E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Analisis Penggunaan Fuse Link Pada Fuse Cut Out Sistem Proteksi Gardu Distribusi Di PT. PLN (Persero) ULP Makale

Yusac Febrian Tanak[1], I Wayan Sutama[2], I Nyoman Gede Adrama[3], I Wayan Sukadana[4]
[1]Universitas Pendidikan Nasional, yusactanak25@gmail.com
[2]Universitas Pendidikan Nasional, wayansutama@undiknas.ac.id
[3]Universitas Pendidikan Nasional, nyomanadrama@undiknas.ac.id
[4]Universitas Pendidikan Nasional, sukadana@undiknas.ac.id

Abstrak

Sebagai penyedia utama energi listrik nasional, PT PLN (Persero) dituntut menjaga keandalan sistem distribusi, khususnya jaringan tegangan menengah 20 kV yang paling rentan terhadap gangguan. Di wilayah ULP Makale, tingginya frekuensi gangguan yang dipengaruhi kondisi jaringan dan lingkungan, menyebabkan pentingnya evaluasi sistem proteksi gardu distribusi, terutama pada penggunaan fuse link di Fuse Cut Out (FCO). Penelitian ini bertujuan menganalisis kesesuaian rating fuse link terhadap karakteristik pembebanan transformator dan arus hubung singkat pada sistem. Metode yang digunakan meliputi observasi lapangan, wawancara teknis, serta analisis kuantitatif berdasarkan perhitungan arus beban penuh transformator dan arus hubung singkat dari impedansi sumber, trafo, dan penyulang. Hasil perhitungan menunjukkan arus nominal trafo 200 kVA sebesar 5,77 A dengan rekomendasi rating fuse link ideal 10 A (≈150% arus nominal), sedangkan kondisi terpasang sebesar 8 A. Arus hubung singkat maksimum yang diperoleh pada sisi 20 kV mencapai 845,19 A (3 fasa). Temuan ini menunjukkan bahwa rating eksisting masih mampu memberikan proteksi, namun belum sepenuhnya optimal menurut pendekatan teoritis. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi berkala terhadap rating fuse link berbasis data pembebanan aktual dan analisis arus hubung singkat agar sistem proteksi tetap selektif, andal, serta mampu meminimalkan durasi dan luasnya pemadaman.

Kata Kunci: *Fuse Cut Out, Trafo Distribusi, Fuse Link, Gangguan Hubung Singkat,*

Abstract

As the primary national electricity provider, PT PLN (Persero) is required to maintain the reliability of its distribution system, particularly the 20 kV medium-voltage network, which is the most vulnerable to disturbances. In the ULP Makale area, the high frequency of faults influenced by network conditions and vegetation highlights the importance of evaluating the distribution substation protection system, especially the use of fuse links in Fuse Cut Out (FCO) devices. This study aims to analyze the suitability of fuse link ratings in relation to transformer loading characteristics and short-circuit currents within the system. The methodology includes field observations, technical interviews, and quantitative analysis based on calculations of transformer full-load current and short-circuit currents derived from source, transformer, and feeder impedances. The calculation results show that the nominal current of a 200 kVA transformer is 5.77 A, with an ideal recommended fuse link rating of 10 A (approximately 150% of the nominal current), while the installed condition is 8 A. The maximum short-circuit current obtained on the 20 kV side reaches 845.19 A (three-phase fault). These findings indicate that the existing rating is still capable of providing protection; however, it is not fully optimal from a theoretical perspective. Therefore, periodic evaluation of fuse link ratings based on actual loading data and short-circuit current analysis is necessary to ensure that the protection system remains selective, reliable, and capable of minimizing both the duration and extent of power outages.

Keywords: *Fuse Cut Out, Distribution Transformer, Fuse Link, Short Circuit Fault*

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Corresponding Author:
Yusac Febrian Tanak
Universitas Pendidikan Nasional, yusactanak25@gmail.com

PENDAHULUAN

Sebagai penyedia utama energi listrik nasional, PT PLN (Persero) memiliki tanggung jawab besar dalam menjamin kualitas, dan keandalan penyaluran tenaga listrik kepada pelanggan. Energi listrik disalurkan dari pembangkit melalui gardu induk hingga ke jaringan distribusi, yang merupakan bagian terluas sekaligus paling rentan terhadap gangguan (Setiawan & Suheta, 2020). Gangguan seperti hubung singkat dan beban lebih dapat menyebabkan pemadaman (blackout) yang berdampak pada aktivitas industri, sektor ekonomi, hingga pelanggan rumah tangga. Oleh sebab itu, keandalan jaringan distribusi menjadi indikator utama performa sistem tenaga listrik dan harus didukung oleh sistem proteksi yang selektif, cepat, dan terkoordinasi dengan baik (Pasaribu & ST, 2021).

