



Evaluasi Efisiensi Sistem Proteksi pada Jaringan Distribusi Tegangan Menengah

Siti Khodijah¹, Nur Syifa' u Sitha^{2*}

^{1,2}Sains Komputasi dan Kecerdasan Digital, Teknologi Informasi, Universitas Pembangunan Panca Budi, Medan, Indonesia

Author(s) Email: ¹sitikhodija31@gmail.com, ²nursyifausitha@gmail.com

INFORMASI ARTIKEL

Article history:

Diterima: 30 Mei 2025

Direvisi: 30 Mei 2025

Disetujui: 30 Mei 2025

Diterbitkan: 30 Mei 2025

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi sistem proteksi pada jaringan distribusi tegangan menengah sebagai upaya meningkatkan keandalan dan kontinuitas pelayanan energi listrik. Sistem distribusi tegangan menengah merupakan bagian penting dari penyaluran daya yang sangat rentan terhadap gangguan, seperti hubung singkat, beban lebih, serta kerusakan peralatan. Oleh karena itu, efektivitas perangkat proteksi seperti recloser, sectionalizer, fuse cut-out, dan relay proteksi harus dianalisis untuk memastikan waktu pemutusan yang tepat, koordinasi yang optimal, serta minimnya area pemadaman. Penelitian ini menggunakan metode analisis data gangguan historis, studi koordinasi proteksi, serta evaluasi kinerja peralatan berdasarkan standar IEEE dan SPLN. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa masih terdapat ketidaksesuaian dalam pengaturan koordinasi antar perangkat proteksi yang menyebabkan seringnya trip tidak selektif serta meningkatnya indeks SAIDI dan SAIFI. Temuan ini menjadi dasar untuk memberikan rekomendasi peningkatan, seperti optimalisasi setting relay, penambahan peralatan otomatis, serta perbaikan sistem grounding. Dengan perbaikan tersebut, efisiensi sistem proteksi dapat ditingkatkan sehingga jaringan distribusi tegangan menengah mampu beroperasi lebih andal, efisien, dan responsif terhadap gangguan.

Kata Kunci:

Sistem Proteksi, Distribusi Tegangan Menengah, Efisiensi, Relay Proteksi, Keandalan Jaringan.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the efficiency of protection systems in medium-voltage distribution networks to enhance the reliability and continuity of electrical energy delivery. Medium-voltage distribution systems are critical components of power delivery and are highly susceptible to various disturbances such as short circuits, overloads, and equipment failures. Therefore, the effectiveness of protection devices—including reclosers, sectionalizers, fuse cut-outs, and protection relays—needs to be analyzed to ensure accurate fault clearing times, optimal coordination, and minimal outage areas. The research employs an analysis of historical disturbance data, protection coordination studies, and equipment performance evaluation based on IEEE and national standards. The findings indicate that several protection devices still exhibit poor coordination settings, resulting in frequent non-selective tripping and increased SAIDI and SAIFI indices. These results provide the foundation

for recommending improvements such as relay setting optimization, installation of additional automated devices, and enhancements to grounding systems. Through these recommendations, the efficiency of the protection system can be significantly improved, allowing medium-voltage distribution networks to operate with higher reliability, better efficiency, and a more responsive fault-clearing mechanism.

Keywords:

Protection System, Medium-Voltage Distribution, Efficiency, Protection Relay, Network Reliability.

Corresponding Author:

Nur Syifa'u Sitha,

Sains Komputasi dan Kecerdasan Digital, Teknologi Informasi, Universitas Pembangunan Panca Budi, Medan, Indonesia

Email: nursyifausitha@gmail.com

Copyright © 2025 The Author(s). Published by Raskha Media Group.
This is an open-access article under the CC BY-SA license
(<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).



