

Analisis Kinerja *Recloser* Pada Penyulang MK04 dan MK06 di ULP Meulaboh Kota

Hafidz Aulia Nanda^{1*}, Muliadi², Syukri³, T. Murisal Asyadi⁴, dan Cut Daili⁵
1, 2, 3, 4, 5) Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Iskandar Muda
Jl. Kampus UNIDA, Surien, Meuraxa, Kota Banda Aceh, Aceh 23234
*Corresponding author E-mail: hafidzauliananda@gmail.com

ABSTRACT

The electric power distribution system is the most important part of distributing electrical energy to consumers. As time goes by, the number of consumers will continue to grow, therefore developments must be made in the electricity distribution network. In the distribution network, disturbances often occur which can be detrimental to users. Various factors influence the occurrence of disorders, both internal and external factors. The distribution system in the network experiences many disturbances, including short-circuit current disturbances. To overcome this, protective equipment such as a recloser is needed. A recloser is a piece of equipment that works when there is a fault current and commands the operation of opening or closing the electric circuit breaker automatically according to a preset time. This research aims to determine the time and current settings and the recloser's performance when a fault current occurs. As a result, it was found that the 3-phase, 2-phase and 1-phase short circuit currents to the ground at a distance of 2 km (MK04) were respectively 3,553 A, 3,077 A and 2,590 A, while the 3-phase, 2-phase and 1-phase short circuit currents to the ground at the 5 km distance point (MK06) is 2,656 A, 2,299 A, and 1,487 A respectively. The re-setting results on the recloser have different TMS and Iset values from the existing results where the average re-setting value for the recloser TMS is 0.131 seconds (MK04) and 0.123 seconds (MK06). The results of re-setting the working time of the recloser according to the IEC 60255 standard, namely 0.2 seconds, it is hoped that the performance of the recloser can be more sensitive and selective in selecting areas that must be protected when a short circuit current occurs.

Keywords: Recloser, Short circuit current, Time setting, Relay, Feeder

ABSTRAK

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan bagian terpenting dalam menyalurkan energi listrik ke konsumen. Seiring berkembangnya zaman, pertumbuhan jumlah konsumen akan terus bertambah, maka dari itu harus dilakukannya perkembangan di jaringan distribusi listrik. Dalam jaringan distribusi sering terjadi gangguan yang dapat merugikan pengguna. Faktor yang mempengaruhi terjadinya gangguan ada berbagai macam, baik faktor internal maupun eksternal. Sistem distribusi pada jaringan banyak terjadi gangguan diantaranya gangguan arus hubung singkat. Untuk mengatasi hal tersebut dibutuhkan peralatan proteksi seperti recloser. Recloser merupakan suatu peralatan yang bekerja ketika ada arus gangguan dan memerintahkan operasi membuka atau menutup kepada pemutus aliran listrik secara otomatis sesuai waktu yang telah diatur. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui setting waktu dan arus serta untuk mengetahui kinerja pada recloser saat terjadi arus gangguan. Hasilnya, didapatkan bahwa arus hubung singkat 3fasa, 2fasa, dan 1fasa ke tanah pada titik jarak 2 km (MK04) masing-masing sebesar 3.553 A, 3.077 A, dan 2.590 A, sedangkan arus busung singkat 3fasa, 2fasa, dan 1fasa ke tanah pada titik jarak 5 km (MK06) masing-masing sebesar 2.656 A, 2.299 A, dan 1.487 A. Hasil re-setting pada recloser memiliki perbedaan nilai TMS dan Iset dengan hasil existing dimana rata-rata nilai re-setting TMS recloser adalah 0,131 detik (MK04) dan 0,123 detik (MK06). Hasil re-setting waktu kerja recloser sesuai standar IEC 60255 yaitu 0,2 detik, maka diharapkan kinerja dari recloser dapat lebih peka dan selektif dalam memilih daerah yang harus diproteksi ketika terjadi gangguan arus hubung singkat.

Kata Kunci: Recloser, Arus hubung singkat, Setting waktu, Relai, Penyulang

I. PENDAHULUAN

Di era globalisasi ini memberikan segala kemudahan bagi manusia untuk beraktivitas, namun untuk mengakses segala kemudahan tersebut di butuhkan pasokan energi listrik yang besar dan stabil. Ketergantungan atas energi listrik yang besar dan stabil ini bisa di atasi oleh penyedia

listrik saat ini yaitu PT. PLN (Persero) ULP Meulaboh Kota, yang di salurkan melalui jaringan distribusi. Jaringan distribusi merupakan bagian penting sarana penghubung dari sumber daya listrik besar (gardu induk) dengan para konsumen atau pemakai listrik baik itu pabrik, industri atau rumah tangga [1][2]. Sistem distribusi daya listrik di antaranya Jaringan Tegangan Menengah (JTM) 20 kV dan

Jaringan Tegangan Rendah (JTR) 380/220 Volt hingga ke kWh meter pelanggan [3][4].

Pada proses penyaluran sumber daya listrik sering mengalami permasalahan sehingga sering terjadi pemadaman atau terputusnya aliran listrik ke konsumen. Hal ini disebabkan oleh banyaknya gangguan yang terjadi pada jaringan listrik terutama yang dekat dengan konsumen listrik [5][6][7]. Menurut SPLN 52-3:1983, gangguan yang sering terjadi pada jaringan distribusi 20 kV tergolong menjadi dua, yaitu gangguan internal maupun eksternal [8]. Gangguan internal biasanya disebabkan oleh peralatan yang tidak berkerja sebagaimana mestinya sedangkan gangguan eksternal yaitu gangguan yang disebabkan oleh kondisi alam maupun makhluk hidup saat bersentuhan dengan kabel listrik [8][9]. Berdasarkan dari lamanya gangguan terbagi menjadi gangguan sementara (*temporary*) dan gangguan permanen. Apabila gangguan sementara tidak segera hilang, baik hilang dengan sendirinya maupun karena bekerjanya alat pengaman dapat berubah menjadi gangguan permanen [9]. Adapun gangguan pada saluran udara tegangan menengah (SUTM) sering disebabkan oleh petir, kerusakan peralatan, penuaan, sentuhan pohon serta makhluk hidup, sehingga untuk memaksimalkan SUTM dibutuhkan pemasangan *recloser* untuk memperkecil (meminimalisir) waktu terjadinya gangguan [10][11]. Saluran udara tegangan menengah yang sedang diteliti oleh penulis yaitu berada dalam kota dan daerah perdesaan dengan letak *recloser* tersebut berada pada pusat keramaian yang memiliki bangunan-bangunan tinggi dan pohon-pohon yang lebih tinggi dari tiang saluran udara tegangan menengah .