Sistem proteksi tenaga listrik dirancang untuk mendeteksi dan mengisolasi bagian sistem yang mengalami gangguan agar tidak merambat dan merusak peralatan lain seperti transformator, saluran distribusi, maupun peralatan switching (Malik et al., 2025). Salah satu perangkat proteksi utama pada gardu distribusi adalah Fuse Cut Out (FCO) yang berfungsi sebagai pengaman terhadap arus lebih akibat hubung singkat maupun overload. FCO bekerja dengan prinsip pelelehan fuse link sehingga bagian yang terganggu dapat segera diputus dari sistem (Ferdyansyah & Joko, 2024). Namun dalam operasionalnya, masih ditemukan berbagai permasalahan seperti pemilihan rating fuse link yang kurang tepat, koordinasi proteksi yang belum optimal dengan recloser atau PMT, serta variasi kualitas material fuse link yang berdampak pada keandalan sistem. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya evaluasi teknis untuk memastikan karakteristik kerja FCO sesuai dengan kebutuhan sistem distribusi (Sukadana & Ramadhani, 2021).

Permasalahan ini juga terjadi pada sistem distribusi 20 kV di ULP Makale yang disuplai dari Gardu Induk Makale berkapasitas 30 MVA. Penyulang Makale memiliki konfigurasi jaringan loop dengan beberapa outgoing yang cukup panjang, sehingga peluang terjadinya gangguan semakin besar. Selain faktor teknis, kondisi geografis dan lingkungan seperti banyaknya vegetasi (bambu dan pohon non-produktif) turut meningkatkan frekuensi gangguan hubung singkat akibat sentuhan atau jatuhan pohon ke jaringan. Data gangguan tercatat hingga 45 kali trip (pemutusan) hingga Desember 2025, yang mana menunjukkan tingginya jumlah trip dalam satu tahun operasional, sehingga secara langsung memengaruhi indeks keandalan sistem distribusi. Permasalahan ini diperparah oleh pemilihan spesifikasi rating komponen proteksi yang kerap kurang tepat, rendahnya kualitas material fuse link, serta lemahnya koordinasi proteksi yang pada akhirnya berdampak pada kerugian operasional dan finansial perusahaan. Oleh karena itu, diperlukan analisis menyeluruh terhadap koordinasi proteksi dan kesesuaian kapasitas fuse link agar gangguan dapat diisolasi secara selektif tanpa menyebabkan pemadaman luas (Kristian, 2022).

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji pentingnya evaluasi proteksi pada gardu distribusi. Penelitian (Fahrezi & Liliana, 2021)menyimpulkan bahwa evaluasi keandalan sistem proteksi sangat diperlukan untuk menjaga mutu gardu distribusi dan memperpanjang umur peralatan. Didalam penelitian (Sidabutar, 2023) menegaskan bahwa FCO berperan sebagai proteksi utama yang membatasi arus lebih dan harus memiliki karakteristik pelelehan yang sesuai dengan arus gangguan sistem. Sementara itu, dalam penelitian (Maskun, 2022) menyatakan bahwa koordinasi dan penempatan proteksi yang