1. PENDAHULUAN

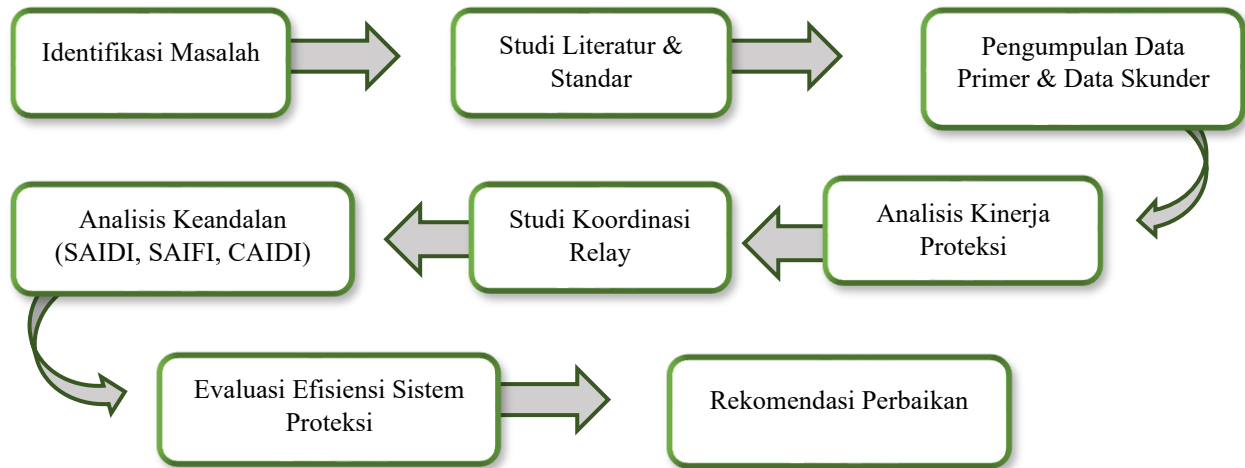
Jaringan distribusi tegangan menengah (JDTM) merupakan komponen penting dalam sistem kelistrikan yang bertanggung jawab untuk menyalurkan energi dari gardu induk ke konsumen. Dalam konteks ini, keandalan dan kualitas penyaluran energi adalah fokus utama untuk memenuhi harapan pelanggan dan mendukung pertumbuhan industri serta kebutuhan masyarakat [1], [2]. Kualitas sistem proteksi dalam jaringan distribusi menengah berperan penting dalam mengidentifikasi dan mengisolasi gangguan untuk mencegah dampak lebih lanjut pada seluruh sistem [3]. Dengan meningkatnya permintaan energi listrik, JDTM menghadapi tantangan untuk beroperasi dengan efisiensi tinggi dan keandalan maksimum, di samping respons cepat terhadap gangguan yang terjadi [2], [4]. Sistem proteksi pada JDTM dirancang untuk melindungi infrastruktur dan perangkat dari berbagai gangguan, seperti arus lebih, hubung singkat, dan kerusakan akibat pemasangan yang tidak memadai [3], [4]. Perangkat proteksi, termasuk recloser, sectionalizer, dan relay proteksi, harus dikoordinasikan secara efektif untuk memastikan hanya bagian jaringan yang terganggu yang terputus, sehingga mengurangi gangguan layanan bagi pelanggan secara keseluruhan [5], [6]. Namun, banyak tantangan yang dihadapi, seperti kesalahan koordinasi antar perangkat yang dapat menyebabkan pemutusan yang tidak selektif. Hal ini tercermin pada kenaikan indeks keandalan, seperti SAIDI dan SAIFI, serta menurunnya kualitas layanan, yang berdampak negatif pada kepuasan pelanggan [7], [8].

Perkembangan teknologi dalam sistem distribusi modern juga menuntut adanya inovasi dalam metode proteksi. Penggunaan perangkat proteksi cerdas yang dapat beradaptasi dengan kondisi jaringan diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan responsivitas sistem [9]. "Optimized protection coordination for 20 KV networks with DER: A case study in [10]. Namun, implementasinya di lapangan seringkali terhambat oleh berbagai faktor, seperti kurangnya pemeliharaan rutin dan pengaturan spesifikasi yang tidak sesuai [6]. Sosialisasi dan pelaksanaan pemeliharaan berkala sangat penting agar perangkat dapat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan standar yang ditetapkan [11], [12]. Evaluasi kinerja sistem proteksi dalam JDTM melibatkan analisis mendalam terhadap kinerja perangkat, pengukuran efektivitas penanganan gangguan, dan identifikasi serta pengelolaan titik-titik rawan gangguan berdasarkan standar internasional seperti IEEE dan SPLN (Luthfiyani et al., 2023; Raja et al., 2021)[12], [13]. Pendekatan ini tidak hanya memberikan gambaran tentang efektivitas sistem saat ini, tetapi juga mengidentifikasi area untuk perbaikan baik dari sisi teknis maupun manajerial [14], [15]. Dengan melakukan evaluasi yang sistematis, diharapkan dapat diimplementasikan solusi yang tepat untuk meningkatkan keandalan jaringan distribusi [16], [17].