Untuk mengatasi hal tersebut maka pada penyulang MK04 dan MK06 PT. PLN (Persero) ULP Meulaboh dipasangkannya peralatan proteksi yang dapat mengatasi gangguan tersebut yaitu *recloser*. *Recloser* merupakan peralatan proteksi untuk mengamankan sistem jaringan distribusi dari arus gangguan. Sistem kerja *recloser* yaitu dengan cara menutup dan membuka balik secara otomatis sesuai dengan pengaturan waktunya. Saat terjadi gangguan temporer, *recloser* membuka sementara (*temporary*), kemudian akan menutup kembali setelah gangguan itu dibebaskan. Jika gangguan tersebut bersifat permanen, maka setelah membuka dan menutup balik sebanyak 3 kali lalu akan terus membuka (*lock out*) sampai gangguan tersebut dihilangkan [12].

Recloser mempunyai kontribusi yang sangat penting bagi kehidupan masyarakat sehingga bermanfaat bagi pengguna energi listrik dan juga bagi pihak PT. PLN (Persero) ULP Meulaboh. Adapun manfaat dari *recloser* diantaranya untuk memperkecil daerah gangguan secara sesaat sampai gangguan tersebut akan dianggap hilang, meminimalisir daerah yang terkena dampak gangguan, meminimalisir kerusakan pada trafo dan penyulang, mengurangi waktu pemutusan daya (*Supply interrupting time*) [12]. Apabila tidak memungkinkan melakukan pemutusan daya, namun bila terpaksa pemutusan tersebut diusahakan sesingkat mungkin sehingga tingkat keandalan yang diperoleh bisa lebih maksimal dan penyaluran tenaga listrik lebih terjamin. Dari latar belakang masalah tersebut, tujuan penelitian ini yaitu untuk menganalisis kinerja *recloser* sebagai pengaman arus hubung singkat pada penyulang MK04 dan MK06 di PT. PLN (Persero) ULP Meulaboh Kota dengan mendapatkan arus gangguan hubung

singkat 3_{fasa} , 2_{fasa} , dan 1_{fasa} ke tanah serta waktu kerja *recloser* berdasarkan titik jarak gangguan.

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu agar dapat meminimalisir area gangguan yang terjadi pada penyulang MK04 dan MK06 dan mempercepat waktu perbaikan sehingga keandalan sistem semakin meningkat serta pelayanan terhadap konsumen menjadi lebih baik.

II. METODE

Tempat dilakukannya penelitian ini yaitu di PT. PLN (Persero) ULP Meulaboh Kota dengan alamat di Jl. Geureute I, Kuta Padang, Kec. Johan Pahlawan, Kabupaten Aceh Barat, Aceh. Adapun studi kasus yang diambil adalah pada penyulang MK04 (SM Raja) dan MK06 (Lapang) dengan durasi penelitian selama 3 (tiga) bulan (mulai tanggal 10 April 2023 sampai dengan 27 Juni 2023).

Pada penyulang MK04 (SM Raja) dan MK06 (Lapang) menggunakan kabel yang sama yaitu tipe kabel AAAC 150 mm². *Recloser* yang digunakan pada penyulang MK04 (*recloser* tipe Entech EVRC 2A) dan (Schneider) pada penyulang MK06 memiliki nilai arus *exiting* (kondisi di lapangan) sebesar 630 A dan nilai *exiting* TMS *recloser* adalah 0,29 detik. Sedangkan nilai arus beban yang mengalir di *recloser* hanya sebesar 36A (MK04) dan 32 A (MK06). Selanjutnya, kedua penyulang tersebut dilayani oleh sebuah transformator yang memiliki daya sebesar 30 MVA dengan spesifikasi seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

TABEL 1. SPESIFIKASI TRAFU DAYA

Daya Hubung Singkat	
Phs	450 MVA
Rating Daya Trafo	
Daya	30 MVA
Tegangan Primer	150 kV
Tegangan Skunder	20 kV
Impedansi	12,5%

A. Metode Analisis

Sebelum menghitung arus hubung singkat, terlebih dahulu ditentukan dulu nilai impedansi base (Z_{base}) dan arus base (I_{base}), yaitu dengan menggunakan persamaan [13]:

$$Z_{\text{base}} = \frac{kV^2}{MVA} \quad (1)$$

$$I_{\text{base}} = \frac{kVA}{\sqrt{3} \times 20 \text{ kV}} \quad (2)$$

Dimana:

Z_{base} = Impedansi (Ohm)

I_{base} = Arus dasar (A)

kV = Tegangan (kV)

MVA = Daya (MVA)

Selanjutnya, dilakukan perhitungan pada titik yang lain dimana letaknya berada semakin jauh dari gardu induk, seperti impedansi sumber, impedansi trafo, dan impedansi penyulang. Impedansi sumber disisi 20 kV dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [13]:

$$Z_{\text{sumber}} = j \frac{kV^2}{MV_{\text{ASC}}} \quad (3)$$

$$Z_{\text{sumber}} (pu) = j \frac{Z_{\text{sumber}}}{Z_{\text{base}}} \quad (4)$$

Dimana :

- Z_{base} = Impedansi dasar (ohm)
- Z_{sumber} = Impedansi sumber (ohm)
- kV = Tegangan (kV)
- MVA_{sc} = Daya hubung singkat (MVA)

Setelah didapatkan arus hubung singkat disisi 20 kV dengan cara membandingkan dengan MVA_{sc} , maka impedansi trafo dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [13][14][15]:

$$Z_{baru} = Z_{lama} \times \left(\frac{kV_{lama}}{kV_{baru}}\right)^2 \times \left(\frac{MVA_{lama}}{MVA_{baru}}\right) \quad (5)$$

Dimana :

