

ANALISIS AKTIVASI SINGLE POLE AUTO RECLOSE (SPAR) PEMUTUS TENAGA BAY PENGHANTAR PONOROGO 1 SEBAGAI PENINGKATAN KEANDALAN SISTEM TENAGA LISTRIK DI GARDU INDUK 70 KV TRENGGALEK

Ahmad Ihdan Nizar Zuhdy^{1*}, Riska Nur Wakidah²

^{1,2} Jurusan Teknik Elektro, Universitas Kahuripan Kediri

Jl. Soekarno Hatta, Ngeblek, Pelem, Kec. Pare, Kediri, Jawa Timur 64213, Indonesia

*Penulis Korespondensi: ahmadihdan@gmail.com

Abstract. *This study analyzes the activation of Single-Pole Auto Reclose (SPAR) on the Ponorogo 1 feeder bay circuit breaker as an effort to improve the reliability of the power system at the 70 kV Trenggalek Substation. The research was conducted through data collection, literature study, object observation, interviews, installation and testing, and analysis of SPAR activation results. The activation was carried out by replacing the Three-Pole circuit breaker with a Single-Pole mechanism and resetting the Distance Relay, including Trip Output, Auto Reclose, and Breaker Mode. The test results showed that the Auto Reclose, final trip, 86 (lock out), and feeder protection functions of Ponorogo 1 Bay operated according to the specified standards. A lightning-induced disturbance on November 21, 2024 showed that the Ponorogo 1 Bay circuit breaker successfully performed a single-phase trip and reclose on phase R after 1 second, while Ponorogo 2 Bay, which still applied TPAR, performed a three-phase reclose after 2 seconds. The application of SPAR allowed the unaffected phases to remain connected, maintaining the continuity of power transmission. These results indicate that SPAR activation on the feeder bay can support improved power system reliability at the 70 kV Trenggalek Substation.*

Keywords: *Single-Pole Auto Reclose, circuit breaker, Distance Relay, power system reliability, 70 kV Trenggalek Substation*

Abstrak. Penelitian ini menganalisis aktivasi *Single-Pole Auto Reclose* (SPAR) pada Pemutus Tenaga (PMT) Bay Penghantar Ponorogo 1 sebagai upaya meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik di Gardu Induk 70 kV Trenggalek. Penelitian dilakukan melalui pengumpulan data, studi pustaka, pengamatan objek, wawancara, instalasi dan pengujian, serta analisis hasil aktivasi SPAR. Aktivasi dilakukan melalui penggantian PMT *Three-Pole* menjadi *Single-Pole* dan *resetting* pada *Relay Distance*, meliputi *Trip Output*, *Auto Reclose*, dan *Breaker Mode*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa fungsi *Auto Reclose*, *final trip*, 86 (*lock out*), dan pengamanan penghantar pada Bay Ponorogo 1 berjalan sesuai standar. Gangguan akibat sambaran petir pada 21 November 2024 menunjukkan PMT Bay Ponorogo 1 berhasil melakukan *trip* dan *reclose* satu fasa pada fasa R setelah 1 detik, sedangkan Bay Ponorogo 2 yang masih menggunakan TPAR melakukan *reclose* tiga fasa setelah 2 detik. Penerapan SPAR memungkinkan fasa yang tidak terganggu tetap terhubung sehingga kontinuitas penyaluran tenaga listrik dapat dipertahankan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa aktivasi SPAR pada bay penghantar dapat mendukung peningkatan keandalan sistem tenaga listrik di GI 70 kV Trenggalek.

Kata kunci: *Single-Pole Auto Reclose, Pemutus Tenaga, Relay Distance, keandalan sistem tenaga listrik, Gardu Induk 70 kV Trenggalek*

1. LATAR BELAKANG

Kebutuhan energi listrik bagi masyarakat tidak dapat dipisahkan dari kehidupan sehari-hari. PT PLN (Persero) sebagai Badan Usaha Milik Negara (BUMN) memiliki visi menjadikan tenaga listrik sebagai media untuk meningkatkan kualitas kehidupan masyarakat. Pencapaian visi tersebut memerlukan sistem ketenagalistrikan yang andal, bermutu, dan memiliki nilai ekonomis yang baik.

Penyaluran energi listrik dari pembangkitan hingga pelanggan meliputi tiga fase, yaitu pembangkitan, transmisi, dan distribusi. Salah satu aset terbesar PT PLN (Persero) adalah sistem transmisi yang tersebar di Indonesia, yang terdiri atas Saluran Udara

Tegangan Tinggi/Ekstra Tinggi (SUTT/SUTET), transformator daya, dan gardu induk. Gardu Induk (GI) merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan aliran daya dari pembangkitan melalui SUTT/SUTET serta mentransformasikan tenaga listrik tegangan tinggi menjadi tegangan menengah atau menuju distribusi tenaga listrik. Pengoperasian, pengukuran, pengaturan, pengawasan, dan pengamanan sistem ketenagalistrikan pada GI dilakukan melalui kumpulan peralatan yang disebut bay.

Salah satu peralatan pada GI adalah Pemutus Tenaga (PMT) atau *Circuit Breaker* (CB). PMT berfungsi memutus aliran listrik dalam keadaan berbeban serta memadamkan busur api yang timbul akibat surja hubung ketika kontak dioperasikan untuk menutup atau membuka. Berdasarkan pengoperasiannya, PMT terdiri atas tipe *Single-Pole* dan *Three-Pole*. PMT *Single-Pole* menggunakan satu penggerak untuk satu fasa, sedangkan PMT *Three-Pole* menggunakan satu penggerak untuk tiga fasa [1]. Selain memutus aliran listrik dalam keadaan berbeban, PMT berfungsi sebagai media proteksi sistem tenaga listrik terhadap gangguan. PMT menerima perintah dari relai proteksi untuk segera membebaskan bay yang mengalami arus gangguan sehingga peralatan lain terhindar dari bahaya *Breaking Current*. PMT juga dilengkapi fitur *reclose*, yaitu kemampuan menutup kembali setelah *trip* akibat gangguan apabila memenuhi kriteria yang telah ditetapkan.