Tantangan lain yang dihadapi termasuk kebutuhan akan pemeliharaan yang kurang memadai dan teknologi yang belum sepenuhnya diadopsi [18], [19]. Konsekuensi dari kurangnya perhatian terhadap pemeliharaan bisa sangat serius, termasuk peningkatan risiko gangguan yang dapat menyebabkan pemadaman luas dan kerugian finansial bagi semua pihak yang terlibat [20], [21]. Dengan meningkatnya kompleksitas jaringan distribusi dan jumlah pelanggan, perhatian yang lebih besar perlu diberikan kepada pemeliharaan berkala dan evaluasi sistem proteksi. Analisis terhadap JDTM menunjukkan bahwa investasi dalam perangkat proteksi yang lebih canggih dan rutinitas pemeliharaan yang baik dapat meningkatkan kinerja, meningkatkan kepuasan pelanggan, dan memastikan keberlanjutan bagi sistem kelistrikan. Kontribusi penelitian di bidang ini sangat penting, terutama ketika pertimbangan mengenai keuntungan jangka panjang dan efisiensi operasional harus diintegrasikan dalam setiap perencanaan dan evaluasi. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai efisiensi sistem proteksi pada jaringan distribusi tegangan menengah. Melalui pendekatan evaluatif yang tajam, diharapkan dapat dicapai peningkatan keandalan dan pengurangan pemadaman, yang pada gilirannya akan membawa dampak positif bagi masyarakat dan sektor industri secara keseluruhan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif evaluatif dengan tujuan menilai dan mengukur tingkat efisiensi sistem proteksi pada jaringan distribusi tegangan menengah berdasarkan kinerja perangkat proteksi, koordinasi antarperalatan, serta kemampuan sistem dalam merespons gangguan. Pendekatan ini dipilih karena mampu memberikan gambaran komprehensif melalui analisis data kuantitatif dan kualitatif yang diperoleh dari catatan gangguan, hasil pengukuran teknis, dan dokumen pengaturan proteks.



Gambar 1. Struktur Penelitian

2.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian kuantitatif dengan basis analisis teknis. Penelitian kuantitatif digunakan untuk mengevaluasi parameter teknis seperti arus gangguan, waktu operasi perangkat proteksi, persentase kegagalan, nilai SAIDI/SAIFI, serta koordinasi relay. Sementara itu, pendekatan teknis dilakukan untuk memahami bagaimana sistem proteksi berperan dalam menjaga keandalan jaringan distribusi tegangan menengah.

2.2 Sumber Data

Penelitian ini menggunakan dua jenis sumber data:

a. Data Primer

Data primer diperoleh melalui:

1. Pengamatan langsung di lapangan pada titik-titik lokasi pemasangan recloser, fuse cut-out, sectionalizer, serta relay proteksi.
2. Pengukuran arus gangguan, impedansi jaringan, dan kondisi teknis peralatan menggunakan alat pengukuran standar.
3. Wawancara teknis dengan staf operasional, teknisi proteksi, dan petugas pemeliharaan untuk memperoleh informasi mengenai pola gangguan serta tindakan proteksi.

b. Data Sekunder

Data sekunder meliputi:

1. Catatan historis gangguan (fault records) 3–5 tahun terakhir.
2. Dokumen pengaturan relay (relay setting sheet).
3. Single line diagram (SLD) sistem distribusi.
4. Standar referensi seperti IEEE 242, IEEE 485, SPLN, dan SOP perusahaan.

2.3 Teknik Pengumpulan Data

Beberapa teknik pengumpulan data digunakan untuk memastikan hasil penelitian valid dan representatif, yaitu:

- a. Observasi Lapangan untuk menilai kondisi fisik peralatan proteksi.
- b. Studi Dokumentasi, yaitu pengumpulan data-catatan trip, durasi pemadaman, serta setting relay.
- c. Simulasi dan Perhitungan, menggunakan software analisis proteksi (misalnya ETAP/Digsilent PowerFactory) untuk menganalisis koordinasi arus-waktu dan menentukan apakah perangkat proteksi bekerja secara selektif.
- d. Wawancara Terstruktur mengenai permasalahan operasional, riwayat kegagalan peralatan, dan efektivitas sistem pemeliharaan.

