

Peran Keandalan Sistem Proteksi Sebagai Strategi Optimalisasi Distribusi Listrik Pada Jaringan Tegangan Menengah

Dendi Agustian^{1,*}, Jahra Damayanti¹, Melti Septiani¹, Anissa Nurul Pratiwi¹, Putri Khaerunnisa¹, Aan Sumiyati¹, M. Zaiz Saepullah¹, I Kadek Dwi Adnyano¹, Gregorius Diera Arnandi Melkior¹, Jenal Hidayat¹, Sarnata¹, Didik Aribowo¹

¹ Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Pendidikan Vokasional Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Serang, Indonesia

Email: ^{1,*}2283220018@untirta.ac.id, ²2283220048@untirta.ac.id, ³2283220015@untirta.ac.id, ⁴2283220006@untirta.ac.id, ⁵2283220036@untirta.ac.id, ⁶2283220040@untirta.ac.id, ⁷2283220042@untirta.ac.id, ⁸2283220050@untirta.ac.id, ⁹2283220055@untirta.ac.id, ¹⁰2283220046@untirta.ac.id, ¹¹2283220053@untirta.ac.id, ¹²d_aribowo@untirta.ac.id, Email Penulis Korespondensi: 2283220018@untirta.ac.id

Abstrak—Keandalan sistem distribusi listrik sangat dipengaruhi oleh efektivitas sistem proteksi yang berfungsi untuk mendeteksi, mengisolasi, dan meminimalkan dampak gangguan pada jaringan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara keandalan sistem proteksi dan kinerja distribusi, serta mengidentifikasi strategi optimalisasi yang dapat diterapkan untuk meningkatkan kontinuitas pasokan listrik. Metode yang digunakan adalah studi pustaka dengan pendekatan deskriptif kualitatif berdasarkan analisis literatur dari jurnal ilmiah, standar teknis, dan laporan ketenagalistrikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa koordinasi antar perangkat proteksi seperti *recloser* dan *circuit breaker*, pemanfaatan perangkat berbasis *Intelligent Electronic Device* (IED), serta evaluasi dan pemeliharaan rutin merupakan faktor utama dalam meningkatkan keandalan sistem distribusi. Studi kasus dari berbagai literatur memperkuat temuan bahwa sistem proteksi yang terintegrasi dan modern mampu menurunkan durasi gangguan serta meningkatkan indeks keandalan (SAIDI dan SAIFI) secara signifikan.

Kata Kunci: Sistem Proteksi; Keandalan Distribusi; Optimalisasi; Jaringan Tegangan Menengah.

1. PENDAHULUAN

Di era globalisasi saat ini, penggunaan listrik telah menjadi bagian penting dalam kehidupan manusia. Sejak listrik ditemukan, berbagai aspek kehidupan berkembang pesat karena kemudahannya yang diberikannya. Penyaluran tenaga listrik terdiri dari tiga sistem utama, yaitu sistem pembangkit, sistem transmisi, dan sistem distribusi (Silalahi et al., 2022). Agar penyaluran listrik ke konsumen berjalan optimal, diperlukan sistem proteksi yang efektif untuk menjaga sistem distribusi dari gangguan. Permintaan energi listrik yang terus bertambah menimbulkan tantangan bagi jaringan distribusi, termasuk risiko kerusakan komponen dan gangguan pada Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 kV (Agustian & Aribowo, 2024).

Salah satu masalah utama dalam sistem distribusi listrik adalah seringnya terjadi gangguan teknis seperti hubungan pendek (Hermawan et al., 2024). Menurut SPLN 52-3:1983, gangguan yang sering muncul pada jalur distribusi meliputi arus dan tegangan yang tidak stabil, pengaturan yang kurang tepat, peralatan yang sudah tua, serta beban yang berlebihan. Sistem proteksi memegang peranan penting untuk menjaga kelangsungan operasional sistem distribusi listrik. Selain itu, keberadaan sistem proteksi juga berfungsi untuk melindungi perangkat di sekitarnya agar terhindar dari kerusakan akibat gangguan yang bisa terjadi kapan saja. Gangguan tersebut dapat menyebabkan terhentinya penyaluran listrik ke konsumen serta merusak peralatan listrik yang terpasang.