Reclose pada PMT terdiri atas *Single-Pole Auto Reclose* (SPAR) dan *Three-Pole Auto Reclose* (TPAR). SPAR hanya dapat diterapkan pada PMT *Single-Pole*, sedangkan PMT *Three-Pole* menggunakan TPAR. Ketika terjadi gangguan pada salah satu dari tiga fasa pada bay yang menggunakan PMT *Three-Pole* atau TPAR, ketiga fasa akan melakukan *reclose*. Mekanisme tersebut memengaruhi kontinuitas penyaluran tenaga listrik pada bay yang mengalami gangguan. Perbedaan konfigurasi SPAR dan TPAR juga menentukan status hilang tegangan ketika terjadi kehilangan tegangan selama sepersekian detik pada ketiga fasa, terutama saat bay penghantar menjadi satu-satunya suplai utama pada gardu induk.

PMT yang dipasang pada bay penghantar di gardu induk harus bertipe *Single-Pole*. Tipe tersebut memungkinkan PMT melakukan *reclose* pada salah satu fasa melalui SPAR ketika gangguan hanya terjadi pada satu fasa dan dapat beroperasi menggunakan TPAR ketika terjadi gangguan langsung tiga fasa. Gangguan sementara pada salah satu fasa yang telah dibebaskan melalui *trip* PMT tetap memungkinkan kontinuitas aliran daya karena dua fasa lainnya tidak ikut terputus. Bay trafo dan bay kopel memiliki kebutuhan berbeda karena PMT bertipe *Three-Pole* diperlukan untuk menjaga keseimbangan vektor tegangan dan arus saat *energize* dan *trip*.

Gardu Induk 70 kV Trenggalek memiliki empat bay penghantar. Sebelum Juli 2023, seluruh PMT bay penghantar menggunakan mekanisme *Three-Pole*, sehingga seluruh bay penghantar masih menerapkan metode *reclose* TPAR. Penggunaan konfigurasi tersebut kurang ideal bagi keandalan sistem tenaga listrik, khususnya pada bay penghantar. Potensi gangguan akibat benda asing dan surja petir yang cukup intens secara geografis pada bay penghantar di Gardu Induk 70 kV Trenggalek dapat meningkatkan angka gangguan dan menurunkan kontinuitas penyaluran tenaga listrik. Kontinuitas penyaluran tenaga listrik pada sistem transmisi di Gardu Induk 70 kV Trenggalek menjadi perhatian karena gardu induk tersebut tercatat sebagai gardu induk dengan jumlah gangguan terbanyak selama lima tahun terakhir di Jawa Timur, Bali, dan Madura (2019–2024) [2]. Aktivasi SPAR pada PMT bay penghantar Ponorogo 1 sebagai suplai utama di Gardu Induk 70 kV Trenggalek perlu dibahas untuk mengetahui pengaruhnya terhadap keandalan sistem tenaga listrik.

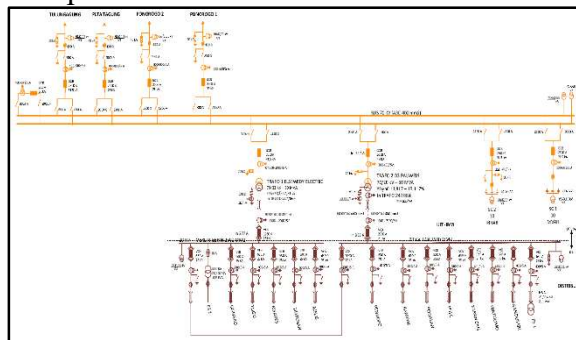
ANALISIS AKTIVASI SINGLE POLE AUTO RECLOSE (SPAR) PEMUTUS TENAGA BAY PENGHANTAR PONOROGO 1 SEBAGAI PENINGKATAN KEANDALAN SISTEM TENAGA LISTRIK DI GARDU INDUK 70 KV TRENGGALEK

Penelitian ini membahas kebutuhan komponen untuk aktivasi SPAR pada PMT bay penghantar di gardu induk, kelebihan konfigurasi PMT dengan SPAR dan TPAR aktif dibandingkan TPAR saja, serta pengaruh aktivasi SPAR ketika terjadi gangguan penghantar. Metode pengujian mengikuti standar dan metode pengujian dalam buku pedoman pemeliharaan PT PLN (Persero). Pembahasan dibatasi pada pengaruh sebelum dan sesudah aktivasi SPAR pada PMT Bay Penghantar Ponorogo 1 di Gardu Induk 70 kV Trenggalek terhadap keandalan sistem tenaga listrik di Wilayah PLN ULTG Kediri Gardu Induk 70 kV Trenggalek. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi literatur dalam pelaksanaan aktivasi SPAR pada PMT serta mendukung pengembangan keandalan sistem tenaga listrik.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di Gardu Induk (GI) 70 kV Trenggalek, khususnya pada Pemutus Tenaga (PMT) Bay Penghantar Ponorogo 1 dan Relay Panel Bay Penghantar Ponorogo 1. Penelitian berlangsung selama 17 bulan dalam rangka pekerjaan *project* aktivasi SPAR pada PMT Penghantar Ponorogo 1 dan 2, mulai 11 Juli 2023 saat penggantian PMT Bay Penghantar Ponorogo 1 hingga aktivasi SPAR PMT Bay Ponorogo 2 pada 2 Desember 2024.

Data penelitian diperoleh dari tim Pemeliharaan Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk (ULTG) Kediri serta GI 70 kV Trenggalek. Pengumpulan informasi dilakukan melalui studi pustaka dengan menelusuri tugas akhir/skripsi, jurnal, buku pedoman, dan karya ilmiah yang berkaitan dengan materi penelitian serta analisis perhitungannya. Objek penelitian berada di wilayah kerja PT PLN (Persero) Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk (ULTG) Kediri, yaitu PMT Bay Penghantar Ponorogo 1 beserta Relay Panel Bay Penghantar Ponorogo 1 di GI 70 kV Trenggalek. Single Line Diagram GI 70 kV Trenggalek dan Bay Ponorogo 1 serta PMT Bay Penghantar Ponorogo 1 yang menjadi objek penelitian ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



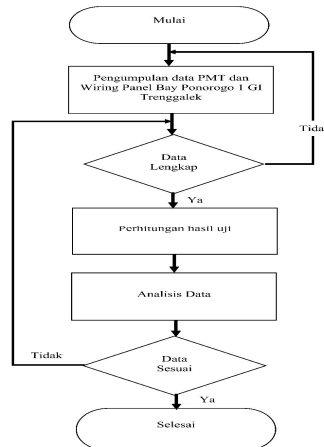
Gambar 1. Single Line Diagram GI 70kV Trenggalek dan Bay Ponorogo 1[4]



Gambar 2. PMT Bay Penghantar Ponorogo 1 GI Trenggalek[3]

