

Analisa Kerja Recloser Pada Penyulang KB-04 Alue Ie Mirah PT. PLN (Persero)

Teuku Murisal Asyadi^{1*}, Nurlaila Amna¹, Muliadi¹, Syukri¹

¹Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Iskandar Muda
Jl. Kampus Unida – Surien No. 15, Kec. Meuraxa, Kota Banda Aceh, Aceh
E-mail: t.murisal91@gmail.com

Naskah Masuk: 20 Juli 2025; Diterima: 22 Agustus 2025; Terbit: 31 Agustus 2025

ABSTRAK

Abstrak - Recloser merupakan perangkat penting dalam sistem distribusi tenaga listrik, yang berfungsi untuk mengamankan jaringan dari gangguan sementara dengan cara memutuskan aliran listrik dan menghubungkannya kembali secara otomatis. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui *setting* waktu dan arus serta untuk menganalisis sistem kerja *recloser* pada penyulang KB-04 di Alue Ie Mirah, yang dikelola oleh PT. PLN (Persero). Penelitian dilakukan dengan metode studi lapangan dan analisis gangguan hubung singkat yang terjadi pada penyulang KB-04. Hasil analisis menunjukkan bahwa arus gangguan arus hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, dan 1 fasa ke tanah dengan jarak 3 km pada penyulang KB-04 adalah masing-masing sebesar 3,24 kA, 1,40 kA dan 1,18 kA dengan waktu kerja *recloser* selama 0,2 detik ($I_{hs\ 3fasa}$) dan 0,1 detik ($I_{hs\ 2fasa}$ dan $I_{hs\ 1fasa\ ke\ tanah}$). Kerja *recloser* pada penyulang KB-04 sudah sesuai dengan standar IEC 6022 karena waktu *setting recloser* dari hasil analisis dengan nilai *existing* (nilai ketetapan yang ada di lapangan) sama-sama 0,2 detik. Semakin besar nilai impedansi, arus gangguan yang terjadi pada penyulang KB-04 akan semakin kecil begitu juga sebaliknya.

Kata kunci: Recloser, Penyulang, Arus Hubung Singkat, Waktu Kerja, Arus Setting

ABSTRACT

Abstract - Recloser is an important device in the power distribution system, which functions to secure the network from temporary disturbances by disconnecting the electric current and reconnecting it automatically. This study aims to determine the time and current settings and to analyze the recloser working system on the KB-04 feeder in Alue Ie Mirah, which is managed by PT. PLN (Persero). The study was conducted using the field study method and short circuit fault analysis that occurred on the KB-04 feeder. The results of the analysis showed that the short circuit current of 3 phases, 2 phases, and 1 phase to ground with a distance of 3 km on the KB-04 feeder were 3,24 kA, 1,40 kA and 1,18 kA respectively with a recloser working time of 0,2 seconds ($I_{hs\ 3phase}$) and 0,1 seconds ($I_{hs\ 2phase}$ and $I_{hs\ 1phase\ to\ ground}$). The recloser work on the KB-04 feeder is in accordance with the IEC 6022 standard because the recloser setting time from the analysis results with the existing value (the fixed value in the field) is both 0,2 seconds. The greater the impedance value, the smaller the fault current that occurs on the KB-04 feeder and vice versa.

Keywords: Recloser, Feeder, Short circuit current, Working time, Setting current

Copyright © 2025 Jurnal Teknik Elektro dan Komputasi (ELKOM)

1. PENDAHULUAN

Di era globalisasi ini, segala kemudahan bagi manusia untuk beraktivitas telah tersedia, namun untuk mengakses kemudahan tersebut diperlukan pasokan energi listrik yang besar dan stabil. Ketergantungan pada energi listrik yang besar dan stabil ini dapat diatasi oleh penyedia listrik saat ini, yaitu PT. PLN (Persero) ULP Idi, yang disalurkan melalui jaringan distribusi. Jaringan distribusi merupakan bagian penting dari sarana penghubung antara sumber daya listrik besar (gardu induk) dan para konsumen atau pengguna listrik, baik itu pabrik, industri, maupun rumah tangga [1], [2].

Hal ini disebabkan oleh banyaknya gangguan yang terjadi pada jaringan listrik, terutama yang dekat dengan konsumen. Gangguan yang sering terjadi pada jaringan distribusi 20 kV tergolong menjadi dua kategori, yaitu gangguan internal dan eksternal [3]. Gangguan internal biasanya disebabkan oleh peralatan yang tidak berfungsi sebagaimana mestinya, sedangkan gangguan eksternal disebabkan oleh kondisi alam atau makhluk hidup yang bersentuhan dengan kabel listrik [4].