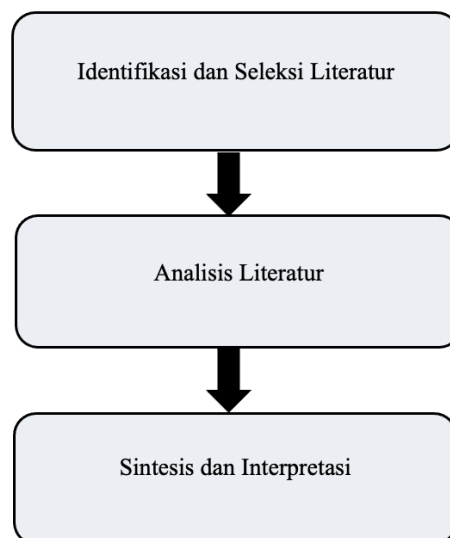
Dalam sistem distribusi tenaga listrik, khususnya pada jaringan tegangan menengah (20 kV), keandalan pasokan listrik merupakan faktor utama yang harus dijaga agar pelayanan kepada pelanggan tetap optimal (Sucita et al., 2024). Kebutuhan energi listrik yang terus meningkat seiring pertumbuhan populasi dan perkembangan teknologi menuntut sistem distribusi yang handal dan efisien. Keandalan ini tidak hanya bergantung pada peralatan dan infrastruktur, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh performa sistem proteksi listrik. Sistem proteksi berfungsi sebagai garis pertahanan utama dalam mendeteksi dan mengisolasi gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi listrik. Dengan sistem proteksi yang handal, gangguan dapat segera ditangani sehingga meminimalisasi durasi dan *frekuensi* pemadaman listrik (yang diukur melalui indeks SAIDI, SAIFI, dan CAIDI). Dengan demikian, sistem proteksi yang optimal akan berkontribusi langsung terhadap peningkatan keandalan distribusi dan kualitas layanan listrik kepada konsumen.

Penelitian di beberapa ULP seperti Serang, Bangkir, dan Pelabuhan Ratu menunjukkan bahwa koordinasi sistem proteksi yang baik sangat berperan dalam menekan *frekuensi* gangguan dan durasi pemadaman pada jaringan tegangan menengah 20 kV, meskipun masih terdapat tantangan untuk memenuhi standar keandalan nasional dan internasional. Di ULP Serang, pemeliharaan jaringan melalui metode *Right of Way* (ROW) dengan pemangkasan dan penebangan pohon berhasil mengurangi gangguan akibat kontak *vegetasi*, mendukung keandalan proteksi dalam mengisolasi gangguan secara cepat (Agustian & Aribowo, 2024). Sementara itu, data dari ULP Bangkir memperlihatkan nilai SAIDI dan SAIFI yang melebihi standar SPLN 68-2:1986, mengindikasikan bahwa koordinasi proteksi belum optimal sehingga gangguan berdampak luas dan lama (Mohamad et al., 2023). Di ULP Pelabuhan Ratu, meskipun CAIDI masih dalam batas diterima, nilai SAIFI dan SAIDI yang tinggi mengungkapkan perlunya peningkatan pengaturan proteksi dan pemeliharaan jaringan, terutama untuk mengatasi gangguan akibat faktor eksternal seperti cuaca dan pohon tumbang yang mendominasi penyebab gangguan (Sucita et al., 2024).