**ANALISIS AKTIVASI SINGLE POLE AUTO RECLOSE (SPAR) PEMUTUS TENAGA BAY
PENGHANTAR PONOROGO 1 SEBAGAI PENINGKATAN KEANDALAN SISTEM TENAGA
LISTRIK DI GARDU INDUK 70 KV TRENGGALEK**

Tahapan penelitian disusun melalui proses pengumpulan data PMT dan *wiring* panel Bay Ponorogo 1 GI Trenggalek, pemeriksaan kelengkapan data, perhitungan hasil uji, analisis data, serta pemeriksaan kesesuaian hasil analisis. Apabila data belum lengkap, proses pengumpulan data dilakukan kembali. Hasil analisis yang belum sesuai juga menjadi dasar untuk melakukan pemeriksaan dan pengumpulan data kembali. Alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Wawancara dilakukan kepada senior dan tim pemeliharaan gardu induk di lokasi penelitian untuk memperoleh informasi mengenai langkah instalasi, pengujian, dan analisis aktivasi SPAR pada PMT serta panel relai Bay Ponorogo 1 GI 70 kV Trenggalek. Informasi hasil wawancara digunakan untuk mengetahui kesesuaian pelaksanaan aktivasi SPAR dengan standar PT PLN (Persero). Tahapan penelitian disusun berdasarkan alur pelaksanaan penelitian yang meliputi pengumpulan data, studi pustaka, pengamatan objek, wawancara, instalasi dan pengujian, serta analisis hasil aktivasi SPAR.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Sistem

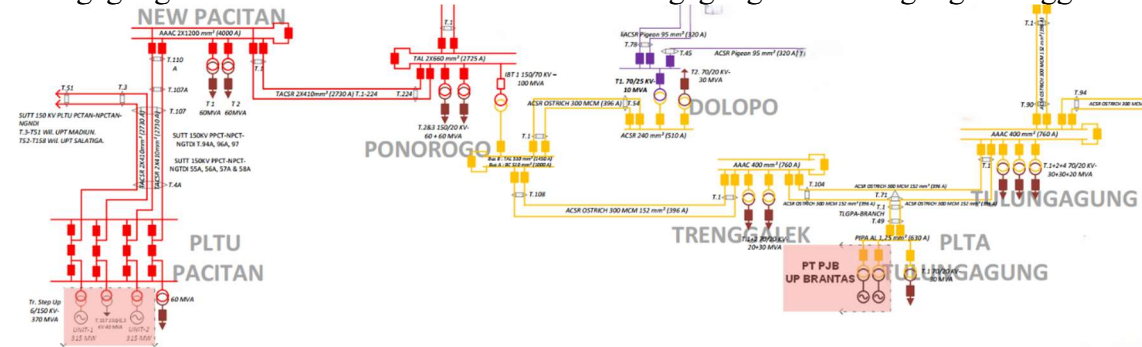
GI Trenggalek secara normal menerapkan metode operasi semi radial yang terdiri atas pola *Radial* dan *Looping*. Pola *Radial* berfungsi sebagai penyalur beban atau beban akhir, sedangkan *Looping* memungkinkan perputaran daya antargardu induk untuk meningkatkan keandalan sistem. Pola *Splitting* dan *Islanding* dapat diterapkan pada kondisi tertentu untuk menjaga stabilitas dan kontinuitas penyaluran listrik ketika terjadi gangguan pada pembangkitan atau instalasi sistem radial.

Pada kondisi normal, GI Trenggalek menerima daya dari PLTU Pacitan melalui subsistem Pacitan menuju Trafo#1 dan Trafo#2, kemudian menuju GI PLTA Tulungagung. Daya dari GIS PLTU Pacitan dinaikkan menjadi 150 kV dan disalurkan melalui SUTT 150 kV GIS PLTU Pacitan–New Pacitan menuju GI 150 kV New Pacitan, kemudian diteruskan melalui SUTT 150 kV New Pacitan–New Ponorogo menuju GI 150 kV New Ponorogo. Tegangan kemudian diturunkan menjadi 70 kV melalui IBT 150 kV/70 kV sebelum disalurkan melalui SUTT 70 kV Trenggalek–Ponorogo menuju GI 70 kV Trenggalek.

Pada pola operasi *Radial*, GI Trenggalek menyalurkan daya menuju Trafo#1 dan Trafo#2 70/20 kV dengan rating masing-masing 30 MVA. Ketika dua unit PLTA Tulungagung beroperasi penuh, GI Trenggalek menerima suplai dari pembangkit tersebut. Saat PLTA Tulungagung tidak beroperasi, penyaluran daya menuju PLTA

**ANALISIS AKTIVASI SINGLE POLE AUTO RECLOSE (SPAR) PEMUTUS TENAGA BAY
PENGHANTAR PONOROGO 1 SEBAGAI PENINGKATAN KEANDALAN SISTEM TENAGA
LISTRIK DI GARDU INDUK 70 KV TRENGGALEK**

Tulungagung dilakukan melalui SUTT 70 kV Tulungagung–PLTA Tagung–Trenggalek.



**Gambar 4 Konstelasi Sistem dari GIS PLTU Pacitan menuju GI 70kV
Trenggalek[4]**

Kondisi peralatan GI Trenggalek pada tahun 2025 tergolong cukup baik. Penggunaan PMT tipe *Single-Pole* pada line Ponorogo 1 tahun 2023 dan Ponorogo 2 tahun 2024 serta penerapan SPAR pada kedua PMT tersebut dan PMT di GI Ponorogo memungkinkan SUTT 70 kV Trenggalek–Ponorogo melakukan *auto reclose* satu fasa saat terjadi gangguan akibat benda asing atau petir. Penerapan SPAR pada tahun 2024 dapat dilihat melalui gangguan pada November 2024. Sebelum SPAR diterapkan, gangguan satu fasa pada penghantar arah Ponorogo menyebabkan *reclose* tetap dilakukan secara tiga fasa. Gangguan besar akibat petir atau benda asing yang menimbulkan gangguan fasa tanah pada kedua line dapat menyebabkan hilangnya tegangan ketika GI Trenggalek hanya memperoleh suplai utama dari GI Ponorogo.

Sistem Transmisi 70kV

Sistem transmisi 70 kV merupakan sistem lama yang digunakan sebelum berkembangnya sistem 150 kV dan 500 kV. Sistem ini umumnya diterapkan di wilayah dengan banyak pembangkitan tenaga air karena lebih mudah menjangkau daerah pegunungan dan wilayah dengan sumber daya air melimpah.