- Z = Impedansi trafo (Ohm)
- kV = Tegangan (kV)
- MVA = Daya trafo (MVA)

Perhitungan impedansi pada penyulang atau saluran sangat dipengaruhi oleh besarnya impedansi per km dari penyulang dimana besar nilainya sangat tergantung dari jenis penghantar, luas penampang penghantar, dan panjang penghantarnya. Nilai impedansi urutan positif dan urutan negatif pada penyulang dapat ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut [13][14][15]:

$$Z_1 = Z_2 \text{ Panjang Penyulang (km)} \times Z_1 \quad (6)$$

$$Z_0 \text{ Panjang Penyulang (km)} \times Z_0 \quad (7)$$

Dimana :

- Z_1 = Impedansi urutan positif (Ohm)
- Z_2 = Impedansi urutan negatif (Ohm)
- Z_0 = Impedansi urutan negatif (Ohm)

Perhitungan impedansi ekivalen dilakukan untuk mendapatkan besarnya nilai impedansi ekivalen positif, negatif, dan nol mulai dari area (titik) gangguan sampai kepada sumber. Persamaannya adalah sebagai berikut [13][14][15]:

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{sumber} + Z_T + Z_{saluran} \quad (8)$$

Dimana :

- Z_{eq} = Impedansi ekivalen
- Z_{sumber} = Impedansi sumber
- Z_T = Impedansi trafo
- $Z_{saluran}$ = Impedansi saluran

B. Perhitungan Arus Hubung Singkat

Untuk menganalisa suatu sistem tenaga listrik terkait arus gangguan hubung singkat perlu dilakukan beberapa tahapan perhitungan guna dapat mengetahui besaran nilai yang dihasilkan akibat gangguan tersebut, antara lain [14][15]:

1. Arus hubung singkat 3 fasa

$$I_{3fasa} = \frac{V}{Z_{1eq}} \quad (9)$$

2. Arus hubung singkat 2 fasa

$$I_{2fasa} = \frac{V_{ph}}{2 \times (Z_{1eq} + Z_{2eq})} \quad (10)$$

3. Arus hubung singkat 1 fasa ke tanah

$$I_{fasa \text{ tanah}} = \frac{3V}{2 \times (Z_{1eq} + Z_{2eq})} \quad (11)$$

Dimana :

- I_{3fasa} = Arus hubung singkat 3 fasa (A)
- V = Tegangan hubung singkat (V), dimana $V=1$
- I_{2fasa} = Arus hubung singkat 2 fasa (A)
- V_{ph} = Tegangan fasa-netral (V), dimana $V=\sqrt{3}$
- $I_{fasa \text{ tanah}}$ = Arus hubung singkat 1 fasa tanah (A)
- 3V = Tegangan fasa ke tanah (V), dimana $V=3$
- Z_{1eq} = Impedansi ekuivalen urutan positif (Ohm)
- Z_{2eq} = Impedansi ekuivalen urutan negatif (Ohm)
- Z_{0eq} = Impedansi ekuivalen urutan negatif (Ohm)

C. Menghitung Setelan Recloser

Setelan arus lebih (*recloser*) pada penelitian ini menggunakan sistem perhitungan rele *inverse time* sesuai dengan *British Standart*, dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [15]:

$$I_{set} = 1,05 \times I_{beban} \quad (12)$$

Dimana :

- I_{set} = Arus setting (A)
- I_{beban} = Arus beban (A)

Selanjutnya, menghitung waktu kerja rele dengan persamaan [16]:

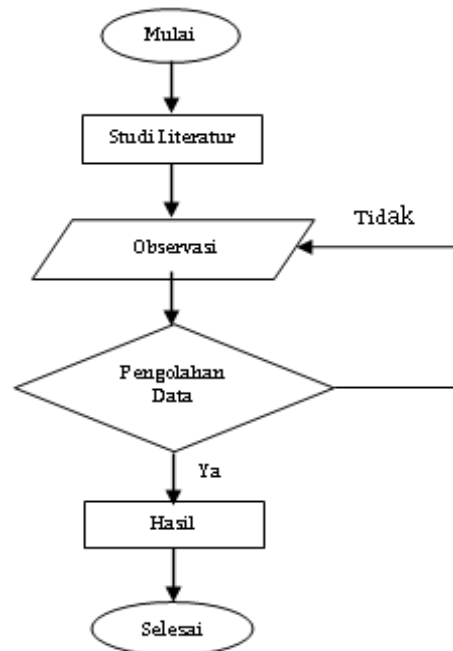
$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I_f}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} \times TMS \text{ atau } TMS = \frac{\left(\frac{I_f}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \times t \quad (13)$$

Keterangan :

- t = Waktu kerja (s)
- TMS = Time Multiple Setting (s)
- I_f = Arus hubung singkat (A)
- I_{set} = Arus setting (A)

D. Langkah-langkah Penelitian

Perhitungan arus gangguan hubung singkat, setting waktu, dan arus pada recloser dalam penelitian ini dilakukan pada penyulang MK04 (SM Raja) dan MK06 (Lapang). Adapun proses dilakukannya penelitian ini, selengkapnya dijelaskan dalam bentuk diagram alir berikut ini:



Gambar 1. Diagram alir penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Nilai Arus Hubung Singkat

Dari Tabel 1, trafo daya memiliki kapasitas sebesar 30 MVA dengan impedansi 12,5%. Nilai reaktansi urutan positif, negatif, dan nol dalam ohm didapatkan dari hasil perhitungan panjang saluran pada kedua penyulang, mulai dari 0,001 km sampai dengan 10 km. Penentuan nilai arus hubung singkat didapatkan dengan menggunakan persamaan (1) dan (2) berikut.

$$Z_{base} = \frac{kV^2}{MVA} = \frac{20^2 \text{ kV}}{30 \text{ MVA}} = 13,33 \Omega, \text{ dan}$$

$$I_{base} = \frac{kVA}{\sqrt{3} \times 20 \text{ kV}} = \frac{30.000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 20 \text{ kV}} = 866,05 \text{ A}$$