Berdasarkan beberapa penelitian telah membahas peran sistem proteksi dalam menjaga keandalan jaringan distribusi listrik tegangan menengah, ditemukan bahwa masih adanya kekurangan dalam pengintegrasian analisis keandalan sistem proteksi dengan faktor pemeliharaan jaringan dan kondisi lingkungan yang kompleks. Berbagai penelitian tersebut belum banyak mengkaji secara komprehensif strategi optimalisasi proteksi yang disesuaikan dengan karakteristik geografis dan beban listrik di Indonesia. Sehingga, penelitian ini bertujuan memberikan rekomendasi strategi proteksi yang lebih efektif dalam meningkatkan keandalan distribusi listrik, menekan *frekuensi* gangguan dan durasi pemadaman, serta mendukung pencapaian standar keandalan nasional dan internasional. Penelitian ini penting untuk memberikan dasar teoretis dan praktis yang kuat bagi pengelola jaringan dalam mengoptimalkan sistem proteksi, sehingga pelayanan listrik dapat berjalan lebih handal dan berkelanjutan di tengah meningkatnya permintaan energi.

2. METODE PENELITIAN

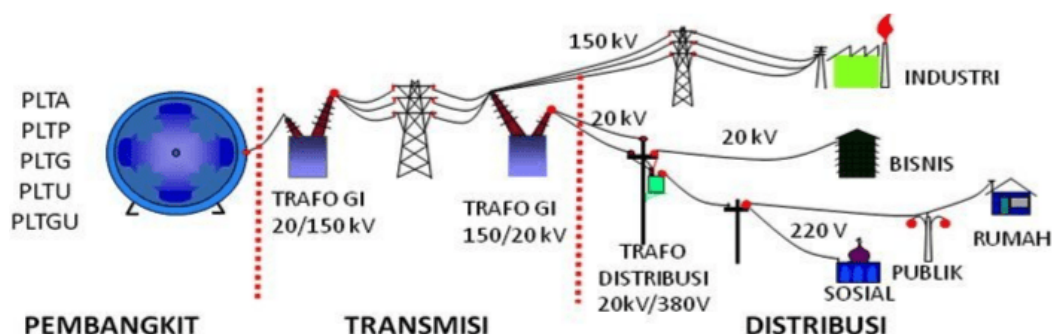
Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dengan metode studi pustaka (*library research*) sebagai dasar utama pengumpulan data dan analisis. Pendekatan ini dipilih untuk menggambarkan secara sistematis hubungan antara keandalan sistem proteksi dan kinerja distribusi jaringan listrik, serta strategi optimalisasi yang dapat dilakukan berdasarkan temuan dari berbagai studi terdahulu. Data yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari literatur sekunder yang relevan, termasuk jurnal ilmiah, laporan teknis dari PLN, prosiding konferensi ketenagalistrikan, dan standar teknis PUIL (Persyaratan Umum Instalasi Listrik). Literatur-literatur ini dipilih berdasarkan kriteria relevansi, kredibilitas sumber, dan keterbaruan informasi dalam konteks sistem proteksi jaringan distribusi tegangan menengah.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Prosedur penelitian ini mencakup tiga tahapan utama. Pertama, dilakukan identifikasi dan seleksi literatur yang relevan mengenai sistem proteksi dan kinerja distribusi, yang diperoleh dari database seperti Google Scholar, dan sumber internal PLN. Kedua, informasi dari literatur dianalisis untuk menelusuri hubungan antara variabel-variabel seperti selektivitas proteksi, koordinasi perangkat, durasi gangguan, serta indeks keandalan SAIDI dan SAIFI. Ketiga, hasil analisis disintesis guna menarik kesimpulan mengenai praktik terbaik sistem proteksi dan pengaruhnya terhadap kinerja distribusi, didukung oleh studi kasus yang relevan dari literatur.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 2. Alur Sistem Distribusi Listrik