GI Trenggalek menggunakan sistem transmisi 70 kV. Peningkatan beban pelanggan menyebabkan kemampuan sistem 70 kV semakin terbatas sehingga beberapa gardu induk beralih ke sistem 150 kV, seperti GI 150 kV *New Ponorogo* dan GI 150 kV *New Pacitan*. Alternatif lainnya dilakukan melalui pembangunan gardu induk baru yang langsung menggunakan level tegangan 150 kV, seperti GI 150 kV *New Tulungagung*. Penyaluran daya yang sama, misalnya 10 MW, menghasilkan arus yang lebih rendah pada sistem 150 kV dibandingkan 70 kV. Arus yang lebih rendah dapat mengurangi rugi-rugi daya akibat *hotspot*. Keterbatasan level tegangan 70 kV juga menyebabkan kebutuhan kemampuan penghantar arus semakin tinggi. Beban yang tinggi dapat mengurangi andongan pada SUTT 70 kV sehingga meningkatkan risiko gangguan akibat benda asing maupun *Right of Way* (ROW), seperti tanaman dan bangunan di bawah konduktor.

Keandalan terhadap gangguan petir pada SUTT 70 kV juga dipengaruhi konstruksi tower yang umumnya menggunakan *single* Ground Steel Wire (GSW). Konfigurasi tersebut memiliki tingkat keandalan lebih rendah dibandingkan konstruksi *double* GSW yang digunakan pada Tower SUTT 150 kV. Berdasarkan jurnal gangguan selama lima tahun terakhir, GI Trenggalek tercatat sebagai gardu induk dengan gangguan transmisi terbanyak, yaitu 15 kali. Ruas Trenggalek–Ponorogo dan Trenggalek–Tulungagung serta PLTA Tulungagung melewati wilayah persawahan dan pegunungan yang rawan petir, terutama saat cuaca ekstrem. Gangguan juga dapat disebabkan oleh benda asing. Upaya PLN untuk mengurangi gangguan dilakukan melalui peningkatan kualitas pentanahan

dengan pemasangan *grounding* langsung ke tanah pada Tower SUTT Trenggalek arah Tulungagung dan Ponorogo. Gangguan akibat benda asing seperti balon dan layang-layang diminimalkan melalui sosialisasi serta tindakan *sidak* atau razia balon udara dan layang-layang kepada masyarakat di sekitar tower.

Penggantian PMT 70kV Three-Pole ke Single-Pole GI Trenggalek

Program anti-*blackout* PT PLN (Persero) UIT JBM UPT Madiun dan penguatan subsistem “Segitiga Bermuda” Trenggalek–Tulungagung–PLTA Tulungagung mendorong PLN ULTG Kediri mengganti PMT mekanisme *Three-Pole* menjadi *Single-Pole*. Penggantian ini bertujuan mengaktifkan SPAR agar bay penghantar dapat melakukan *reclose* satu fasa saat terjadi gangguan satu fasa ke tanah maupun satu fasa ke fasa pada pola operasi radial. GI Trenggalek telah mengganti PMT Bay Ponorogo 1 pada 11 Juli 2023 dan Bay Ponorogo 2 pada 27 Januari 2024 [6,7]. Spesifikasi PMT sebelum dan sesudah penggantian disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Penggantian PMT 70kV T/L Bay Ponorogo-1 GI Trenggalek[6]

T/L 70KV BAY PONOROGO-1		
Sebelum	11 Juli 2023	Sesudah
UNINDO	Merk	UNINDO
GL309 F1/3120	Type	GL309 F3/3120
18309022007	No. Seri	293454020003
Three-Pole	Mekanisme	Single-Pole
72,5 kV	V_{rated}	72,5 kV
2000 A	I_{rated}	2000 A
31,5 kA	I_{sc}	31,5 kA
Relokasi ke UPT Surabaya	Kondisi	Baru

Tabel 2. Penggantian PMT 70kV T/L Bay Ponorogo-2 GI Trenggalek[7]

T/L 70KV BAY PONOROGO-2		
Sebelum	27 Januari 2024	Sesudah
AEG	Merk	ABB-HITACHI
S1-72.5 F1 2520	Type	LTBD72.5D1/B
3000 497/8	No. Seri	160 00 148
Three-Pole	Mekanisme	Single-Pole
72,5 kV	V_{rated}	72,5 kV
2000 A	I_{rated}	3150 A
25 kA	I_{sc}	40 kA
Gas SF6 Bocor	Kondisi	Baru

Aktivasi SPAR PMT Bay Penghantar di GI Trenggalek

Penggantian PMT *Three-Pole* menjadi *Single-Pole* memungkinkan aktivasi SPAR pada bay penghantar. Tim Pemeliharaan Proteksi, Meter, dan Otomasi PLN ULTG Kediri melaksanakan aktivasi SPAR pada Bay Penghantar 70 kV Ponorogo 1 dan Ponorogo 2 di GI Trenggalek. Aktivasi SPAR Bay Ponorogo 1 dilakukan pada 17 November 2024, sedangkan Bay Ponorogo 2 pada 2 Desember 2024. *Setting* yang diterapkan disajikan pada Tabel 3 dan Tabel 4 [8,9].

Tabel 3. Aktivasi SPAR PMT 70 kV Bay Ponorogo 1 [8]

No.	Setting	Sebelum	Sesudah
1	Trip Output – Trip Mode	3 Pole Only	1 Pole & 3 Pole
2	Trip 3 Pole Input 1	TRIPBUS 5 OP	TRIPBUS 2 OP

ANALISIS AKTIVASI SINGLE POLE AUTO RECLOSE (SPAR) PEMUTUS TENAGA BAY PENGHANTAR PONOROGO 1 SEBAGAI PENINGKATAN KEANDALAN SISTEM TENAGA LISTRIK DI GARDU INDUK 70 KV TRENGGALEK

No.	Setting	Sebelum	Sesudah
3	Trip 1 Pole Input 1	OFF	TRIPBUS 1 OP
4	Trip Force 3 Pole	OFF	AR DISABLED
5	Auto Reclose – Mode	3 Pole - B	1 & 3 Pole
6	Breakers – 1 Pole Dead Time	5 Detik	1 Detik
7	Breaker 1 Mode	3 Pole	1 Pole

Tabel 4. Aktivasi SPAR PMT 70 kV Bay Ponorogo 2 [9]