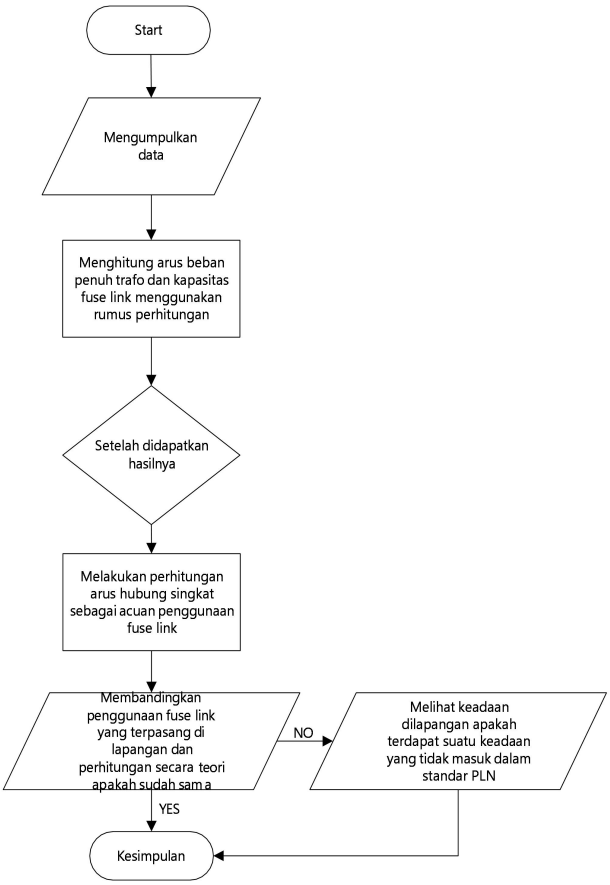
E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

tepat dapat mencegah kerusakan transformator akibat surja petir dan meningkatkan efektivitas sistem pengamanan.

Berangkat dari celah permasalahan di lapangan dan studi literatur yang ada, penelitian ini bertujuan untuk menyelesaikan kendala proteksi kelistrikan di wilayah kerja PT PLN (Persero) ULP Makale. Kondisi utama yang diselesaikan dalam penelitian ini adalah penentuan nilai kapasitas fuse link pada FCO yang paling ideal, agar perangkat tersebut dapat beroperasi secara optimal sesuai dengan beban dan kondisi riil di lapangan. Dengan pendekatan ini, diharapkan diperoleh rekomendasi teknis yang mampu meningkatkan keandalan sistem distribusi dan meminimalkan durasi gangguan yang dirasakan pelanggan (Funan & Sutama, 2020).

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif yang menekankan pemahaman mendalam terhadap fenomena melalui keterlibatan langsung peneliti di lapangan. Pendekatan ini dipilih untuk mengumpulkan, menganalisis data dan menjawab tujuan penelitian secara sistematis (Waruwu & others, 2023). Penelitian dilaksanakan di PT PLN (Persero) ULP Makale, Tana Toraja, dalam rentang waktu Juli 2025 hingga Januari 2026, dimulai dari tahap penyusunan proposal hingga penyelesaian penelitian. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan dan wawancara mendalam, dengan membandingkan kondisi aktual terhadap teori yang relevan untuk menilai kesesuaian serta mengidentifikasi faktor penyebab apabila ditemukan perbedaan. Seluruh proses penelitian dilakukan melalui tahapan pengolahan data yang terstruktur yang disajikan dalam diagram alir pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Berikut ini merupakan penjelasan dari gambar diagram alir yang digunakan sebagai pedoman dalam tahapan melakukan penelitian:

a. Start, dimulai pada penelitian di kantor PLN ULP Makale yang dimana merupakan pengambilan data lapangan.
b. Mengumpulkan data, data yang dikumpulkan berupa data kapasitas trafo, beban trafo, untuk menghitung kapasitas fuse link yang akan menjadi perbandingan dalam penelitian ini.
c. Menghitung arus beban penuh trafo agar untuk menentukan kapasitas fuse link
d. menggunakan rumus perhitungan 2.13.
e. Setelah didapatkan hasilnya, selanjutnya menghitung arus hubung singkat untuk mengetahui keefektifan dalam menentukan penggunaan fuse link,
f. Membandingkan data teori dan lapangan, membandingkan hasil perhitungan rumus dan penggunaan di lapangan apakah sudah sama atau berbeda.
g. Jika hasilnya sama, berarti penggunaan fuse link yang telah dihitung menggunakan rumus sudah benar dan yang terpasang di lapangan. Tetapi jika salah, kita melihat dari kasus yang ada apakah pemasangan fuse link yang berada di lapangan sudah benar dengan kapasitas yang seharusnya.
h. Kesimpulan, bagian akhir dari sebuah penelitian yang menyajikan intisari dari hasil penelitian dan pembahasan.