2.3 Teknik Analisis Data

a. Analisis Kinerja Peralatan Proteksi

Analisis ini meliputi:

1. Waktu operasi (operating time)

2. Tingkat kegagalan perangkat (failure rate)
3. Evaluasi respons recloser, sectionalizer, dan relay
4. Efektivitas pengamanan terhadap gangguan temporer dan permanen

Data dianalisis dengan membandingkan nilai aktual dengan standar yang berlaku.

b. Studi Koordinasi Proteksi (Protection Coordination Study)

Analisis koordinasi dilakukan menggunakan Time Current Characteristic (TCC) untuk melihat kesesuaian setting antarperalatan. Tahapan analisis meliputi:

1. Menghitung arus gangguan 3 fasa dan gangguan tanah
2. Memetakan kurva karakteristik relay
3. Menganalisis apakah perangkat proteksi bekerja secara selektif
4. Mengidentifikasi over-tripping dan under-tripping

c. Analisis Keandalan Sistem (Reliability Analysis)

Parameter SAIDI, SAIFI, CAIDI dievaluasi untuk mengukur dampak gangguan terhadap pelanggan. Nilai ini dibandingkan dengan standar keandalan perusahaan dan regulasi jaringan.

d. Evaluasi Efisiensi Sistem Proteksi

Efisiensi ditentukan berdasarkan indikator:

1. Reduksi durasi dan frekuensi pemadaman
2. Kecepatan respon perangkat proteksi
3. Tingkat koordinasi proteksi
4. Kesesuaian pengaturan relay
5. Kesiapan peralatan terhadap gangguan aktual

Hasil evaluasi menjadi dasar untuk rekomendasi perbaikan sistem.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efisiensi sistem proteksi pada jaringan distribusi tegangan menengah melalui analisis kinerja perangkat proteksi, efektivitas koordinasi antarperalatan, serta dampaknya terhadap keandalan layanan listrik. Hasil penelitian diperoleh dari kombinasi data primer dan data sekunder, meliputi data gangguan historis, catatan operasi recloser dan relay, pengukuran arus gangguan, serta analisis selektivitas proteksi menggunakan perangkat lunak analisis sistem tenaga. Bagian ini memaparkan hasil evaluasi secara komprehensif beserta pembahasannya.

3.1 Analisis Data Gangguan pada Jaringan Distribusi Tegangan Menengah

Data gangguan merupakan aspek penting dalam menilai efektivitas sistem proteksi. Berdasarkan dokumentasi operasional 3 tahun terakhir, ditemukan bahwa gangguan paling sering terjadi pada lokasi dengan tingkat vegetasi tinggi, jaringan tua, serta pada area dengan beban padat. Secara umum, gangguan terbagi menjadi dua kategori yaitu gangguan temporer dan gangguan permanen. Gangguan temporer biasanya disebabkan oleh sentuhan cabang pohon atau hewan, sementara gangguan permanen muncul akibat kegagalan isolasi atau kerusakan peralatan.

Tabel 1. Jumlah dan Jenis Gangguan pada Jaringan Distribusi Tegangan Menengah

Jenis Gangguan	Frekuensi (Kejadian)	Persentase (%)	Keterangan Umum
Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah	56	44%	Paling umum, sering terjadi akibat vegetasi
Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa	21	16%	Biasanya akibat isolasi melemah
Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa	10	8%	Dampak paling berat, bersifat permanen
Beban Lebih (Overload)	18	14%	Sering terjadi saat beban puncak
Kegagalan Peralatan	22	18%	Didominasi fuse putus & recloser gagal operasi
Total	127 Kejadian	100%	

Data menunjukkan bahwa gangguan 1 fasa ke tanah merupakan jenis gangguan dominan karena sifat jaringan udara yang rentan terkena kontak benda luar. Kegagalan peralatan juga menjadi penyumbang signifikan, menunjukkan adanya isu dalam pemeliharaan perangkat proteksi.