No.	Setting	Sebelum	Sesudah
1	Trip Output – Trip Mode	3 Pole Only	1 Pole & 3 Pole
2	Trip 3 Pole Input 1	TRIPBUS 5 OP	TRIPBUS 2 OP
3	Trip 1 Pole Input 1	OFF	TRIPBUS 1 OP
4	Trip Force 3 Pole	OFF	AR DISABLED
5	Auto Reclose – Mode	3 Pole - B	1 & 3 Pole
6	Breakers – 1 Pole Dead Time	5 Detik	1 Detik
7	Breaker 1 Mode	3 Pole	1 Pole

Setting auto reclose dilakukan pada *Relay Distance* karena Bay Penghantar Ponorogo 1 dan 2 menggunakan GE Multilin D60 yang memiliki fitur *auto reclose*. Perubahan *setting* sebelum dan sesudah aktivasi SPAR meliputi *Trip Output*, *Auto Reclose*, dan *Breaker*. Pada *Trip Output*, *Trip Mode* sebelum aktivasi adalah 3 Pole Only, sehingga relai mengirim sinyal *trip* tiga fasa ketika mendeteksi gangguan. Setelah *re-setting*, mode menjadi 1 Pole & 3 Pole, sehingga relai dapat mengirim sinyal *trip* satu fasa atau tiga fasa sesuai kondisi gangguan. *Auto Reclose* sebelum aktivasi menggunakan mode 3 Pole-B, sehingga *reclose* dilakukan pada tiga fasa secara bersamaan ketika persyaratan *reclose* terpenuhi. Setelah aktivasi SPAR, mode diubah menjadi 1 & 3 Pole, sehingga relai dapat melakukan SPAR maupun TPAR sesuai kondisi gangguan dan persyaratan *reclose*. Pada *setting Breaker*, mode sebelum aktivasi adalah 3 Pole, sehingga PMT *Single-Pole* masih beroperasi seperti PMT *Three-Pole*. Setelah aktivasi, mode diubah menjadi 1 Pole agar PMT yang telah menggunakan mekanisme *Single-Pole* dapat beroperasi sesuai fungsinya.

Pengujian Aktivasi SPAR PMT

Hasil pengujian *Auto Reclose* (AR) setelah *resetting* dan uji fungsi *Relay Distance* T/L Bay Ponorogo 1 dan T/L Bay Ponorogo 2 di GI Trenggalek mengacu pada hasil pengujian [8,9]. Pengujian aktivasi SPAR pada kedua bay meliputi *Auto Reclose*, *final trip* dan 86 (*lock out*), fungsi pengaman penghantar, serta pengukuran parameter relai setelah penormalan. Pengujian *Auto Reclose* Bay Ponorogo 1 dilakukan melalui simulasi gangguan satu dan tiga fasa pada Zone 1, Zone 2, Aided DEF, serta *Evolving Fault* menggunakan PMT *dummy*. Pengujian juga mencakup mode *synchro* No Check, LBL, dan DBLL sebagai persyaratan *autoreclose*. Akurasi waktu *trip* diuji berdasarkan standar 5% dari *setting* DT SPAR sebesar 1 detik dan DT TPAR sebesar 2 detik. Seluruh hasil pengujian *Auto Reclose* pada relai *distance* Bay Ponorogo 1 sesuai dengan standar yang ditentukan.

Pengujian *final trip* dan 86 (*lock out*) dilakukan melalui simulasi gangguan Zone 1, SOTF Zone 1, Zone 2, Zone 3, masa *reclaim* + Zone 1, masa *reclaim* + Aided Distance,

masa *reclaim* + Aided DEF, Zone 1 + *Evolving Fault*, serta Zone 1 + (DT + Zone 1) menggunakan PMT *dummy*. Hasil pengujian menunjukkan fungsi *final trip* dan 86 (*lock out*) berjalan baik tanpa anomali. Uji fungsi pengaman penghantar dilakukan dengan menghubungkan rangkaian pengamanan pada PMT di *switchyard*, *relay distance*, dan panel kontrol. Hasil pengujian menunjukkan T/L Bay Penghantar 70 kV Trenggalek–Ponorogo 1 lulus uji fungsi pengamanan penghantar.

Pengujian aktivasi SPAR pada PMT Ponorogo 2 meliputi *Auto Reclose*, *final trip* dan 86 (*lock out*), fungsi pengaman penghantar, serta pengukuran parameter relai setelah penormalan. Hasil pengujian aktivasi SPAR PMT Ponorogo 2 telah sesuai dengan standar pengujian. Hasil uji *Auto Reclose* pada relai *distance* Ponorogo 1 dan Ponorogo 2 juga sesuai standar. Pengukuran parameter setelah penormalan memastikan relai dapat membaca parameter yang diperlukan untuk pengamanan saat terjadi gangguan dan bekerja sesuai *setting* setelah aktivasi SPAR.

Analisis Gangguan SUTT 70 kV Trenggalek–Ponorogo

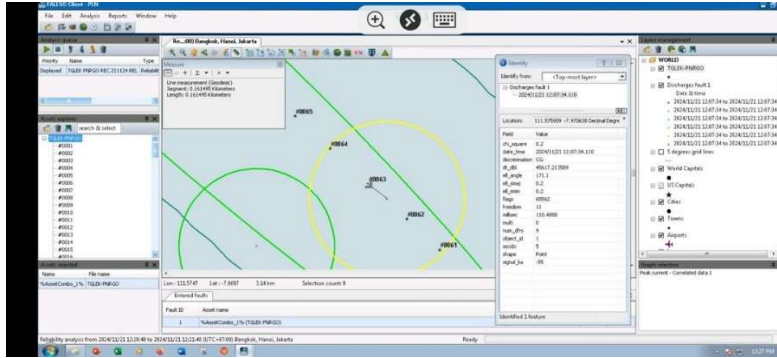
Pada Kamis, 21 November 2024 terjadi gangguan pada SUTT 70 kV Trenggalek–Ponorogo Line 1 dan Line 2 yang disebabkan oleh sambaran petir. Gangguan terjadi pada pukul 12.07 dengan status *reclose sukses* pada Bay Ponorogo#1, Bay Ponorogo#2, Bay Trenggalek#1, dan Bay Trenggalek#2 [10]. Indikasi pada relai Bay Ponorogo#1 menunjukkan *trip* pada fasa A dan *neutral/ground*, *trip 1 pole*, *AR Close BKR 1*, serta *AR Success ON*. Bay Ponorogo#2 menunjukkan *trip* pada tiga fasa, sedangkan sisi Ponorogo menunjukkan indikasi *reclose*, Zone 1, *Aided Dist*, dan *AR Success*.