Fuse Cut Out dan Perhitungannya

Fuse Cut Out (FCO) merupakan peralatan proteksi pada jaringan distribusi tegangan menengah atau sebelum transformator, dimana berfungsi memutus rangkaian listrik secara otomatis ketika terjadi arus lebih yang melebihi kapasitas kerjanya (Paembonan et al., 2021). Komponen utama FCO adalah fuse link, yaitu kawat lebur yang terpasang pada tabung cut out dan akan meleleh ketika arus gangguan melampaui batas nominalnya, sehingga rangkaian terputus dan peralatan jaringan terlindungi dari kerusakan yang lebih luas. Penentuan kapasitas fuse link dilakukan dengan menghitung arus nominal (I_{nom}) berdasarkan daya trafo (S) dan tegangan antar fasa (V_{LL}), sehingga rating yang dipilih sesuai dengan karakteristik beban dan sistem yang diamankan (Agustian et al., 2024).

$$I_{nom} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_{LL}} \quad (1)$$

Gangguan Hubung Singkat dan Perhitungannya

Gangguan hubung singkat merupakan kondisi abnormal yang terjadi ketika konduktor berarus saling bersentuhan atau terhubung langsung dengan tanah akibat adanya kesalahan antar-komponen bertegangan, sehingga menimbulkan arus sangat besar dalam waktu singkat dan berpotensi merusak peralatan (Galla et al., 2020). Secara umum, gangguan hubung singkat diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu satu fasa ke tanah, dua fasa, dan tiga fasa. Arus gangguan hubung singkat di sisi 20 kV diperoleh dengan cara mengkonversikan dulu impedansi sumber di bus 150 kV ke sisi 20 kV. Dimana persamaan untuk menentukan nilai gangguan hubung singkat adalah sebagai berikut (Paliling et al., 2025):

a. Perhitungan Impedansi Sumber Tegangan
   Impedansi sumber di bus 150 kV diperoleh dengan persamaan (2) sedangkan impedansi sumber 20 kV pada persamaan (3)

   MVA_{sc} (daya hubung singkat) = $\sqrt{3} \times V(sisi\ primer) \times$ arus hubung singkat

   $$Zs = \frac{kV^2}{MVA_{sc}} \quad (2)$$

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Dimana:
Z_s = Impedansi sumber (Ω)
kV = Tegangan sisi primer trafo tenaga (kV)
MVA_{sc} = Daya pada transformator (short circuit)

$$Z_{s(\text{sisi } 20kV)} = \frac{kV^2}{MVA_{sc}} Z_{s(\text{sisi } 150kV)} \quad (3)$$

b. Perhitungan Impedansi Transformator
Perhitungan impedansi trafo dilakukan untuk mengetahui besarnya hambatan internal transformator terhadap arus ganggua. Impedansi trafo tenaga diperoleh pada persamaan. Selain itu terdapat urutan impedansi pada trafo diantaranya yaitu impedansi Trafo urutan positif dan negatif ($Z_{T1} = Z_{T2}$) pada persamaan (4) serta impedansi Trafo urutan nol (Z_{T0}) pada persamaan (5).

$$Z_{T100\%} = \frac{kV^2}{MVA} \quad (4)$$

$$Z_{T1} = Z_{T2} \times Z_{T100\%} \quad (5)$$

$$Z_{T0} = 10 \times Z_T \quad (6)$$

c. Perhitungan Impedansi Penyulang (Z_F)
Perhitungan impedansi penyulang dilakukan untuk mengetahui total resistansi dan reaktansi saluran dari sumber hingga titik gangguan atau beban. Impedansi penyulang terdiri dari urutan positif dan negatif pada (9), urutan nol (11), serta impedansi ekivalen urutan pada titik lokasi gangguan 0%, 25%, 50%, 75%, 100% (10)(12).