3.1 Sistem Distribusi Listrik Tegangan Menengah

Sistem distribusi tenaga listrik adalah tahapan akhir dalam penyaluran energi listrik dari jaringan transmisi ke pengguna akhir. Sistem ini berfungsi untuk menyalurkan listrik yang telah diturunkan tegangannya melalui trafo di gardu distribusi, sehingga aman dan sesuai untuk digunakan oleh konsumen (Febrianingrum & Pramono, 2022). Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit dengan tegangan antara 11 kV hingga 24 kV dinaikkan tegangannya di Gardu Induk (GI) menggunakan transformator menjadi tegangan yang lebih tinggi, seperti 70 kV, 154 kV, 220 kV, atau 500 kV. Peningkatan tegangan ini bertujuan untuk mengurangi kerugian daya selama proses transmisi, karena kerugian tersebut berbanding lurus dengan kuadrat arus yang mengalir.

Jaringan distribusi tenaga listrik secara umum terbagi menjadi dua bagian utama, yaitu distribusi primer dan distribusi sekunder. Distribusi primer merupakan jaringan distribusi yang beroperasi pada tegangan menengah sekitar 20 kV. Jaringan ini berfungsi sebagai penyulang utama yang mengalirkan daya listrik dari sisi sekunder trafo daya di gardu induk hingga ke sisi primer trafo distribusi yang biasanya terpasang pada tiang saluran. Sementara itu, distribusi sekunder adalah jaringan listrik dengan tegangan rendah, yaitu 380/220 volt, yang berperan dalam menyalurkan energi listrik dari sisi sekunder trafo distribusi hingga mencapai alat ukur listrik (KWh meter) di tempat pelanggan. Pembagian ini bertujuan untuk memastikan aliran daya listrik dapat didistribusikan secara efisien dan aman hingga ke pengguna akhir (Paminto & Kiswantonono, 2021).

3.2 Sistem Proteksi pada Jaringan Distribusi

Sistem proteksi merupakan rangkaian perangkat pengaman yang terdiri dari komponen utama beserta perangkat pendukung lainnya, yang bekerja berdasarkan prinsip proteksi tertentu. Sistem ini dirancang untuk melindungi sistem tenaga listrik dari gangguan serta mengatasi kondisi abnormal yang terjadi. Fungsi utama sistem proteksi adalah mengaktifkan perlindungan saat terjadi kegagalan pada area yang ingin diamankan (Ibrahmusa et al., 2023).

Persyaratan sistem proteksi dalam perencanaan dan penggunaan komponen-komponen sistem proteksi, untuk mendapatkan suatu sistem proteksi yang baik diperlukan persyaratan-persyaratan sebagai berikut: kepekaan (*sensitivity*), keandalan (*Reability*), kecepatan (*Speed*), selektif (*Selective*), Ekonomis (Multi & Addaus, 2022).

3.3 Jenis Proteksi pada Jaringan Distribusi

a. Fuse Cut Out (FCO)



Gambar 3. Fuse Cut Out

Fuse Cut Out merupakan perangkat pengaman yang berfungsi melindungi jaringan listrik dari arus berlebih (*overload*) yang melebihi batas maksimal, baik akibat hubung singkat (*short circuit*) maupun beban lebih. Alat ini hanya mampu memutuskan satu saluran kawat dalam satu unit. Jika diperlukan pemutusan pada tiga fasa, maka dibutuhkan tiga unit *Fuse Cut Out* (Agustian et al., 2024).

b. Arrester



Gambar 4. Arrester

Arrester, atau yang dikenal juga sebagai penangkal petir, merupakan perangkat pelindung yang digunakan pada sistem tenaga listrik untuk mengamankan peralatan dari gangguan surja petir (tegangan lebih sesaat). Alat ini berfungsi

dengan membatasi lonjakan tegangan yang terjadi akibat sambaran petir dan menyalurkannya langsung ke tanah, sehingga mencegah kerusakan pada peralatan listrik (Manihuruk & Sitanggang, 2021).