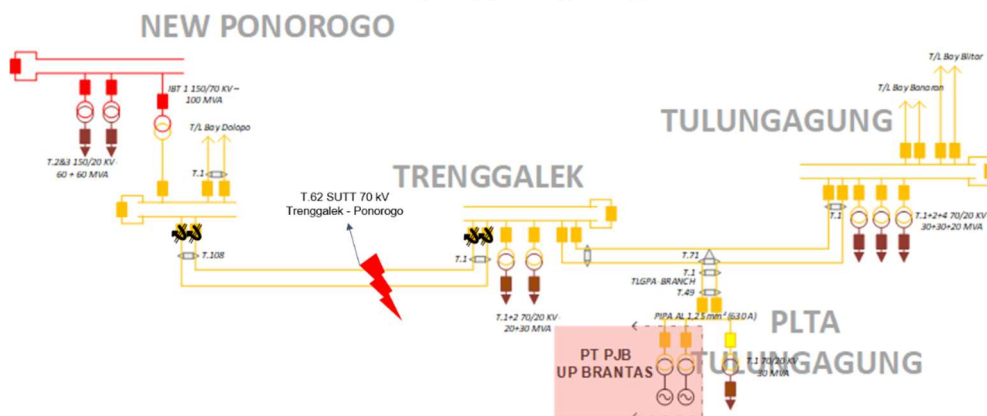
Gambar 5. Panel kontrol dan relay saat gangguan [10]

Hasil investigasi tim pemeliharaan jaringan ULTG Kediri berdasarkan rekaman Vaisala–Falls menunjukkan adanya beberapa sambaran petir pada ruas SUTT 70 kV Trenggalek–Ponorogo T.61–64. Sambaran terdekat berada di T.62–63 dengan jarak ± 161 meter dari T.63 dan arus sebesar -55 kA. Sambaran lainnya berada pada jarak $\pm 254,5$ meter dari T.69 dengan arus -5 kA serta $\pm 790,3$ meter dari T.63 dengan arus -29 kA. *Fault Signature* pada rekaman gangguan juga menunjukkan bahwa gangguan SUTT 70 kV Trenggalek–Ponorogo #1 dan #2 terindikasi akibat petir [10].

ANALISIS AKTIVASI SINGLE POLE AUTO RECLOSE (SPAR) PEMUTUS TENAGA BAY PENGHANTAR PONOROGO 1 SEBAGAI PENINGKATAN KEANDALAN SISTEM TENAGA LISTRIK DI GARDU INDUK 70 KV TRENGGALEK



Gambar 6. Data rekaman gangguan petir pada Vaisala-Falls [10]



Gambar 7. Titik gangguan pada ilustrasi konstelasi SUTT 70kV Trenggalek-Ponorogo [10]

Pengecekan visual peralatan *switchyard* setelah gangguan menunjukkan kondisi aman dan normal. *Climb Up Inspection* (CUI) pada Jumat, 22 November 2024 di SUTT 70 kV Trenggalek-Ponorogo T.60-65 menemukan bekas *flash* pada T.62 di Line 1 dan Line 2. Line 1 menunjukkan bekas *flash* pada ujung *arching* fasa R dengan arah besar, sedangkan Line 2 menunjukkan *flash* pada ujung *arching* fasa R dengan arah kecil [10].



Gambar 8. Flash pada ujung arching T.62 saat gangguan [10]

Hasil gangguan 21 November 2024 memperlihatkan bahwa aktivasi SPAR pada Bay Ponorogo 1 telah memungkinkan PMT melakukan *trip* satu fasa dan *reclose* kembali setelah gangguan. Hal tersebut ditunjukkan oleh indikasi *Trip Phase A*, *Trip 1 Pole*, *AR Close BKR 1*, dan *AR Success ON* pada relai. Gangguan akibat sambaran petir dapat dibebaskan tanpa menyebabkan pemutusan tiga fasa pada Bay Ponorogo 1.

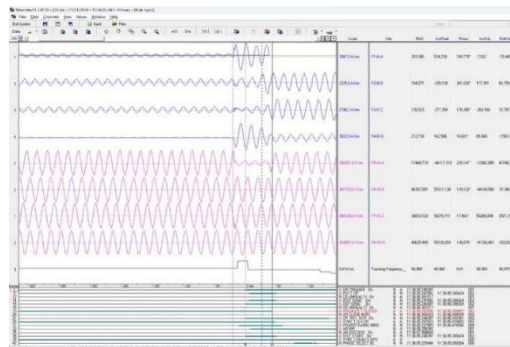
Kinerja Pengamanan Bay Ponorogo 1 dan 2 saat Gangguan 21 November 2024

Gangguan pada 21 November 2024 terbukti disebabkan oleh sambaran petir berdasarkan rekaman Vaisala-Falls dan bukan akibat gangguan peralatan. Gangguan terjadi setelah aktivasi SPAR PMT 70 kV Bay Ponorogo 1, sedangkan SPAR pada Bay Ponorogo 2 belum diaktifkan. Kedua PMT menunjukkan respons berbeda dalam

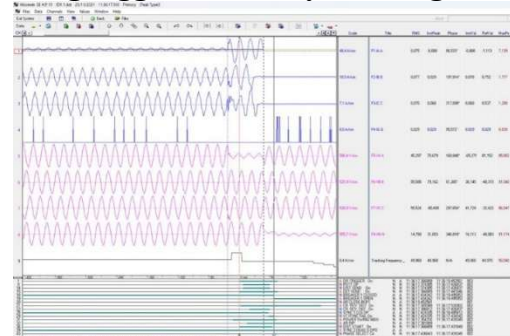
**ANALISIS AKTIVASI SINGLE POLE AUTO RECLOSE (SPAR) PEMUTUS TENAGA BAY
PENGHANTAR PONOROGO 1 SEBAGAI PENINGKATAN KEANDALAN SISTEM TENAGA
LISTRIK DI GARDU INDUK 70 KV TRENGGALEK**

mengamankan gangguan pada masing-masing line. PMT 70 kV Bay Ponorogo 1 berhasil melakukan *reclose* satu fasa pada fasa R, ditunjukkan oleh kenaikan counter PMT sebesar 1 pada fasa R, sedangkan fasa S dan T tidak mengalami perubahan. Sambaran petir pada SUTT 70 kV Trenggalek–Ponorogo 1 terindikasi *flash* pada fasa R. Setelah *Relay Distance* mendeteksi gangguan berdasarkan impedansi yang mencapai *setting* gangguan, relai mengirimkan sinyal kepada PMT untuk melakukan *reclose*. Gangguan satu fasa ke tanah memenuhi persyaratan *reclose* satu fasa setelah aktivasi SPAR, salah satunya melalui kondisi *Live Bus-Live Line* (LBLL) atau *Dead Bus-Live Line* (DBLL).