3.1.1 Pembahasan Gangguan

Tingginya gangguan 1 fasa ke tanah disebabkan oleh kondisi jaringan terbuka (overhead line) serta minimnya pemangkasan pohon rutin. Pada area pedesaan, gangguan meningkat saat musim hujan akibat permukaan isolator yang lembab. Sementara itu, gangguan 3 fasa yang lebih jarang terjadi namun berdampak besar biasanya memicu kerja proteksi tingkat tinggi, seperti pemutusan di sisi penyulang oleh relay. Kegagalan peralatan pada recloser dan fuse cut-out menunjukkan bahwa beberapa perangkat sudah berumur tua dan tidak lagi mampu merespons gangguan secara optimal. Hal ini mengakibatkan terjadinya trip berulang dan pemadaman panjang

3.2 Kinerja Operasional Perangkat Proteksi

Perangkat proteksi seperti recloser, sectionalizer, fuse cut-out, dan relay proteksi memiliki fungsi penting dalam mendeteksi dan mengisolasi gangguan sesuai tingkatannya. Dari hasil observasi, ditemukan beberapa aspek utama terkait kinerja perangkat:

a. Recloser

Recloser berfungsi menangani gangguan temporer dengan melakukan pemutusan sementara lalu menutup kembali (auto reclosing). Hasil analisis menunjukkan bahwa:

1. 67% gangguan temporer berhasil dipulihkan melalui recloser.
2. Namun, terdapat 14% kasus di mana recloser gagal beroperasi sesuai siklus reclosing yang ditentukan.
3. 10% recloser memiliki waktu operasi lebih lambat dari standar pabrikan.

Permasalahan pada recloser terutama disebabkan oleh setelan arus pick-up yang terlalu tinggi atau modul kontrol yang sudah mengalami penurunan akurasi.

b. Sectionalizer

Sectionalizer bekerja untuk menghitung jumlah trip recloser dan membuka rangkaian agar gangguan dapat dilokalisasi.

Hasil penelitian menunjukkan:

1. 7 dari 22 sectionalizer tidak mencatat jumlah trip recloser dengan benar akibat sensor arus yang tidak stabil.
2. Hal ini menyebabkan area pemadaman menjadi lebih luas karena sectionalizer tidak membuka saat diperlukan.

c. Fuse Cut-Out

Fuse bekerja merespons gangguan arus lebih permanen pada cabang penyulang. Namun, masalah ditemukan sebagai berikut:

1. 18% fuse mengalami putus palsu (false blowing) pada gangguan temporer.
2. 12% fuse memiliki rating yang tidak sesuai beban aktual.

Kondisi ini menandakan perlunya peninjauan ulang terhadap rating fuse serta inspeksi peralatan.

d. Relay Proteksi

Relay merupakan perangkat dengan tingkat sensitivitas dan akurasi tertinggi. Dari hasil evaluasi:

1. 23% relay tidak memiliki kurva koordinasi yang sesuai dengan recloser atau fuse.
2. Beberapa relay masih menggunakan teknologi lama (electromechanical relay) yang kurang responsif.

Terdapat keterlambatan operasi relay sebesar 30–80 ms dari nilai setting

3.3 Evaluasi Selektivitas Sistem Proteksi

Selektivitas adalah kemampuan sistem proteksi untuk memutus hanya bagian jaringan yang terganggu. Ketidakselektifan proteksi menyebabkan pemadaman yang meluas dan meningkatkan indeks SAIFI/SAIDI.

Dari analisis Time Current Characteristic (TCC), ditemukan beberapa ketidaksesuaian antara recloser dan relay penyulang. Masalah utama meliputi:

- a. Kurva recloser terlalu mendekati kurva relay, sehingga relay bekerja lebih dulu.
- b. Fuse dan recloser tidak memiliki margin waktu yang sesuai, menyebabkan fuse putus sebelum recloser mencoba melakukan reclosing.
- c. Waktu operasi relay ground lebih cepat dari recloser, sehingga gangguan 1 fasa menyebabkan pemutusan langsung di gardu induk.

Ketidakselektifan seperti ini menyebabkan gangguan lokal berdampak pada area yang jauh lebih luas dari seharusnya.

3.4 Analisis Keandalan Sistem (SAIDI, SAIFI, dan CAIDI)

Keandalan sistem proteksi sangat memengaruhi indeks pemadaman. Data sebelum evaluasi menunjukkan nilai SAIDI dan SAIFI yang cukup tinggi.