c. *Recloser*



Gambar 5. Recloser

Recloser merupakan suatu perangkat listrik yang terdiri dari pemutus daya yang terintegrasi dengan kotak kontrol elektronik (*Electronic Control Box*). Kotak kontrol ini adalah perangkat elektronik yang menjadi bagian dari sistem *recloser* namun tidak terhubung langsung dengan tegangan menengah. Melalui kotak kontrol ini, proses pelepasan *recloser* dapat dikendalikan, dan pengaturan (*setting*) operasional *recloser* dapat diatur sesuai kebutuhan (Kusuma et al., 2021).

d. *Sectionalizer - Load Break Switch (LBS) Motorized*



Gambar 6. Sectionalizer-Load Break Switch (LBS) Motorized

Sectionalizer adalah peralatan proteksi dalam sistem distribusi listrik yang berfungsi untuk memisahkan atau membagi jaringan listrik ke dalam beberapa bagian (*section*) secara otomatis ketika terjadi gangguan, seperti hubung singkat (*short circuit*) atau gangguan beban lebih (*overload*). *Load Break Switch Motorized* merupakan jenis saklar pemutus arus tiga fasa yang dipasang di luar jaringan, khususnya pada tiang pancang, dan dioperasikan secara elektronik. Saklar ini dirancang untuk dipasang di atas tiang pancang dan telah dioptimalkan dengan sistem otomatisasi. Alat ini juga berfungsi sebagai sistem pemutus beban berbasis teknologi vakum yang terisolasi menggunakan gas SF₆ di dalam tangki baja tahan karat yang tertutup rapat (Jackson et al., 2021).

e. *Circuit Breaker Out (CBO)*



Gambar 7. Circuit Breaker Out (CBO)

Optimalisasi distribusi tenaga listrik memerlukan adanya sistem proteksi pada jaringan distribusi. Salah satu perangkat yang digunakan adalah kubikel CBO (*Circuit Breaker Outgoing*), yang pada dasarnya serupa dengan

kubikel 20 kV pada umumnya. Perbedaannya terletak pada penambahan beberapa perangkat di sisi keluaran, yaitu pemutus arus (PMT), trafo arus (CT), trafo tegangan (PT), serta *relay*. Kubikel CBO dipasang di gardu distribusi dengan tujuan untuk mengurangi gangguan pada saluran keluar (*feeder*). Ketika terjadi gangguan, sistem proteksi pada gardu induk akan berfungsi untuk memutus aliran listrik dan mengisolasi area yang terdampak, sehingga gangguan tidak menyebar lebih luas (Setyanto & Saragih, 2023).

3.4 Hubungan antara Keandalan Sistem Proteksi dan Kinerja Distribusi

Sistem proteksi memiliki berbagai manfaat penting dalam menjaga keandalan dan keselamatan sistem tenaga listrik. Salah satu manfaat utamanya adalah untuk mencegah atau meminimalkan kerusakan pada peralatan akibat gangguan atau kondisi operasi yang tidak normal. Semakin cepat perangkat proteksi merespons gangguan, semakin kecil risiko kerusakan pada peralatan. Selain itu, sistem proteksi juga berfungsi untuk membatasi pengaruh gangguan agar tidak menjalar ke bagian sistem lain yang tidak terdampak, serta mencegah meluasnya kerusakan. Proteksi yang handal dapat dengan cepat mengisolasi area yang mengalami gangguan agar tetap terbatas dalam cakupan sekecil mungkin. Hal ini turut mendukung penyediaan layanan listrik yang andal dan berkualitas bagi konsumen. Tidak kalah penting, sistem proteksi juga berperan dalam melindungi keselamatan manusia dari potensi bahaya yang ditimbulkan oleh listrik (Fauziah & Irwanto, 2022).