B. Perhitungan Impedansi Sumber Sisi 20 kV

Perhitungan impedansi sumber pada sisi 20 kV didapatkan dengan menggunakan persamaan (3) dan (4), yaitu:

$$Z_{sumber} = j \frac{kV^2}{MVA_{SC}} = j \frac{20 \text{ kV}^2}{450 \text{ MVA}} = j0,8889 \Omega$$

Z_{sumber} dalam pu didapatkan:

$$Z_{sumber} (pu) = j \frac{Z_{sumber}}{Z_{base}} = j \frac{0,8889}{13,33} = j0,067 \text{ pu}$$

C. Perhitungan Impedansi Trafo

Impedansi trafo dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (5) sehingga didapatkan:

$$Z_{baru} = Z_{lama} \times \left(\frac{kV_{lama}}{kV_{baru}} \right)^2 \times \left(\frac{MVA_{lama}}{MVA_{baru}} \right) \\ = j0,125 \times \left(\frac{20 \text{ kV}}{20 \text{ kV}} \right)^2 \times \left(\frac{30 \text{ MVA}}{30 \text{ MVA}} \right) = j0,125 \text{ pu}$$

D. Perhitungan Impedansi Urutan Positif, Negatif, dan Nol pada Saluran

Impedansi pada saluran (urutan positif, negatif, dan nol), dengan menggunakan persamaan (6) dan (7) didapatkan:

$$Z_1 = Z_2 \text{ Panjang Penyulang (Km)} \times Z_1$$

$$Z_0 \text{ Panjang Penyulang (Km)} \times Z_0$$

Pada MK04 dengan saluran yang berjarak 2 km, maka nilai impedansinya adalah:

$$Z_1 = Z_2 = \text{Jarak (AAAC } 150 \text{ mm}^2) \\ = 2 \text{ km } (0,2162 + j0,3305 \text{ Ohm/km}) \\ = 0,4324 + j0,6610 \text{ Ohm}$$

$Z_{saluran}$ positif, negatif (pu)

$$= \frac{0,4324 + j0,6610}{13,33} = 0,0324 + j0,0496 \text{ pu}$$

$Z_{saluran}$ nol (Z_0) (AAAC 150 mm²) x jarak

$$= (0,3631 + j1,6180 \text{ Ohm/km}) \times 2 \text{ km} \\ = 0,7262 + j3,2360 \text{ Ohm}$$

$Z_{saluran}$ nol (pu)

$$= \frac{0,7262 + j3,2360}{13,33} = 0,0545 + j0,2428 \text{ pu}$$

Selanjutnya, dengan cara yang sama maka didapatkan hasil perhitungan impedansi saluran pada lokasi gangguan tiap per km jaringan di penyulang MK04 dan MK06, hasil selengkapnya ditunjukkan pada Table 2:

TABEL 2. HASIL PERHITUNGAN IMPEDANSI URUTAN POSITIF, NEGATIF DAN NOL KE SATUAN PER UNIT (PU) PADA PENYULANG MK04 DAN MK06

Jarak (km)	$Z_1 = Z_2$		Z_0		$Z_1 = Z_2$		Z_0	
	R (Ω)	jX (Ω)	R (Ω)	jX (Ω)	R (pu)	jX (pu)	R (pu)	jX (pu)
0	0,00021	0,00033	0,00036	0,00162	0,00001	0,00002	0,00003	0,00012
1	0,2162	0,3305	0,3631	1,6180	0,0162	0,0248	0,0272	0,1214
Rec (MK04)	0,4324	0,6610	0,7262	3,2360	0,0324	0,0496	0,0545	0,2428
3	0,6486	0,9915	1,0893	4,854	0,0486	0,0744	0,0817	0,3641
4	0,8648	1,322	1,4524	6,472	0,0649	0,0992	0,1089	0,4855
Rec (MK06)	1,081	1,6525	1,8155	8,09	0,0810	0,1240	0,1362	0,6070
6	1,2972	1,983	2,1786	9,708	0,0973	0,1488	0,1634	0,7283
7	1,5134	2,3135	2,5417	11,326	0,1135	0,1735	0,1906	0,8497
8	1,7296	2,644	2,9048	12,944	0,1297	0,1983	0,2179	0,9710
9	1,9486	2,9745	3,2679	14,562	0,1460	0,2231	0,2451	1,0924
10	2,162	3,305	3,631	16,18	0,1622	0,2479	0,2724	1,2138

Dari Tabel 2 menunjukkan bahwa hasil perhitungan nilai impedansi dari kedua penyulang, yaitu penyulang MK04 dan MK06. Perhitungan tersebut di mulai dari titik 0,001 km sampai ke titik 10 km. Penempatan *recloser* pada penyulang MK04 yang berada pada titik 2 km, hasil perhitungan nilai impedansinya adalah $Z_1=Z_2$ (R= 0,4324, jX= 0,6610 Ohm) dan Z_0 (R= 0,7262, jX= 3,2360 Ohm). Hasil tersebut didapatkan dari hasil perkalian jarak dengan nilai impedansi kawat penghantar AAAC, selanjutnya di bagi dengan Z_{base} , hasilnya didapatkan $Z_1=Z_2$ (R= 0,0324, jX= 0,0496 pu) dan Z_0 (R= 0,0545, jX= 0,2428 pu). Begitu

juga dengan penempatan *recloser* pada penyulang MK06, hasil perhitungan nilai impedansinya didapatkan dengan menggunakan metode perhitungan yang sama, yang membedakan hanya pada titik penempatan *recloser*-nya saja yaitu pada titik 5 km. Pada kasus ini nilai impedansi penghantar dan panjang kedua penyulang adalah sama.