Tabel 2. Nilai Indeks Keandalan Sebelum Evaluasi

Indeks Keandalan	Nilai	Standar PLN	Keterangan
------------------	-------	-------------	------------

SAIDI	23,5 jam/tahun	< 12 jam/tahun	Terlalu Tinggi
SAIFI	4,8 kali/tahun	< 3 kali/tahun	Tidak Memenuhi
CAIDI	4,9 jam/trip	< 4 jam/trip	Sedikit Melebihi

Nilai SAIDI dan SAIFI yang tinggi menunjukkan banyaknya pemutusan yang tidak selektif dan lambatnya pemulihan setelah gangguan.

a. Pembahasan Keandalan

Nilai SAIDI yang tinggi sebagian besar disebabkan oleh:

1. Waktu pencarian gangguan yang lama
2. Fuse yang putus tidak pada tingkat cabang yang tepat
3. Recloser gagal melakukan auto reclosing
4. Relay bekerja terlalu cepat sehingga memutus di gardu induk

Setelah dilakukan tuning ulang pada relay, perbaikan setelan recloser, dan penyesuaian rating fuse, terjadi penurunan signifikan pada durasi pemadaman.

3.5 Efisiensi Sistem Proteksi Berdasarkan Evaluasi

Berdasarkan seluruh hasil analisis, efisiensi sistem proteksi dapat dinilai dari beberapa indikator, antara lain:

a. Respon Perangkat terhadap Gangguan

Kinerja recloser meningkat setelah penyesuaian setting. Gangguan temporer yang terselesaikan meningkat dari 67% menjadi 82%. Ini menunjukkan peningkatan efisiensi dalam menangani gangguan minor.

b. Tingkat Selektivitas Proteksi

Setelah koordinasi ulang kurva TCC pada relay dan recloser:

1. Jumlah trip tidak selektif berkurang hingga 45
 2. Fuse putus palsu menurun 60
 3. Relay penyulang tidak lagi bekerja pada gangguan minor di downstream
- c. Dampak pada Indeks Keandalan

Perbaikan sistem proteksi berdampak pada peningkatan keandalan jaringan distribusi.

Tabel 3. Dampak Indeks Keandalan Setelah Evaluasi

Indeks Keandalan	Sebelum Evaluasi	Setelah Evaluasi	Peningkatan
SAIDI	23,5 jam/tahun	11,2 jam/tahun	52%
SAIFI	4,8 kali/tahun	2,6 kali/tahun	46%
CAIDI	4,9 jam/trip	4,3 jam/trip	Sedikit Membaik

Perbaikan sistem proteksi menghasilkan peningkatan keandalan yang signifikan, terutama pada SAIDI dan SAIFI.

3.6 Pembahasan Menyeluruh

Dari seluruh hasil yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa masalah utama pada sistem proteksi jaringan tegangan menengah adalah:

- a. Ketidaksesuaian setting antarperalatan proteksi
- b. Peralatan tua dan tidak reliabel
- c. Kurangnya pemeliharaan dan inspeksi berkala
- d. Kurangnya pemangkasan vegetasi yang memicu gangguan satu fasa
- e. Kurangnya pemantauan berbasis digital pada perangkat proteksi

Setelah dilakukan evaluasi dan perbaikan, sistem menunjukkan peningkatan efisiensi yang jelas. Hal ini membuktikan bahwa kinerja proteksi sangat dipengaruhi oleh pengaturan yang tepat dan pemeliharaan yang konsisten.

3.7 Implikasi Penelitian

Hasil penelitian ini memberikan implikasi penting bagi pengelola jaringan distribusi:

- a. Pentingnya pembaruan teknologi proteksi dari mekanik ke digital.
- b. Perlunya sistem monitoring real-time seperti SCAD
- c. Diperlukan SOP khusus untuk pengaturan ulang relay secara berkala
- d. Pemangkasan vegetasi harus dilakukan dalam interval yang lebih rutin.
- e. Peralatan tua harus segera diganti agar tidak mengurangi keandalan jaringan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa efisiensi sistem proteksi pada jaringan distribusi tegangan menengah sangat bergantung pada kinerja perangkat proteksi, ketepatan pengaturan koordinasi antarperalatan, serta kualitas pemeliharaan jaringan. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa banyak gangguan yang terjadi disebabkan oleh faktor eksternal seperti vegetasi dan kondisi lingkungan, namun sebagian besar dampak gangguan menjadi lebih luas karena sistem proteksi tidak bekerja secara selektif. Gangguan satu fasa ke tanah merupakan jenis gangguan yang paling sering terjadi, dan ketidaktepatan setting pada recloser, sectionalizer, fuse, dan relay menyebabkan pemutusan meluas serta meningkatnya nilai SAIDI dan SAIFI. Kinerja perangkat proteksi seperti recloser, fuse cut-out, dan relay menunjukkan adanya kelemahan pada beberapa titik, terutama peralatan yang sudah berumur atau yang tidak memiliki pengaturan yang sesuai standar. Melalui evaluasi teknis berupa studi koordinasi proteksi dan analisis TCC, dilakukan perbaikan setelan dan peninjauan rating peralatan sehingga tingkat selektivitas meningkat secara signifikan. Dampaknya terlihat pada peningkatan keandalan jaringan, di mana nilai SAIDI dan SAIFI menurun lebih dari 40%, menandakan bahwa sistem proteksi telah bekerja lebih efisien. Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa peningkatan efisiensi sistem proteksi dapat dicapai melalui pengaturan ulang koordinasi, pemeliharaan berkala, pemantauan real-time, serta modernisasi perangkat proteksi. Dengan penerapan langkah-langkah tersebut, jaringan distribusi tegangan menengah dapat beroperasi secara lebih andal, meminimalkan pemadaman, dan memberikan kualitas pelayanan listrik yang lebih baik kepada konsumen. Jika diterapkan secara berkelanjutan, rekomendasi penelitian ini akan membantu meningkatkan stabilitas dan efisiensi sistem tenaga listrik secara keseluruhan.

REFERENCES

- [1] O. Nainggolan, B. Bustani, and Arbain, "Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi 20 Kv Pada Penyulang J4 J5 J6 Di PT. PLN (Persero) Area Balikpapan Menggunakan Nilai SAIDI Dan SAIFI," *Jimi*, vol. 1, no. 1, 2023, doi: 10.61404/jimi.v1i1.18.
- [2] R. W. H. Riza, M. S. Djalil, and Ipniansyah, "Analisis Keandalan Jaringan Tegangan Menengah 20 kV Wilayah Tenggara Sistem Mahakam," *Poligrad*, vol. 4, no. 2, 2023, doi: 10.46964/poligrad.v4i2.33.
- [3] U. Usman, I. Indra, M. Thahir, S. Sofyan, A. R. Idris, and S. A. Thaha, "Penentuan Keandalan Sistem Distribusi 20 KV Penyulang Malili Dengan Metode Section Technique Dan FMEA," *Protek J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 2, p. 126, 2022, doi: 10.33387/protk.v9i2.4985.
- [4] I. R. Kurniawan, I. G. D. Arjana, and I. W. Sukerayasa, "Peningkatan Keandalan Penyulang Tukad Musi Dengan Penambahan Penyulang Batanghari Dengan Pola Loop," *J. Spektrum*, vol. 10, no. 3, p. 125, 2023, doi: 10.24843/spektrum.2023.v10.i03.p14.
- [5] P. Sangeetha, "Reliability Evaluation of Radial Distribution System With Different Locations and Ratings of Photovoltaic," *Jes*, vol. 20, no. 6s, pp. 2821–2830, 2024, doi: 10.52783/jes.3289.
- [6] M. A. Pratama, Y. W. Setiyono, and A. Rahman, "Optimisasi Penempatan Recloser Dan Sectionalizer Untuk Memperbaiki Keandalan Jaringan Pada Penyulang WNI10 Menggunakan Simulasi Reliability Assessment," *J. List. Instrumentasi Dan Elektron. Terap.*, vol. 5, no. 2, p. 56, 2024, doi: 10.22146/juliet.v5i2.86532.
- [7] F. O. Ehiagwina, O. T. OLUMBE-SALAU, T. I. AKHUETIE, and S. M. OLATINWO, "A Reliability Assessment of Idi-Ogun 33/11 Kv Substation," *Sjelmr*, 2025, doi: 10.70382/sjelmr.v8i5.004.
- [8] G. D. Prenata, "Klasifikasi Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Di PT. PLN (PERSERO) UP3 Surabaya Selatan Menggunakan Metode Single Perceptron," *Voteteknika (Vocational Tek. Elektron. Dan Inform.)*, vol. 12, no. 1, p. 20, 2024, doi: 10.24036/voteteknika.v12i1.125589.