Prinsip kerja sistem proteksi yang handal adalah kemampuan selektivitas dan koordinasi waktu, sehingga hanya bagian jaringan yang bermasalah yang diputus sambungannya. Hal ini mencegah terjadinya pemadaman meluas yang dapat mengganggu stabilitas distribusi secara keseluruhan. Lebih lanjut, sistem proteksi yang memiliki tingkat keandalan tinggi juga berperan penting dalam proses pemulihan pasokan listrik pasca gangguan. Dengan isolasi gangguan yang cepat dan tepat, waktu pemadaman dapat diminimalisir sehingga meningkatkan kinerja distribusi listrik dan meminimalkan kerugian sosial serta ekonomi.

3.5 Strategi Optimalisasi Melalui Sistem Proteksi

Optimalisasi kinerja sistem proteksi dapat dilakukan melalui beberapa strategi yang terintegrasi.

- Koordinasi *setting* antar perangkat proteksi seperti *recloser* dan *circuit breaker* (CB) harus dilakukan secara cermat. Koordinasi ini mencakup pengaturan waktu operasi dan tingkat sensitivitas perangkat proteksi agar mekanisme isolasi gangguan berjalan berurutan dan tidak tumpang tindih. Dengan koordinasi yang optimal, sistem dapat mengidentifikasi lokasi gangguan secara spesifik dan melakukan pemutusan arus hanya pada bagian yang bermasalah, sehingga meminimalisir dampak terhadap jaringan distribusi lainnya (Hermawan et al., 2024).
- Perkembangan pemanfaatan teknologi informasi dalam sektor ketenagalistrikan mendorong adanya perkembangan teknologi. *Intelligent Electronic Device* (IED) merupakan bagian dari *bay level* dalam arsitektur digital substation, digunakan untuk berbagai fungsi seperti proteksi, kontrol, pengukuran, dan otomatisasi. Manfaat Penggunaan IED untuk mengurangi jumlah kabel tembaga, karena data dikirim secara digital, mempercepat proses instalasi dan pengujian, karena IED dapat di *plug and play* ke jaringan Ethernet, memungkinkan pemeliharaan berbasis kondisi (*Condition-Based Maintenance*) dan pemantauan *real-time* dan meningkatkan fleksibilitas distribusi data dan penempatan peralatan (Habibie et al., 2021).
- Evaluasi berkala dan pemeliharaan rutin terhadap perangkat proteksi merupakan upaya *preventif* yang tidak kalah penting. Kondisi fisik dan fungsi perangkat proteksi dapat menurun seiring waktu akibat faktor lingkungan dan pemakaian. Oleh karena itu, inspeksi, kalibrasi, dan pengujian berkala harus dilakukan untuk memastikan performa proteksi tetap optimal. Proses pemeliharaan yang sistematis dapat mendeteksi dini potensi kerusakan atau degradasi fungsi proteksi, sehingga menghindari kegagalan proteksi yang dapat berakibat fatal terhadap sistem distribusi.

3.6 Studi Kasus Keandalan Sistem Proteksi Sebagai Strategi Optimalisasi Distribusi Listrik

Analisis studi kasus yang telah dipublikasikan memberikan gambaran konkret tentang efektivitas sistem proteksi dalam meningkatkan kinerja distribusi listrik. Sebagai contoh, penelitian pada sistem distribusi 20 kV di Gardu Induk Bojonegoro oleh Prastyo & Wati (2024) menunjukkan bahwa penerapan koordinasi proteksi antara *Over Current Relay* (OCR) dan *recloser* berhasil meningkatkan selektivitas dan kecepatan respon terhadap gangguan. Setelah dilakukan pengaturan ulang nilai *Time Multiplier Setting* (TMS) berdasarkan hasil perhitungan dan simulasi, sistem proteksi mampu mengisolasi gangguan secara tepat tanpa memutus pasokan ke beban lain yang tidak terdampak. Setting waktu dan arus yang telah dioptimalkan membuat koordinasi proteksi bekerja lebih andal dalam menjaga kontinuitas pasokan listrik.