PMT 70 kV Bay Ponorogo 2 melakukan *reclose* tiga fasa pada fasa R, S, dan T, ditunjukkan oleh kenaikan counter masing-masing fasa sebesar 1. Sambaran petir pada SUTT 70 kV Trenggalek–Ponorogo 2 juga terindikasi *flash* pada fasa R. Bay Ponorogo 2 masih menerapkan TPAR sehingga gangguan satu fasa ke tanah menyebabkan *clearance* pada ketiga fasa dan Line Ponorogo 2 kehilangan tegangan sesaat. Kondisi tersebut berisiko menyebabkan gagal sinkron saat pemulihan tegangan sistem. Persyaratan *reclose* satu fasa membutuhkan kondisi LBLL atau DBLL, yaitu tegangan pada line masih tersedia dalam batas waktu yang diizinkan. Ketika line berada pada kondisi DL (*Dead Line*), sistem mengasumsikan gangguan permanen sehingga PMT di GI lawan melakukan pengamanan. Data rekaman gangguan pada kedua *Relay Distance* disajikan pada Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 9. Rekaman gangguan T/L Bay Ponorogo 1 GI Trenggalek [10]



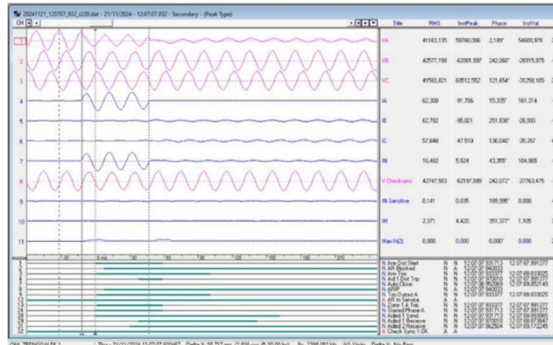
Gambar 10. Rekaman gangguan T/L Bay Ponorogo 2 GI Trenggalek [10]

Rekaman *Relay Distance* T/L Bay Ponorogo 1 menunjukkan gangguan fasa R-N dengan arus 450 A. Relai *trip* melalui kondisi *Aided Distance* dengan *Fault Clearing Time* (FCT) sekitar 76 ms, kemudian PMT fasa R berhasil *reclose* setelah 1 detik. Pada Bay Ponorogo 2, gangguan fasa R-N terdeteksi dengan arus 470 A dan relai *trip* melalui *Aided Distance* dengan FCT 90 ms. PMT berhasil *reclose* setelah 2 detik sesuai *setting* TPAR.

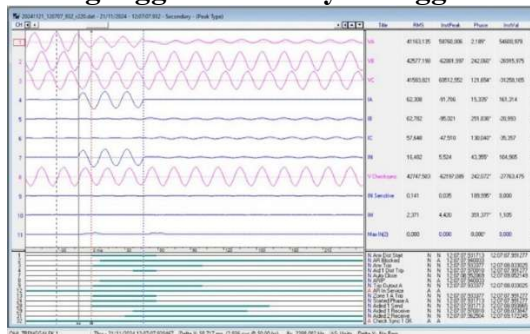
Kedua PMT sama-sama *trip* melalui kondisi *Aided Distance*. Kondisi tersebut terjadi ketika *Relay Distance* menerima perintah *trip* melalui teleproteksi dari relai yang mendeteksi gangguan Zone 1 lebih dekat di GI lawan. Indikasi *send dist* pada panel relai

ANALISIS AKTIVASI SINGLE POLE AUTO RECLOSE (SPAR) PEMUTUS TENAGA BAY PENGHANTAR PONOROGO 1 SEBAGAI PENINGKATAN KEANDALAN SISTEM TENAGA LISTRIK DI GARDU INDUK 70 KV TRENGGALEK

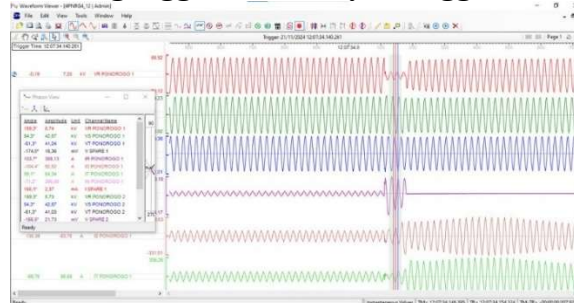
GI Ponorogo T/L Bay Trenggalek 1 dan 2 menunjukkan pengiriman sinyal teleproteksi ke PMT T/L Bay Ponorogo 1 dan 2 di GI Trenggalek melalui *Aided Distance*. Rekaman gangguan pada *Relay Distance* T/L Bay Trenggalek 1 dan 2 di GI Ponorogo ditunjukkan pada Gambar 12 dan Gambar 13.



Gambar 11. Rekaman gangguan T/L Bay Trenggalek 1 GI Ponorogo [10]



Gambar 12. Rekaman gangguan T/L Bay Trenggalek 2 GI Ponorogo [10]



Gambar 13. DFR Trenggalek-Ponorogo [10]

Berdasarkan Digital Fault Recorder (DFR) di GI Trenggalek, kronologi gangguan 21 November 2024 menunjukkan urutan kejadian sebagai berikut.

Tabel 5. Rekaman DFR saat gangguan 21 November 2024 [10]

Urutan	Waktu	Kejadian
1	12.07.34,146	Tegangan bus R-N menjadi 8 kV akibat <i>Trip</i> R-N Line Ponorogo#1
2	12.07.34,348	<i>Trip</i> Ponorogo#2 tiga fasa, tegangan bus R-N menjadi 33 kV
3	12.07.36,274	<i>Reclose</i> Line Ponorogo#1
4	12.07.37,276	<i>Reclose</i> Line Ponorogo#2

Data DFR memperlihatkan bahwa Line Ponorogo#1 melakukan *reclose* sekitar 2 detik setelah *trip*, sedangkan Line Ponorogo#2 melakukan *reclose* sekitar 3 detik setelah kejadian *trip*. Perbedaan respons tersebut berkaitan dengan penerapan SPAR pada Bay Ponorogo 1 dan TPAR pada Bay Ponorogo 2.