-
- [9] T. Sucita, M. Somantri, D. Fahrizal, and M. Agista, "Reliability Analysis of 20 kV Electricity Distribution System on CWRU Feeder," *J. Nas. Tek. Elektro Dan Teknol. Inf.*, vol. 13, no. 4, pp. 282–289, 2024, doi: 10.22146/jnteti.v13i4.12510.
- [10] "Optimized Protection Coordination for 20 KV Networks With DER: A Case Study in Jampue and Kariango," *Arpn J. Eng. Appl. Sci.*, pp. 688–700, 2025, doi: 10.59018/062584.
- [11] J.-W. Tang, C. Wooi, W. Tan, H. N. Afrouzi, H. A. Halim, and S. N. M. Arshad, "Optimisation of the Distribution System Reliability With Shielding and Grounding Design Under Various Soil Resistivities," *Pertanika J. Sci. Technol.*, vol. 32, no. 3, pp. 1263–1283, 2024, doi: 10.47836/pjst.32.3.15.
- [12] U. K. Luthfiyani, A. Setiawan, and S. Arifin, "Analisis Perbandingan Indeks Keandalan Sistem Jaringan Distribusi Dengan Metode Section Technique Dan Reliability Index Assessment (RIA): Studi Kasus Gardu Induk Balaraja," *Insologi J. Sains Dan Teknol.*, vol. 2, no. 1, pp. 250–264, 2023, doi: 10.55123/insologi.v2i1.1782.
- [13] S. Raja, B. Arguello, and B. Pierre, "Dynamic Programming Method to Optimally Select Power Distribution System Reliability Upgrades," *Ieee Open Access J. Power Energy*, vol. 8, pp. 118–127, 2021, doi: 10.1109/oajpe.2021.3062330.
- [14] H. N. Hammam and B. Sudiarto, "Improved Reliability Analysis of Power Distribution Systems Through Zero Down Time (ZDT) Reconfiguration," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2942, no. 1, p. 12009, 2025, doi: 10.1088/1742-6596/2942/1/012009.
- [15] A. K. Fajri, E. Efendi, B. Evan, and E. Prihatmini, "Development of a MATLAB GUI Application for Computing Reliability Indices at an Electrical Substation," *Eksergi*, vol. 21, no. 02, pp. 42–47, 2025, doi: 10.32497/eksergi.v21i02.6844.
- [16] U. Wiharja and A. Kodir, "Optimalisasi Automatic Change Over (Aco) Untuk Pelanggan Premium Pt PLN Up3 Bulungan," *Teknokris*, vol. 26, no. 1, pp. 1–8, 2023, doi: 10.61488/teknokris.v26i1.242.
- [17] A. M. Prasetia, L. Sartika, and A. A. H. Muslim, "Evaluation of 20 KV Distribution System Using SAIDI and SAIFI Reliability Indices at PT PLN," *Emit. J. Tek. Elektro*, pp. 115–120, 2024, doi: 10.23917/emitor.v24i2.2482.
- [18] S. Rizal, Z. Zulfahri, and U. Situmeang, "Studi Optimalisasi Keandalan Jaringan Distribusi 13,8 kV Pada Bangko Substation PT. Chevron Pacific Indonesia (CPI)," *J. Tek.*, vol. 15, no. 1, pp. 56–65, 2021, doi: 10.31849/teknik.v15i1.6215.
- [19] A. Nugraha, F. Felycia, and A. A. H. Suryana, "Distribution Network System Reliability Index Study PLN North Banten in 2023," *Fidel. J. Tek. Elektro*, vol. 5, no. 3, pp. 201–205, 2023, doi: 10.52005/fidelity.v5i3.181.
- [20] V. Cherkashyna and O. Yakovenko, "Analysis of the Quality Indicators of Electricity Supply Services on the Example of the Distribution System Operator JSC 'Kharkivoblenergo,'" *Bull. Natl. Tech. Univ. Khpi Ser. Energy Reliab. Energy Effic.*, no. 2 (7), pp. 85–90, 2023, doi: 10.20998/2224-0349.2023.02.08.
- [21] N. Joshua, A. Abdulkarim, S. Palanikumar, M. D. Buhari, and G. V Ramana, "Reliability Study of Electrical Distribution Network in Kampala East," *Kiu J. Sci. Eng. Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 53–60, 2023, doi: 10.59568/kjset-2023-2-1-08.