E. Perhitungan Impedansi Ekiuvalen

Impedansi ekuivalen urutan positif, negatif, dan nol pada penyulang MK04 dan MK06 dengan titik jarak 2 km dapat dihitung menggunakan persamaan (8), hasilnya yaitu:

$$\begin{aligned}
Z_{1eq} &= Z_{2eq} = Z_{sumber} + Z_T + Z_{saluran} \\
&= j0,067 + j0,125 + (0,0324 + j0,0496) \\
&= 0,0324 + j0,2416 \text{ Ohm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Z_{0eq} &= Z_{sumber} + Z_T + Z_{saluran} \\
&= j0,067 + j0,125 + (0,0545 + j0,2428) \\
&= 0,0545 + j0,4348 \text{ Ohm}
\end{aligned}$$

TABEL 3. IMPEDANSI EKIUIVALEN URUTAN POSITIF, NEGATIF DAN NOL MK04 DAN MK06

Jarak (km)	$Z_{1eq} = Z_{2eq}$		Z_{0eq}	
	R (Ω)	jX (Ω)	R (Ω)	jX (Ω)
0	0,00005	0,19202	0,00003	0,19212
1	0,0162	0,2168	0,0272	0,3134
Rec MK04	0,0324	0,2416	0,0545	0,4348
3	0,0486	0,2624	0,0817	0,5561
4	0,0649	0,2912	0,1089	0,6775
Rec MK06	0,0810	0,3160	0,1362	0,799
6	0,0973	0,3408	0,1634	0,9203
7	0,1135	0,3655	0,1906	1,0417
8	0,1297	0,3903	0,2179	1,1630
9	0,1460	0,4151	0,2451	1,2844
10	0,1622	0,4399	0,2724	1,4058

Dari Tabel 3 menunjukkan bahwa hasil perhitungan $Z_{ekivalen}$ pada penyalang MK04 di titik penempatan 2 km adalah sebesar $Z_{1eq} = Z_{2eq}$ ($R= 0,0324$, $jX= 0,2416$ Ohm) dan Z_0 ($R= 0,0545$, $jX= 0,4348$ Ohm) sedangkan hasil perhitungan $Z_{ekivalen}$ pada penyalang MK06 di titik penempatan 5 km adalah sebesar $Z_{1eq} = Z_{2eq}$ ($R= 0,0810$, $jX= 0,3160$ Ohm) dan Z_0 ($R= 0,1362$, $jX= 0,799$ Ohm). Hasil dalam tabel tersebut selanjutnya digunakan untuk menghitung besar arus hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, dan 1 fasa ke tanah yang terjadi pada kedua penyalang.

F. Perhitungan Arus Hubung Singkat

1. Perhitungan arus hubung singkat 3 fasa

$$I_{3fasa} = \frac{V}{Z_{1eq}} = \frac{1}{0,0324 + j0,2416} = 4,103 \text{ A}$$

Jadi, arus hubung singkat 3 fasa dengan titik jarak 2 km didapatkan:

$$I_{3fasa} = 4,103 \times 866,05 = 3553 \text{ A}$$

2. Perhitungan arus hubung singkat 2 fasa

$$\begin{aligned}
I_{2fasa} &= \frac{V_{ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq}} = \frac{\sqrt{3}}{2 \times (0,0324 + j0,2416)} \\
&= 3,553 \text{ A}
\end{aligned}$$

Jadi, arus hubung singkat 2 fasa dengan titik jarak 2 km didapatkan:

$$I_{2fasa} = 3,553 \times 866,05 = 3077 \text{ A}$$

3. Perhitungan arus hubung singkat 1 fasa ke tanah

$$\begin{aligned}
I_{1fasa \text{ ke tanah}} &= \frac{V}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}} \\
&= \frac{3}{2 \times (0,0324 + j0,2416) + (0,0545 + j0,4348)} \\
&= 2,9913 \text{ A}
\end{aligned}$$

Jadi, arus hubung singkat 1 fasa ke tanah dengan titik jarak 2 km didapatkan:

$$I_{1fasa \text{ ke tanah}} = 2,9913 \times 866,05 = 2590 \text{ A}$$

TABEL 4. HASIL PERHITUNGAN ARUS HUBUNG SINGKAT DI SETIAP TITIK JARAK PADA PENYULANG MK04 DAN MK06

Jarak (km)	Arus Hubung Singkat		
	3 Fasa (A)	2 Fasa (A)	1 Fasa Ke Tanah (A)
0	4.510	3.906	4.482
1	3.987	3.450	3.397
Rec MK04	3.553	3.077	2.590
3	3.247	2.810	2.087
4	2.903	2.514	1.736
Rec MK06	2.656	2.299	1.487
6	2.440	2.116	1.299
7	2.263	1.960	1.153
8	2.103	1.821	1.037
9	1.968	1.704	994
10	1.847	1.600	862

Dari Tabel 4 menunjukkan bahwa arus hubung singkat setiap titik jarak gangguan hasilnya berbeda, hal ini dipengaruhi oleh panjang jaringan, jenis kabel, dan titik letaknya gangguan. Arus hubung singkat terbesar terletak pada arus hubung singkat 3_{fasa} yang terletak pada jarak 0,001 km yaitu sebesar 4.510 A sedangkan arus hubung singkat terkecil terletak pada arus hubung singkat 1_{fasa ke tanah} yaitu sebesar 862 A. Jadi, dapat disimpulkan bahwa semakin dekat jarak titik gangguan dengan penyulang maka semakin besar nilai arus hubung singkatnya dan apabila nilai impedansi ekuivalennya besar maka arus gangguan hubung singkatnya lebih kecil.

G. Perhitungan Waktu Kerja Recloser

Menurut standar IEC 602255, waktu kerja *recloser* adalah sebesar 0,2 detik agar dapat bekerja lebih cepat dari waktu kerja sisi *outgoing*. Nilai arus setting dapat ditentukan sesuai dengan arus beban yang mengalir pada masing-masing penyulang, yaitu penyulang MK04 sebesar 36A dan penyulang MK06 sebesar 32A. Selanjutnya, arus gangguan hubung singkat 3_{fasa} pada *recloser* adalah sebesar 3.553A dengan titik jarak 2 km, maka dengan menggunakan persamaan (12) arus setting dapat dihitung sebagai berikut:

- Arus setting *recloser* pada penyulang MK04

$$\begin{aligned}
I_{set} &= 1,05 \times I_{beban} \\
&= 1,05 \times 36 \text{ A} = 37,8 \text{ A}
\end{aligned}$$

- Arus setting *recloser* pada penyulang MK06

$$\begin{aligned}
I_{set} &= 1,05 \times I_{beban} \\
&= 1,05 \times 32 \text{ A} = 33,6 \text{ A}
\end{aligned}$$