Studi lain yang dilakukan di lingkungan distribusi industri (Wijaya & Hadi, 2020) melaporkan bahwa implementasi proteksi digital berbasis IED mampu meningkatkan sensitivitas dan akurasi deteksi gangguan. Hal ini berkontribusi pada pengurangan jumlah pemadaman tidak terencana sebesar 25% dalam periode satu tahun. Keunggulan sistem proteksi digital juga ditunjukkan dalam kemampuannya untuk melakukan diagnosa kondisi jaringan *secara real-time* yang memudahkan proses *troubleshooting*.

Selain itu, laporan distribusi PLN (2022) menegaskan pentingnya pemeliharaan rutin dalam menjaga keandalan sistem proteksi. Data menunjukkan bahwa feeder dengan jadwal pemeliharaan proteksi teratur memiliki indeks keandalan (SAIDI dan SAIFI) yang lebih baik dibandingkan *feeder* tanpa pemeliharaan terencana. Proses evaluasi berkala memastikan bahwa perangkat proteksi bekerja sesuai standar dan mampu merespon gangguan secara efektif sehingga meningkatkan kinerja keseluruhan distribusi listrik.

4. KESIMPULAN

Sistem proteksi memiliki peran yang sangat vital dalam menjaga keandalan dan stabilitas jaringan distribusi tenaga listrik. Keandalan sistem ini secara langsung memengaruhi kontinuitas pasokan listrik kepada konsumen, di mana kemampuan mendeteksi, mengisolasi, dan memulihkan gangguan secara cepat merupakan kunci utama dalam meningkatkan kinerja distribusi. Strategi optimalisasi proteksi, seperti koordinasi setting antara *recloser* dan *circuit breaker*, pemanfaatan teknologi proteksi berbasis digital (IED), serta evaluasi dan pemeliharaan berkala, terbukti mampu meningkatkan selektivitas dan responsivitas sistem. Studi kasus dari literatur mendukung temuan ini, dengan menunjukkan penurunan durasi gangguan dan *frekuensi* pemadaman akibat penerapan sistem proteksi yang efektif dan terintegrasi. Oleh karena itu, penguatan sistem proteksi melalui pendekatan teknologi dan manajerial merupakan langkah strategis dalam mewujudkan jaringan distribusi yang andal dan efisien.