$$Z_{F1} = Z_{F2} = (R + jXL)\, l \quad (7)$$

$$Z_{F0} = 3 \times (R + jXL)\, l \quad (8)$$

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{s1} + Z_{T1} \quad (9)$$

$$Z_{1e} = Z_{2eq} = Z_{s1} + Z_{T1} + (\% \times Z_{F1tot}) \quad (10)$$

$$Z_{0eq} = Z_{T0} + 3\,.\,RN \quad (11)$$

$$Z_{0eq} = Z_{T0} + 3\,.\,RN + (\% \times Z_{F0tot}) \quad (12)$$

Dimana:
R = Resistansi kawat saluran (Ω)
jX_L = Reaktansi kawat saluran (Ω)
l = Panjang saluran (km)
Z_{1eq} = Impedansi ekivalen urutan positif (Ω)
Z_{2eq} = Impedansi ekivalen urutan negatif (Ω)
Z_{S1} = Impedansi sumber sisi sekunder (Ω)
Z_{T1} = Impedansi trafo urutan positif (Ω)
Z_{0eq} = Impedansi ekivalen urutan nol (Ω)
Z_{T0} = Impedansi trafo tenaga urutan nol (Ω)
RN = Tahanan tanah trafo tenaga (Ω)

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

d. Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat
Adapun persamaan gangguan hubung singkat dibagi menjadi tiga jenis, yaitu arus gangguan satu fasa ke tanah (13), arus gangguan dua fasa (14), dan arus gangguan tiga fasa (5).

$$I_{sc} = \frac{3V_{L-N}}{Z_{1eq}+Z_{2eq}+Z_{0eq}} \quad (13)$$

$$I_{sc} = \frac{V_{L-L}}{Z_{1eq}+Z_{2eq}} \quad (14)$$

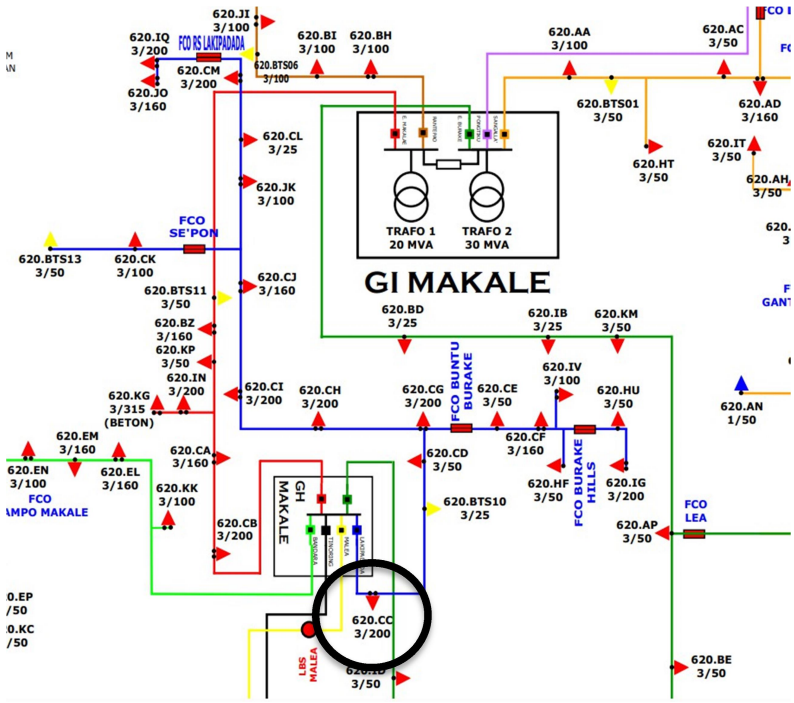
$$I_{sc} = \frac{V_{L-N}}{Z_{1eq}} \quad (15)$$

Dimana:
V_{L-N} = Tegangan fasa – netral
V_{L-L} = Tegangan fasa – fasa

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data dan Spesifikasi Peralatan

GI Makale memiliki 2 Transformator Step Down yang berkapasitas Trafo 1-20 MVA dan Trafo 2-30 MVA. Trafo yang digunakan pada jaringan yang akan diukur yaitu Trafo 2 yang berkapasitas 30 MVA. GI Makale memiliki 5 penyulang (feeder), trafo 1 memiliki 2 penyulang yaitu penyulang Makale dan penyulang Rantepao. Sedangkan trafo 2 memiliki 3 penyulang, yaitu penyulang Burake, penyulang Pongtiku, dan penyulang Sangalla. Dimana pada penelitian ini kita akan menentukan nilai dari kapasitas Fuse Cut Out pada suatu Gardu Distribusi pada penyulang Burake jurusan Lakipadada, GH Makale Gardu Distribusi 620.CC 3/200.