Selanjutnya, sebagai contoh perhitungan dalam penelitian ini diambil pada kasus gangguan hubung singkat 3_{fasa}, 2_{fasa}, dan 1_{fasa ke tanah} yang terjadi pada penyulang MK04 di titik jarak 2 km, maka dengan persamaan (13) nilai TMS *recloser* didapatkan sebagai berikut:

- Nilai TMS *recloser* (I_{hs} 3_{fasa})

$$\begin{aligned}
TMS &= \frac{\left(\frac{I_f}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \times t \\
TMS &= \frac{\left(\frac{3553}{37,8}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \times 0,2 = \frac{1,095121 - 1}{0,14} \times 0,2 \\
TMS &= \frac{0,095121}{0,14} \times 0,2 = 0,135 \text{ detik}
\end{aligned}$$

- Nilai TMS *recloser* (I_{hs} 2_{fasa})

$$TMS = \frac{\left(\frac{I_f}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}{0,14} x t$$

$$TMS = \frac{\left(\frac{3077}{37,8}\right)^{0,02} - 1}{0,14} x 0,2 = \frac{1,091975-1}{0,14} x 0,2$$

$$TMS = \frac{0,091975}{0,14} x 0,2 = 0,131 \text{ detik}$$

- Nilai TMS *recloser* (I_{hs} 1_{fasa ke tanah})

$$TMS = \frac{\left(\frac{I_f}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}{0,14} x t$$

$$TMS = \frac{\left(\frac{2590}{37,8}\right)^{0,02} - 1}{0,14} x 0,2 = \frac{1,088219-1}{0,14} x 0,2$$

$$TMS = \frac{0,088219}{0,14} x 0,2 = 0,126 \text{ detik}$$

Untuk hasil perhitungan nilai TMS *recloser* pada kasus gangguan hubung singkat 3_{fasa}, 2_{fasa}, dan 1_{fasa ke tanah} yang terjadi pada penyulang MK04 dari titik jarak 0 km sampai dengan titik jarak 10 km, selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 5.

TABEL 5. NILAI TMS *RECLOSER* PADA GANGGUAN 3 FASA, 2 FASA, DAN 1 FASA KE TANAH PADA PENYULANG MK04

Jarak (km)	Nilai TMS <i>Recloser</i> (detik)		
	Gangguan 3 Fasa	Gangguan 2 Fasa	Gangguan 1 Fasa ke Tanah
0	0,143	0,138	0,143
1	0,139	0,135	0,134
Rec MK04	0,135	0,131	0,126
3	0,133	0,128	0,119
4	0,129	0,125	0,113
5	0,126	0,122	0,108
6	0,124	0,119	0,104
7	0,128	0,117	0,101
8	0,119	0,115	0,097
9	0,117	0,113	0,096
10	0,115	0,111	0,092

Dari hasil perhitungan (Tabel 5), menunjukkan bahwa nilai TMS *recloser* pada penyulang MK04 dengan titik jarak 2 km pada gangguan 3_{fasa}, 2_{fasa}, dan 1_{fasa ke tanah} masing-masing selama 0,135 detik, 0,131 detik, dan 0,126 detik. Selanjutnya, dengan metode yang sama didapatkan hasil perhitungan nilai TMS *recloser* pada kasus gangguan hubung singkat 3_{fasa}, 2_{fasa}, dan 1_{fasa ke tanah} yang terjadi pada penyulang MK06 dari titik jarak 0 km sampai dengan titik jarak 10 km, selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 6.

TABEL 6. NILAI TMS *RECLOSER* PADA GANGGUAN 3 FASA, 2 FASA, DAN 1 FASA KE TANAH PADA PENYULANG MK06

Jarak (km)	Nilai TMS <i>Recloser</i> (detik)		
	Gangguan 3 Fasa	Gangguan 2 Fasa	Gangguan 1 Fasa ke Tanah
0	0,147	0,145	0,146
1	0,143	0,138	0,138
2	0,139	0,135	0,129
3	0,136	0,132	0,122
4	0,133	0,128	0,117
Rec MK06	0,130	0,125	0,112
6	0,127	0,123	0,108
7	0,128	0,121	0,104
8	0,119	0,118	0,101
9	0,117	0,116	0,100
10	0,115	0,114	0,095

Dari hasil perhitungan (Tabel 6), menunjukkan bahwa nilai TMS *recloser* pada penyulang MK04 dengan titik jarak 2 km pada gangguan 3_{fasa}, 2_{fasa}, dan 1_{fasa ke tanah} masing-masing selama 0,130 detik, 0,125 detik, dan 0,112 detik. Jadi dari kedua hasil tersebut (Tabel 5 dan 6) menunjukkan bahwa nilai setting *recloser* pada penyulang MK04 dan MK06 memiliki perbedaan antara nilai *exiting* dengan nilai re-setting. Kondisi di lapangan, arus pada *recloser* sebesar 630 A dan nilai *exiting* TMS 0,29 detik. Sedangkan nilai arus setting pada *recloser* hasil perhitungan masing-masing sebesar 37,8 A (MK04) dan 33,6 A (MK06). Ini dikarenakan arus beban yang mengalir di *recloser* masing-masing sebesar 36 A dan 32 A. Nilai *exiting* TMS *recloser* adalah 0,29 detik sedangkan nilai TMS *recloser* hasil perhitungan (re-setting) rata-rata pada semua jenis gangguan adalah 0,131 detik (MK04) dan 0,123 detik (MK06). Kecilnya nilai TMS *recloser* dari hasil perhitungan (re-setting) tersebut dikarenakan arus setting-nya yang bernilai kecil dan arus hubung singkat 3_{fasa}, 2_{fasa}, dan 1_{fasa ke tanah} di *recloser* bernilai masing-masing 3.553 A, 3.077 A, dan 2.590 A (MK04) dan 2.656 A, 2.299 A, dan 1.487 A (MK06).

H. Pemeriksaan Waktu Kerja *Recloser*

Pemeriksaan waktu kerja *recloser* dilakukan agar dapat diketahui waktu kerjanya apabila terindikasi adanya gangguan hubung singkat 3_{fasa}, 2_{fasa}, dan 1_{fasa ke tanah} dengan titik jarak gangguan 0 km sampai dengan 10 km pada penyulang MK04 dan MK06.