Dampak Reclose Satu Fasa (SPAR) terhadap Keandalan Sistem

Aktivasi SPAR pada PMT 70 kV Bay Ponorogo#1 GI Trenggalek berpengaruh terhadap kontinuitas penyaluran dan kestabilan sistem transmisi. Berdasarkan data DFR, Line Ponorogo#1 di GI Trenggalek dan Line Trenggalek#1 di GI Ponorogo melakukan *reclose* satu fasa pada fasa R. Tegangan pada fasa S dan T tetap stabil karena GI Trenggalek masih terhubung dengan Sub-Sistem (SS) Ponorogo. Ketergantungan GI Trenggalek terhadap suplai utama dari SS Ponorogo menjadikan kontinuitas SUTT 70 kV Trenggalek–Ponorogo penting, terutama saat terjadi gangguan 21 November 2024. Tanpa aktivasi SPAR, gangguan pada SUTT 70 kV Trenggalek–Ponorogo Line 1 akan dibebaskan melalui TPAR sehingga seluruh fasa pada penghantar sumber utama mengalami *clearance*. Kondisi tersebut, apabila tidak tersedia suplai cadangan dari PLTA Tulungagung, dapat menyebabkan GI Trenggalek kehilangan tegangan sesaat. Kondisi tersebut berpengaruh terhadap proses sinkron saat *reclose* karena persyaratan *reclose* satu fasa membutuhkan LBL dan DBL, yaitu kondisi line suplai utama masih bertegangan.

Tegangan sinkron yang melampaui batas *setting* dapat dianggap sebagai gangguan permanen dan menyebabkan gagal *reclose* pada PMT. Kegagalan *reclose* pada seluruh line suplai utama tanpa suplai cadangan dapat menyebabkan hilangnya tegangan di GI Trenggalek dan berpotensi memengaruhi GI PLTA Tulungagung yang terhubung secara radial. Aktivasi SPAR pada bay penghantar mengurangi potensi gangguan meluas dengan mempertahankan fasa yang tidak terganggu tetap terhubung ketika terjadi gangguan satu fasa ke tanah. SPAR tidak mengurangi peluang terjadinya gangguan, tetapi meminimalkan dampak gangguan meluas akibat gagal *reclose* atau hilang tegangan sesaat. Kondisi tersebut berkaitan dengan penilaian keandalan TLOF (*Transmission Line Outage Frequency*) dan TLOD (*Transmission Line Outage Duration*). TLOF menilai frekuensi gangguan atau hilang tegangan pada saluran transmisi atau bay penghantar, sedangkan TLOD menilai durasi gangguan. Aktivasi SPAR mengurangi potensi gagal *reclose*, mempersingkat durasi *reclose*, serta mempertahankan kontinuitas fasa yang tidak terganggu sehingga dapat mendukung peningkatan penilaian keandalan berdasarkan TLOF dan TLOD.

Aktivasi SPAR juga berpengaruh tidak langsung terhadap TROF (*Transformer Outage Frequency*) dan TROD (*Transformer Outage Duration*). TROF menilai frekuensi transformator mengalami gangguan atau tidak beroperasi, sedangkan TROD menilai durasi transformator tidak beroperasi akibat gangguan. Gangguan meluas yang menyebabkan hilang tegangan pada GI dapat membuat bay trafo mengalami *outage* karena kehilangan suplai. Implementasi SPAR pada bay penghantar menjadi salah satu upaya untuk menjaga keandalan dan kontinuitas penyaluran sistem transmisi.

4. KESIMPULAN

Aktivasi SPAR pada PMT bay penghantar memerlukan PMT dengan mekanisme *Single-Pole, resetting Auto Reclose*, dan *resetting konfigurasi breaker mode* pada *Relay Distance*. Konfigurasi SPAR dan TPAR yang aktif memberikan pilihan *reclose* satu fasa maupun tiga fasa sesuai jenis gangguan, sedangkan penerapan TPAR hanya memungkinkan *reclose* tiga fasa. Aktivasi SPAR terbukti mendukung kontinuitas penyaluran pada fasa yang tidak terganggu ketika terjadi gangguan satu fasa ke tanah pada bay penghantar. Penelitian berikutnya disarankan memperkaya data gangguan nyata di lapangan yang berkaitan dengan penerapan SPAR serta memperhatikan kondisi dan jenis peralatan, khususnya mekanisme PMT yang digunakan, karena masih terdapat PMT bermekanisme *Three-Pole* pada bay penghantar gardu induk.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Buku Keputusan Direksi PT. PLN (Persero) No. 0520-1.K/DIR/2014 Tentang Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga. Jakarta: PT. PLN (Persero).
- [2] Buku Jurnal Gangguan Gardu Induk 70 kV Trenggalek Tahun 2024: PT. PLN (Persero) Unit Induk Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali.
- [3] Dokumentasi pribadi
- [4] Buku Petunjuk Pengoperasian Peralatan Gardu Induk 70 kV Trenggalek Edisi 01 Revisi 02: PT. PLN (Persero) Unit Induk Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali.
- [5] Buku Keputusan Direksi PT. PLN (Persero) No. 0520-1.K/DIR/2014 Tentang Pedoman Pemeliharaan Proteksi dan Kontrol Penghantar. Jakarta: PT. PLN (Persero).
- [6] Berita Acara No. 01/MUPAT/GI TGLEK/VII/2023 tentang Penggantian PMT T/L Bay Ponorogo 1 GI Trenggalek. Trenggalek, 2023, PT PLN (Persero) ULTG Kediri.
- [7] Berita Acara No. 01/MUPAT/GI TGLEK/I/2024 tentang Penggantian PMT T/L Bay Ponorogo 2 GI Trenggalek. Trenggalek, 2024, PT PLN (Persero) ULTG Kediri.
- [8] Berita Acara Aktivasi Single Pole T/L Bay Ponorogo 1 GI Trenggalek. Trenggalek, 2024, PT PLN (Persero) ULTG Kediri.
- [9] Berita Acara Aktivasi Single Pole T/L Bay Ponorogo 2 GI Trenggalek. Trenggalek, 2024, PT PLN (Persero) ULTG Kediri.
- [10] Berita Acara Investigasi Gangguan T/L Bay 70kV Trenggalek-Ponorogo #1&2 Tanggal 21 November 2024.