REFERENCES

- Agustian, D., & Aribowo, D. (2024). Pemeliharaan Jaringan Distribusi Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 KV Dengan Metode *Right Of Way (ROW)* Di PT PLN (Persero) Ulp Serang. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 12(3S1). <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i3S1.5413>
- Agustian, D., Septiani, M., Romdoni, S., Muslim, A. B., Anzhari, H., & Aribowo, D. (2024). Analisis Penggantian Fuse Cut Out (FCO) pada Jaringan Distribusi 20 KV di PT. PLN (PERSERO) UP3 Cikupa. *Journal of Electrical Power Control and Automation*, 7(2), 39–43. <https://doi.org/10.33087/jepca.v7i2.125>
- Fauziyah, E., & Irwanto, I. (2022). Analisis Sistem Proteksi Generator Menggunakan *Over Current Relay* Di Pt. Indonesia Power. *D'compute: Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 12(2). <https://doi.org/10.30605/dcompute.v12i2.46>
- Febrianingrum, A. L., & Pramono, S. (2022). SAIFI untuk Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik pada Jaringan Transmisi Menengah 20 KV. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 21(1), 1. <https://doi.org/10.24843/mite.2022.v21i01.p01>
- Habibie, A. S., Ridwan, M., Pramana, P. A. A., Harsono, B. B. S. D. A., & Al Manshury, M. S. (2021). Evaluasi Penerapan Teknologi Digital Substation Di Indonesia. *Jurnal Technopreneur (JTech)*, 9(1), 38–45. <https://doi.org/10.30869/jtech.v9i1.725>
- Hermawan, S. L., Hermawan, H. R. N., Harijanto, P. S., & Hermawan, A. (2024). Evaluasi Kinerja Sistem Proteksi Penyulang Trawas PT. PLN (PERSERO) ULP Pandaan. *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, 11(2), 122–127. <https://doi.org/10.33795/elposys.v11i2.5249>
- Ibrahmusa, G. A., Joko, J., Wrahatnolo, T., & Agung, A. I. (2023). Analisis Koordinasi Setting Relay Proteksi Pada Jaringan Distribusi 20KV Penyulang Brenggolo Di PT.PLN UP3 Kediri Gardu Induk Pare. *JURNAL TEKNIK ELEKTRO*, 12(1), 28–36. <https://doi.org/https://doi.org/10.26740/jte.v12n1.p28-36>
- Jeckson, J., Hamimi, H., & Prawira, A. A. (2021). Optimalisasi *Load Break Switch Motorized* Menggunakan Fungsi *Sectionalizer* Berbasis Scada pada Penyulang Bacan ULP Pulung Kencana. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 2(1), 14–22. <https://doi.org/10.36269/jtr.v2i1.399>
- Kusuma, W., Hermawan, A., Rahma, A. N., Rifqi, M. I., Duanaputri, R., & Duanaputri, R. (2021). Analisis Perencanaan Pemasangan *Recloser* pada Penyulang untuk Meminimalisir Pemadaman. *ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan*, 8(3), 76–80. <https://doi.org/10.33795/elposys.v8i3.83>
- Manihuruk, J., & Sitanggang, N. L. (2021). Studi Kemampuan Arrester Untuk Pengaman Transformator Pada Gardu Induk Tanjung Morawa 150 KV. *Telecommunications & Control System-ELPOTECs Jurnal ELPOTECs*, 4(1).
- Mohamad, Y., Nirmalasari, N., & Yusuf, T. I. (2023). Analisis Nilai Indeks Keandalan Sistem Distribusi Primer PT.PLN (Persero) ULP Bangkir. *JEECOM Journal of Electrical Engineering and Computer*, 5(2), 268–277. <https://doi.org/10.33650/jeecom.v5i2.6898>
- Multi, A., & Addaus, T. (2022). Analisa Proteksi *Over Current Relay (Ocr)* Dan *Ground Fault Relay (Gfr)* Pada Transformator Daya Gardu Induk. *Sainstech: Jurnal Penelitian Dan Pengkajian Sains Dan Teknologi*, 32(1), 1–8. <https://doi.org/10.37277/stch.v32i1.1215>
- Paminto, H. D., & Kiswanto, A. (2021). Rancang Simulasi Sistem *Over Current Relay* Pada Jaringan Distribusi 20kv Menggunakan Etap. *Aisyah Journal of Informatics and Electrical Engineering*, 3(1), 45–49.
- Prastyo, A., & Wati, T. (2024). Analisa Koordinasi Relay Proteksi OCR dan *Recloser* Pada Sistem Distribusi 20kV. *Seminar Nasional Teknik Elektro, Sistem Informasi, Dan Teknik Informatika*, 16–24.
- Setyanto, M. R., & Saragih, Y. (2023). Gangguan Penyulang Akibat Kegagalan Proteksi di *Circuit Breaker* Output Pelanggan Pada Gardu Distribusi MP 244. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 22(1), 111. <https://doi.org/10.24843/mite.2023.v22i01.p14>
- Silalahi, S. A. A., Arsyad, I., & Fitriah, F. (2022). Studi Pengembangan Jaringan Distribusi Guna Memenuhi Kebutuhan Energi Listrik Di Kawasan Kijing. *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology (J3EIT)*, 10(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.26418/j3eit.v10i2.57250>
- Sucita, T., Somantri, M., Fahrizal, D., & Agista, M. (2024). Analisis Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik 20 kV pada Penyulang CWRU. *Jurnal Nasional Teknik Elektro Dan Teknologi Informasi*, 13(4), 282–289. <https://doi.org/10.22146/jnteti.v13i4.12510>