Adapun contoh perhitungan untuk mendapatkan nilai waktu kerja *recloser* yang diambil pada kasus gangguan hubung singkat 3_{fasa}, 2_{fasa}, dan 1_{fasa ke tanah} yang terjadi pada penyulang MK04 di titik jarak 2 km, maka dengan persamaan (13) nilai waktu kerja *recloser* didapatkan sebagai berikut:

- Nilai waktu kerja *recloser* (I_{hs} 3_{fasa})

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I_f}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} x TMS$$

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{3,553}{37,8}\right)^{0,02} - 1} x 0,135 = \frac{0,14}{1,095121 - 1} x 0,135$$

$$t = \frac{0,14}{0,095121} x 0,135 = 0,1987 \text{ detik}$$

- Nilai waktu kerja *recloser* (I_{hs} 2_{fasa})

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I_f}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} x TMS$$

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{3,077}{37,8}\right)^{0,02} - 1} x 0,131 = \frac{0,14}{1,091975 - 1} x 0,131$$

$$t = \frac{0,14}{0,091975} x 0,131 = 0,1994 \text{ detik}$$

- Nilai waktu kerja *recloser* (I_{hs} 1_{fasa ke tanah})

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I_f}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} x TMS$$

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{2,590}{37,8}\right)^{0,02} - 1} x 0,126 = \frac{0,14}{1,088219 - 1} x 0,126$$

$$t = \frac{0,14}{0,088219} x 0,126 = 0,2000 \text{ detik}$$

Untuk hasil perhitungan nilai waktu kerja *recloser* pada kasus gangguan hubung singkat 3_{fasa}, 2_{fasa}, dan 1_{fasa ke tanah} yang terjadi pada penyulang MK04 dari titik jarak 0 km sampai dengan titik jarak 10 km, selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 7

TABEL 7. WAKTU KERJA *RECLOSER* PADA GANGGUAN 3 FASA, 2 FASA, DAN 1 FASA KE TANAH PADA PENYULANG MK04

Jarak (km)	Nilai Waktu Kerja <i>Recloser</i> (detik)		
	Gangguan 3 Fasa	Gangguan 2 Fasa	Gangguan 1 Fasa ke Tanah
0	0,1995	0,1988	0,1998
1	0,1993	0,2000	0,1993
Rec MK04	0,1987	0,1994	0,2000
3	0,1999	0,1991	0,1995
4	0,1991	0,1998	0,1989
5	0,1987	0,1995	0,1984
6	0,1997	0,1987	0,1986
7	0,2101	0,1993	0,1999
8	0,1991	0,1998	0,1983
9	0,1991	0,1999	0,1989
10	0,1990	0,1998	0,1996

Dari hasil perhitungan (Tabel 7), menunjukkan bahwa nilai waktu kerja *recloser* pada penyulang MK04 dengan titik jarak 2 km pada gangguan 3_{fasa}, 2_{fasa}, dan 1_{fasa ke tanah} masing-masing selama 0,1987 detik, 0,1994 detik, dan 0,1999 detik. Selanjutnya, dengan metode yang sama didapatkan hasil perhitungan nilai waktu kerja *recloser* pada kasus gangguan hubung singkat 3_{fasa}, 2_{fasa}, dan 1_{fasa ke tanah} yang terjadi pada penyulang MK06 dari titik jarak 0 km sampai dengan titik jarak 10 km, selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 8.

TABEL 8. WAKTU KERJA *RECLOSER* PADA GANGGUAN 3 FASA, 2 FASA, DAN 1 FASA KE TANAH PADA PENYULANG MK06

Jarak (km)	Nilai Waktu Kerja <i>Recloser</i> (detik)		
	Gangguan 3 Fasa	Gangguan 2 Fasa	Gangguan 1 Fasa ke Tanah
0	0,1999	0,2034	0,1988
1	0,1997	0,1991	0,1998
2	0,1992	0,1999	0,1989
3	0,1989	0,1996	0,1984
4	0,1996	0,1988	0,1995
Rec MK06	0,1993	0,1984	0,1991
6	0,1987	0,1993	0,1994
7	0,2040	0,1999	0,1987
8	0,1932	0,1987	0,1992
9	0,1931	0,1988	0,1997
10	0,1930	0,1987	0,1984

Dari hasil perhitungan (Tabel 8), menunjukkan bahwa nilai waktu kerja *recloser* pada penyulang MK06 dengan titik jarak 2 km pada gangguan 3_{fasa}, 2_{fasa}, dan 1_{fasa ke tanah} masing-masing selama 0,1993 detik, 0,1984 detik, dan 0,1991 detik. Berdasarkan hasil perhitungan (data pada Tabel 7 dan Tabel 8) juga menunjukkan bahwa besarnya arus gangguan hubung singkat dapat mempengaruhi waktu kerja *recloser*. Rata-rata waktu kerja *recloser* pada penyulang MK04 yaitu 0,200 detik pada gangguan hubung singkat 3_{fasa}, serta 0,199 detik pada gangguan hubung singkat 2_{fasa} dan 1_{fasa ke tanah}. Sedangkan rata-rata waktu kerja *recloser* pada penyulang MK06 saat terjadi gangguan arus hubung singkat 3_{fasa}, 2_{fasa}, dan 1_{fasa ke tanah} yaitu masing-masing selama 0,198 detik, 0,200 detik, dan 0,199 detik.

Jadi, dari hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa waktu kerja *recloser* pada gangguan arus hubung singkat 3_{fasa}, 2_{fasa}, dan 1_{fasa ke tanah} masih sesuai dengan standar IEC