Gambar 2. Single Line Diagram Gardu Induk Makale

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Perhitungan Arus Hubung Singkat

- **Perhitungan Impedansi Sumber**
  Perhitungan diawali dengan menentukan daya hubung singkat pada sisi primer 150 kV di GI Makale menggunakan data arus gangguan sebesar 1,39 kA, sehingga diperoleh daya hubung singkat sebesar 361,1 MVA. Berdasarkan nilai tersebut, impedansi sumber pada sisi 150 kV diperoleh sebesar 62,3 Ω. Nilai impedansi ini kemudian dikonversikan ke sisi 20 kV sehingga didapatkan impedansi sumber pada sisi 20 kV sebesar 1,11 Ω.
- **Perhitungan Impedansi Transformator**
  Impedansi dasar transformator 20 MVA pada sisi 20 kV diperoleh sebesar 20 Ω. Dengan diketahui impedansi trafo sebesar 12,41%, maka impedansi urutan positif dan negatif masing-masing sebesar 2,482 Ω. Selanjutnya, impedansi urutan nol transformator diperoleh sebesar 24,82 Ω.
- **Perhitungan Impedansi Penyulang**
  Berdasarkan jenis konduktor AAACS 150 mm² dengan panjang 17,65 km, diperoleh impedansi urutan positif dan negatif sebesar 10,07 Ω. Sedangkan impedansi urutan nol penyulang diperoleh sebesar 30,21 Ω.
- **Perhitungan Impedansi Ekivalen Sistem**
  Impedansi ekivalen urutan positif dan negatif pada titik sumber (0%) sebesar 3,592 Ω, sedangkan impedansi ekivalen urutan nol sebesar 26,02 Ω. Nilai impedansi ekivalen meningkat seiring bertambahnya jarak gangguan hingga pada titik 100% penyulang diperoleh impedansi urutan positif dan negatif sebesar 13,662 Ω dan impedansi urutan nol sebesar 56,230 Ω. Pada tabel dibawah merupakan perhitungan impedansi ekivalen urutan positif, negatif, dan nol pada berbagai titik lokasi gangguan (0%, 25%, 50%, 75%, 100%).

Tabel 1. Impedansi Ekivalen Urutan Positif, Negatif, dan Nol pada Berbagai Titik Lokasi Gangguan

Lokasi Gangguan	Jarak (km)	Z1P (Ω)	Z0P (Ω)	Z1eki=Z2eki (Ω)	Z0eki (Ω)
0%	0,00	0,000	0,000	3,592	26,020
25%	4,41	2,518	7,553	6,110	33,573
50%	8,83	5,035	15,105	8,627	41,125
75%	13,24	7,553	22,658	11,145	48,678
100%	17,65	10,070	30,210	13,662	56,230

- **Perhitungan Arus Hubung Singkat**
  Tegangan fasa-netral sistem sebesar 11.547 V. Pada titik gangguan 100% penyulang diperoleh arus hubung singkat tiga fasa sebesar 845,19 A, dua fasa sebesar 731,96 A, dan satu fasa ke tanah sebesar 414,59 A. Secara umum, arus gangguan terbesar terjadi pada lokasi 0% (dekat sumber) dan semakin menurun hingga ke ujung penyulang. Pada tabel dibawah merupakan hasil perhitungan arus hubung singkat pada tiap lokasi gangguan.

Tabel 2. Arus Hubung Singkat pada Tiap Lokasi Gangguan.

Lokasi Gangguan	Jarak (km)	Arus 3 Phasa (Isc3)	Arus 2 Phasa (Isc2)	Arus 1 Phasa (Isc1)
0%	0,00	3.214,65 A	2.783,96 A	1.043,28 A
25%	4,41	1.889,85 A	1.636,66 A	756,47 A

