdasarkan arus beban nominal dengan mempertimbangkan rasio CT yang terpasang. Setting arus umumnya mengikuti rentang 1,05 hingga 1,3 kali arus beban untuk relay tipe invers, sebagaimana standar yang lazim digunakan pada sistem distribusi 20 kV (Saputra dkk., 2024). Sementara itu, setting GFR mengacu pada persentase tertentu dari arus gangguan tanah terkecil, umumnya berkisar 6% hingga 12%, untuk mengantisipasi gangguan tanah yang memiliki tahanan kontak relatif tinggi (Aghus Sofwan, 2024).

Dari segi koordinasi, relay pada kubikel GUO berperan sebagai pengaman utama untuk section yang dilindunginya, dengan relay di sisi incoming sebagai cadangan. Prinsip ini sejalan dengan filosofi proteksi berlapis, di mana pengaman cadangan bekerja lebih lambat apabila pengaman utama gagal beroperasi (Saputra dkk., 2024). Namun, efektivitas koordinasi sangat bergantung pada konsistensi kurva waktu-arus antara relay yang berdekatan. Apabila terdapat tumpang tindih kurva, relay cadangan dapat bekerja lebih dahulu atau bersamaan dengan relay utama, sehingga cakupan padam menjadi lebih luas dari yang seharusnya.

2. Kinerja Operasional dan Respons Gangguan

Catatan gangguan menunjukkan bahwa relay pada kubikel GUO telah beroperasi pada beberapa kejadian arus lebih dan gangguan tanah. Secara umum, relay memberikan perintah trip kepada PMT sesuai dengan setting yang ditetapkan. Namun, terdapat indikasi bahwa pada beberapa kejadian, waktu pemutusan terasa lebih lama dari yang diharapkan. Faktor yang teridentifikasi dari wawancara meliputi kondisi mekanisme PMT yang mulai aus, tegangan catu daya DC yang tidak stabil, dan keterlambatan dalam verifikasi sinyal trip.

Kondisi ini sejalan dengan temuan pada penelitian lain yang menyoroti bahwa keandalan sistem proteksi tidak hanya ditentukan oleh relay itu sendiri, tetapi juga oleh peralatan pendukung seperti CT, PT, catu daya DC, dan PMT (Saputra dkk., 2024). Relay digital modern, misalnya, memerlukan suplai daya yang stabil untuk menjalankan fungsi logika dan komunikasi. Gangguan pada sistem catu daya dapat menyebabkan relay gagal bekerja atau mengalami *maloperation*.

3. Kontribusi terhadap Keandalan Distribusi

Dampak kinerja relay proteksi terhadap keandalan dapat dilihat dari data SAIDI dan SAIFI pada penyulang yang dilayani Gardu Tembok GUO. Meskipun data spesifik untuk gardu ini tidak dipaparkan secara rinci, pola umum menunjukkan bahwa kejadian gangguan yang berhasil diisolasi dengan cepat oleh relay tidak memberikan kontribusi

signifikan terhadap durasi padam. Sebaliknya, kejadian di mana relay gagal trip atau PMT tidak merespons perintah trip menyebabkan padam yang lebih lama dan berdampak pada lebih banyak pelanggan.

Temuan ini konsisten dengan penelitian Widyastuti dkk. yang menunjukkan bahwa perbaikan sistem proteksi melalui penambahan peralatan switching dan proteksi dapat menurunkan nilai SAIDI dan SAIFI secara signifikan (Widyastuti dkk., 2021). Dengan demikian, optimalisasi kinerja relay proteksi pada kubikel GUO memiliki korelasi langsung terhadap peningkatan keandalan penyaluran. Faktor pemeliharaan rutin, pengujian berkala terhadap setting dan fungsi trip, serta pemantauan kondisi catu daya DC menjadi kunci dalam menjaga konsistensi kinerja relay.

SIMPULAN DAN SARAN

Kinerja relay proteksi pada kubikel Gardu Tembok GUO secara fungsional telah menjalankan perannya sebagai pengaman utama dalam mengisolasi gangguan pada section yang dilindunginya. Kesesuaian setting OCR dan GFR terhadap karakteristik beban dan arus gangguan menjadi faktor penentu utama dalam menjaga selektivitas dan kecepatan kerja relay. Namun, kinerja tersebut masih dipengaruhi oleh kondisi peralatan pendukung, terutama mekanisme PMT dan kestabilan catu daya DC, serta konsistensi pelaksanaan pemeliharaan dan pengujian berkala. Kontribusi relay proteksi terhadap keandalan sistem distribusi terlihat dari kemampuannya membatasi cakupan gangguan, sehingga kejadian yang berhasil diisolasi dengan cepat tidak memperpanjang durasi padam. Oleh karena itu, disarankan agar dilakukan pengujian fungsi relay dan PMT secara terjadwal, verifikasi setting secara periodik terhadap perubahan beban, serta pemantauan kondisi catu daya DC sebagai bagian dari upaya menjaga kinerja proteksi. Penelitian lanjutan dapat dilakukan dengan pendekatan kuantitatif untuk mengukur secara lebih presisi korelasi antara waktu kerja relay dan nilai SAIDI/SAIFI pada penyulang terkait.

DAFTAR PUSTAKA

- Saputra, I. G. D., A. Sofwan, dan R. R. Isnanto. 2024. "Desain Proteksi Kubikel 20 kV pada Gardu Distribusi Pelanggan Tegangan Menengah di PT PLN (Persero) UP3 Bali Utara," *Jurnal Profesi Insinyur Indonesia (JPPI)*, 2(4):232–237. doi: 10.14710/jpii.2024.24575.
- Sibarani, Erikson Patartua, Nurmiati Pasra, dan Ibnu Hajar. 2021. "Analisa Keandalan Sistem Distribusi Berdasarkan Indeks Keandalan SAIDI dan SAIFI di Gardu Induk Payo Selincah." Institut Teknologi PLN.
- Widyastuti, Christine, Oktaria Handayani, dan Tony Koerniawan. 2021. "Keandalan Sistem Penyaluran Listrik Berdasarkan SAIDI dan SAIFI Sebelum dan Sesudah Pemasangan Kubikel Arrestor di PT PLN UP3 Serpong." *Energi & Kelistrikan*, 13(2):95–103. doi: 10.33322/energi.v13i2.1031.
- Nasional, Jurnal, dan Teknik Elektro. 2024. "Jurnal Nasional Teknik Elektro Development of DC Motor Speed Control Using PID Based on Arduino and Matlab For Laboratory Trainer." 1.
- Zain, Abdul. 2022. "Kendali Sistem Tegangan Baterai Peralatan 20 kV PT PLN Bontang." *Jurnal Teknologi Elekterika*, 19(1):8-15. doi: 10.31963/elekterika.v6i1.2807.