602255 yaitu 0,2 detik. Oleh karena demikian dengan hasil tersebut diharapkan kinerja *recloser* dapat lebih peka dan selektif dalam memilih zona atau area yang harus diproteksi ketika terjadi gangguan arus hubung singkat.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil analisa kinerja *recloser* yang dilakukan pada penyulang MK04 dan MK06 di ULP Meulaboh Kota dapat disimpulkan bahwa arus hubung singkat 3fasa, 2fasa, dan 1fasa ke tanah pada titik jarak 0 km masing-masing sebesar 4.510 A, 3.906 A, dan 4.482 A. Arus busung singkat 3fasa, 2fasa, dan 1fasa ke tanah pada titik jarak 2 km (MK04) masing-masing sebesar 3.553 A, 3.077 A, dan 2.590 A, sedangkan arus busung singkat 3fasa, 2fasa, dan 1fasa ke tanah pada titik jarak 5 km (MK06) masing-masing sebesar 2.656 A, 2.299 A, dan 1.487 A. Hasil re-setting pada *recloser* memiliki perbedaan nilai TMS dari Iset dengan hasil existing dimana rata-rata nilai re-setting TMS *recloser* adalah 0,131 detik (MK04) dan 0,123 detik (MK06). Ini dikarenakan arus pada *recloser* sebesar 630 A dan nilai exiting TMS 0,29 detik sedangkan nilai arus setting pada *recloser* hasil perhitungan masing-masing sebesar 37,8 A (MK04) dan 33,6 A (MK06) sehingga arus beban yang mengalir di *recloser* masing-masing sebesar 36 A dan 32 A. Hasil re-setting waktu kerja *recloser* sesuai standar IEC 60255, maka diharapkan kinerja dari *recloser* dapat lebih peka dan selektif dalam memilih daerah yang harus diproteksi ketika terjadi gangguan arus hubung singkat.

REFERENSI

- [1] Jordan, Salahuddin, Badriana, S. Meliala, and Kartika, "Analisis Penempatan *Recloser* Guna Memaksimalkan Kinerja Sistem Tenaga Listrik Di Jaringan Distribusi 20 kV Pada PT. PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Sigli," *J. Energi Elektr.*, vol. 10, no. 01, pp. 30–34, 2021, doi: 10.29103/jee.v10i1.4984.
- [2] S. Rezki, Teuku Mahmuda Rahmat, Muliadi, "Analisis Pemasangan Arrester Pada Gardu Distribusi Penyulang Johan Pahlawan ULP Meulaboh Kota," *Aceh J. Electr. Eng. Technol.*, vol. 3, no. 1, pp. 25–32, 2023.
- [3] C. Ariwibowo, "Trafo Distribusi Pada Jaringan Tegangan Menengah 20KV di PT PLN (Persero) UPJ Semarang Selatan," 2009.
- [4] I. M. A. Nugraha and I. G. M. N. Desnanjaya, "Penempatan Dan Pemilihan Kapasitas Transformator Distribusi Secara Optimal Pada Penyulang Perumnas," *J. Resist. (Rekayasa Sist. Komputer)*, vol. 4, no. 1, pp. 33–44, 2021, doi: 10.31598/jurnalresistor.v4i1.722.
- [5] A. Chandra, "Studi Aliran Daya Pada Penyulang GH-06 PT. PLN (Persero) Rayon Lancang Garam Lhokseumawe," *Aceh J. Electr. Eng. Technol.*, vol. 3, no. 1, pp. 19–24, 2023.
- [6] A. J. Mumu, "Analisis Keandalan Sistem Distribusi Di Kotamobagu Menggunakan Indeks Saifi Dan Saidi," Universitas Sam Ratulangi, 2021.
- [7] C. F. Hutabarat, "Analisa Penggunaan *Recloser* Pada Sumt 20 kV Sistem 3 Fasa 4 Kawat Di PT PLN (Persero) ULP Siborongborong," Universitas HKBP Nommensen, 2022.
- [8] G. A. Ibrahimusa, Joko, T. Wrahatnolo, and A. I. Agung, "Analisis Koordinasi Setting Relay Proteksi Pada Jaringan Distribusi 20KV Penyulang Brenggolo Di PT. PLN UP3 Kediri Gardu Induk Pare," *J. Tek. Elektro*, vol. 12, no. 1, pp. 28–36, 2022.
- [9] R. Duyo, "Analisis Penyebab Gangguan Jaringan pada Distribusi Listrik Menggunakan Metode Fault Tree Analysis," *J. Tek. Elektro UNISMUH*, vol. 12, no. 2, pp. 1–12, 2020.
- [10] A. Muh, F. Ramadhan, S. L. Ramadani, Andriani, and A. A. H. Lateko, "Analisis Teknis dan Ekonomis Pemeliharaan Peralatan Saluran Udara Tegangan Menengah (Sumt) PT . PLN (Persero) Up3 Makassar Utara," *J. Pendidik. Tambusai*, vol. 7, no. 3, pp. 20790–20795, 2023.
- [11] M. A. Bayu and N. Arif, "Analisa Penggunaan *Recloser* 3 Fasa 20 Kv Penyulang Pajalau Untuk Pengaman Arus Lebih Pt. Pln (Persero) Ulp Kalebajeng," *J. Multidisiplin Sainstek*, vol. 01, no. 03, pp. 1–20, 2023.
- [12] M. Z. Muhtam, W. Handajadi, and D. B. Firman, "Prototipe *Recloser* Sebagai Pengaman Arus Bocor," *J. Elektr.*, vol. 5, no. 1, pp. 81–88, 2018.
- [13] Ario Putra and Firdaus, "Analisa Penggunaan *Recloser* Untuk Pengaman Arus Lebih Pada Jaringan Distribusi 20 kv Gardu Induk Garuda Sakti," *Jom FTEKNIK*, vol. 4, no. 1, pp. 1–10, 2017.
- [14] F. R. Syah, S. I. Haryudo, U. T. Kartini, and N. Kholis, "Analisis Hubung Singkat pada Sistem Distribusi 20 kV PT. Pertamina EP Asset 4 Field Cepu Distrik Ledok menggunakan ETAP 12.6.0," *J. Tek. Elektro*, vol. 10, no. 3, pp. 699–706, 2021.

- [15] A. Pauzan, A. Azis, and I. K. Febrianti, "Analisa Penggunaan Recloser Untuk Memproteksi Arus Lebih Pada Jaringan Distribusi di PT.PLN (Persero) ULP Mariana Gardu Induk Prajin," *J. Surya Energy*, vol. 6, no. 1, pp. 17–24, 2022, doi: 10.32502/jse.v6i1.3097.
- [16] M. M. Zulfarhain, Y. P. Hikmat, and K. Kunci, "Proteksi Arus Lebih Gangguan Fasa dan Gangguan Tanah Untuk Simulator Koordinasi Proteksi Pada Transformator Tenaga," pp. 13–14, 2022.