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

50%	8,83	1.338,47 A	1.159,15 A	593,38 A
75%	13,24	1.036,07 A	897,26 A	488,12 A
100%	17,65	845,19 A	731,96 A	414,59 A

- **Perhitungan Kapasitas FCO Trafo 200 kVA**
  Arus nominal sisi 20 kV untuk trafo 200 kVA sebesar 5,77 A. Dengan faktor pengali 1,5 kali arus nominal, diperoleh kebutuhan arus sebesar 8,7 A sehingga dipilih standar rating FCO sebesar 10 A.
- **Perhitungan Kapasitas Trafo 200 kVA**
  Pada sisi tegangan rendah 0,4 kV, arus nominal trafo 200 kVA diperoleh sebesar 288,67 A sebagai kapasitas penuh transformator. Dimana menurut standar yang ada, kapasitas trafo yang ideal ada pada angka 70-80% kapasitas nominalnya. Adapun kapasitas dari beban trafo 620.CC 200kVA pada beban puncak (pukul 18.00) didapatkan hasil 212,2A dengan presentase pembebanan sebesar 73,5%.

Berdasarkan hasil wawancara dengan tim teknik ULP Makale, kapasitas FCO yang terpasang pada trafo 620.CC 200 kVA adalah 8 A dan dinilai telah disesuaikan dengan kondisi pembebanan aktual di lapangan, mengingat penerapan teknis sering kali mempertimbangkan faktor operasional yang tidak sepenuhnya sama dengan teori. Namun, hasil perhitungan menunjukkan kapasitas ideal FCO untuk trafo 200 kVA seharusnya 10 A. Penyesuaian ini dilakukan berdasarkan kondisi beban riil di lapangan, mengingat penentuan ukuran FCO yang tidak tepat akan berdampak fatal bagi efisiensi dan keandalan sistem. Jika kapasitas FCO dipasang terlalu rendah, operasional trafo menjadi tidak optimal karena pembebanan maksimal tertahan di angka 50% (di bawah standar ideal 70-80%), yang pada akhirnya memicu kerugian susut daya bagi perusahaan. Sebaliknya, jika FCO dipasang terlalu besar sesuai dengan standarnya, trafo akan kehilangan fungsi proteksi lokalnya terhadap beban lebih; hal ini menyebabkan gangguan arus merambat ke pengaman tingkat atas (seperti Recloser atau PMT), yang berpotensi memicu pemadaman meluas pada satu penyulang dan secara langsung memperburuk metrik keandalan jaringan distribusi salah satunya SAIDI dan SAIFI.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan terkait penggunaan fuse link pada Fuse Cut Out (FCO) di ULP Makale, dapat disimpulkan bahwa fuse link merupakan elemen pengaman berupa kawat lebur yang dipasang pada tabung cut out di jaringan tegangan menengah dan berfungsi untuk memutus rangkaian ketika arus melebihi kapasitas nominalnya. Berdasarkan hasil perhitungan kapasitas kebutuhan fuse link pada Gardu Distribusi 620.CC dengan transformator 200 kVA didapatkan hasil sebesar 10 A. Namun, dalam implementasinya di lapangan, fuselink yang terpasang sebesar 8 A, dikarenakan terdapat penyesuaian kondisi pembebanan aktual transformator sebesar 73,5% serta tingginya frekuensi gangguan hubung singkat akibat faktor pohon di wilayah ULP Makale. Perbedaan antara hasil perhitungan teoritis dan praktik operasional ini menunjukkan adanya penyesuaian teknis terhadap kondisi aktual sistem. Di sisi lain, penggunaan rating fuse link yang tidak sesuai standar atau kurang tepat, berpotensi menyebabkan koordinasi proteksi menjadi tidak optimal, meningkatkan risiko kerusakan peralatan seperti transformator, menurunkan tingkat keandalan sistem distribusi yang tercermin pada indeks SAIDI dan SAIFI, serta menimbulkan kerugian operasional dan finansial bagi perusahaan.

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

DAFTAR PUSTAKA

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 (JEPCA)*, *7*(2), 39–43.

Fahrezi, I. A., & Liliana, L. (2021). Studi Kelayakan Pengaman Input-Output Trafo Distribusi Fuse Cut Out (FCO) dan NH Fuse di Area Payakumbuh. *MSI Transaction on Education*, *2*(4), 159–168.

Ferdyansyah, A., & Joko, J. (2024). Analisis Kinerja Fuse Cut Out Pada Sistem Distribusi 20KV Di PT. PLN (Persero) ULP Karangpilang. *JURNAL TEKNIK ELEKTRO*, *13*(2), 122–129. https://doi.org/10.26740/jte.v13n2.p122-129

Funan, F., & Sutama, W. (2020). Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Berdasarkan Indeks Keandalan SAIDI dan SAIFI pada PT PLN (PERSERO) Rayon Kefamenanu. *Jurnal Ilmiah Telsinas Elektro, Sipil Dan Teknik Informasi*, *3*(2), 32–36.

Galla, W. F., Sampeallo, A. S., & Daris, J. I. (2020). ANALISIS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA SALURAN UDARA 20 KV DI PENYULANG NAIONI PT. PLN (PERSERO) ULP KUPANG UNTUK MENENTUKAN KAPASITAS PEMUTUSAN FUSE CUT OUT MENGGUNAKAN ETAP 12.6. *Jurnal Media Elektro*, 101–112. https://doi.org/10.35508/jme.v0i0.3208

Kristian, T. A. (2022). Analisa Pengaruh Pemasangan Fuse Saver di Penyulang Karang Joang 13 PT PLN (Persero) UP3 Balikpapan. *Jurnal Teknik Elektro Uniba (JTE UNIBA)*, *7*(1), 290–295. https://doi.org/10.36277/jteuniba.v7i1.197

Malik, M. F., L, R., Saputri Alvira WS, W., & Rahmadani, A. (2025). ANALISIS PECAH BEBAN DAN PENAMBAHAN GARDU HUBUNG PENYULANG TINOMBO TERHADAP SUSUT TEKNIS SERTA JATUH TEGANGAN. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, *13*(3S1). https://doi.org/10.23960/jitet.v13i3S1.8011

Maskun, M. F. (2022). Analisis perbandingan efektivitas penempatan Fuse Cut Out (FCO) terhadap Lightning Arrester (LA) pada gardu distribusi ULP Daya. *Seminar Nasional Teknik Elektro Dan Informatika (SNTEI)*, *8*(1), 416–420.

Paembonan, E. J., Sultan, A. R., & Sofyan, S. (2021). Analisis Fuse Cut Out Sebagai Proteksi Penyulang Tondon pada Jaringan Distribusi di PT. PLN (Persero) ULP Rantepao. *PROCEEDING SEMINAR NASIONAL TEKNIK ELEKTRO DAN INFORMATIKA*.

Paliling, S., Sinaga, A. S., & Revassy, R. N. (2025). Analisis Fuse ut Out Sebagai Proteksi Penyulang Jeruk Dari Arus Hubung Singkat Pada Jaringan Distribusi. *Telecommunication, Electrical and Electronics Journal*, *3*(1), 7–13. https://doi.org/10.65306/j.teletronic.v3i1.90

Pasaribu, F. I., & ST, M. (2021). Analisa Proteksi Over Current Relay Pada Jaringan Tegangan Menengah 20KV Di PELINDO 1 Cabang Belawan. *RELE (Rekayasa Elektrikal Dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro*, *4*(1), 18–26.

Setiawan, A. F., & Suheta, T. (2020). Analisa Studi Keandalan Sistem Distribusi 20 KV di PT. PLN (PERSERO) UPJ Mojokerto Menggunakan Metode FMEA (FAILURE

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

MODE EFFECT ANALYSIS). *CYCLOTRON*, *3*(1). https://doi.org/10.30651/cl.v3i1.4304

Sidabutar, V. C. (2023). Analisa Kerja Fuse Cut Out (FCO) Pada Transformator Distribusi ML-170 PP. 01 Daerah Kerja PT. PLN (Persero) ULP Labuhan. *Jurnal Ilmiah Tenaga Listrik*, *3*(1), 34–42.

Sukadana, I. W., & Ramadhani, R. F. (2021). Koordinasi Proteksi Arus Lebih Penyulang Tembuku terhadap Indeks Keandalan Sistem Distribusi 20 KV PT. PLN (Persero) ULP Bangli. *Jurnal Elektronika, Listrik, Telekomunikasi, Komputer, Informatika, Sistem Kontrol (J-Eltrik)*.

Waruwu, M., & others. (2023). Pendekatan penelitian pendidikan: metode penelitian kualitatif, metode penelitian kuantitatif dan metode penelitian kombinasi (Mixed Method). *Jurnal Pendidikan Tambusai*, *7*(1), 2896–2910.