Berdasarkan lamanya gangguan, dapat dibagi menjadi gangguan sementara (*temporary*) dan gangguan permanen. Apabila gangguan sementara tidak segera teratasi, baik dengan sendirinya maupun melalui alat pengaman, maka dapat berubah menjadi gangguan permanen [5]. Gangguan pada Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) sering kali disebabkan oleh petir, kerusakan peralatan, penuaan, serta sentuhan dari pohon dan makhluk hidup. Oleh karena itu, untuk memaksimalkan kinerja SUTM, diperlukan pemasangan recloser yang bertujuan untuk mengurangi atau meminimalkan waktu terjadinya gangguan [6], [7].

Untuk mengatasi masalah tersebut, pada penyulang KB-04 Alue Ie Mirah PT. PLN (Persero) perlu dilakukan pemasangan peralatan proteksi yang dapat menangani gangguan tersebut, yaitu recloser. Recloser adalah peralatan proteksi yang berfungsi untuk melindungi sistem jaringan distribusi dari arus gangguan. Cara kerja recloser adalah dengan menutup dan membuka kembali secara otomatis sesuai dengan pengaturan waktu yang telah ditentukan. Ketika terjadi gangguan temporer, recloser akan membuka sementara (*temporary*) dan kemudian menutup kembali setelah gangguan tersebut diatasi. Namun, jika gangguan bersifat permanen, recloser akan membuka dan menutup kembali sebanyak 3 kali, lalu akan tetap membuka (lock out) sampai gangguan tersebut dihilangkan [8], [9].

2. KAJIAN PUSTAKA

Sebelum adanya recloser, sering kali terjadi gangguan hubung singkat yang dapat menyebabkan kerusakan pada trafo dan penyulang yang sulit dihindari atau diminimalisir. Pemadaman listrik yang meluas terjadi karena masih bergantung pada *Load Break Switch* (LBS), sehingga pemutusan daya listrik sering berlangsung lama hingga para operator dapat memperbaiki jaringan distribusi yang mengalami gangguan tersebut, dan tingkat keandalan belum optimal [10], [11]. Oleh karena itu, pemasangan recloser pada jaringan distribusi listrik menjadi sangat penting dan memiliki kontribusi yang signifikan bagi kehidupan masyarakat, sehingga memberikan manfaat bagi pengguna energi listrik dan juga bagi pihak PT. PLN (Persero).

2.1. Nilai Impedansi (Z_{base}) dan Arus (I_{base})

Dalam metode ini, sistem 3 fasa unbalanced didekomposisikan dalam tiga jaringan urutan yaitu nol, negatif dan positif dan kemudian matriks impedansi atau admitansinya dapat dibuat [7]. Dalam menghitung impedansi dikenal tiga macam impedansi urutan yaitu:

- Impedansi urutan positif (Z_1), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan positif.
- Impedansi urutan negatif (Z_2), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan negatif.
- Impedansi urutan nol (Z_0), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan nol.

Sebelum melakukan perhitungan arus hubung singkat, maka kita harus memulai perhitungan pada penentuan nilai arus hubung singkat, adapun untuk rumusnya sebagai berikut [13] ;

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

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

Keterangan:

Z_{base} = Impedansi (Ohm)

I_{base} = Arus dasar (A)

kV = Tegangan (kV)

MVA = Daya (MVA)

2.2. Nilai Impedansi

1. Impedansi Sumber

Untuk menghitung impedansi sumber disisi 20 kV, maka dilihat dengan rumus berikut [13] ;

$$Z_{sumber} = j \frac{kV^2}{MVA_{sc}} \quad (3)$$

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

Keterangan:

Z_{base} = Impedansi dasar (ohm)

Z_{sumber} = Impedansi sumber (ohm)

kV = Tegangan (kV)

MVA_{sc} = Daya hubung singkat (MVA)

2. Impedansi Transformator

Untuk menghitung impedansi transformator dapat menggunakan rumus berikut [13] ;

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

Keterangan:

Z = Impedansi trafo (Ohm)

kV = Tegangan (kV)

MVA = Daya trafo (MVA)

3. Impedansi Saluran

Perhitungan impedansi pada saluran penyulang tergantung dari besarnya impedansi per Km dari penyulang yang akan dihitung, dimana besar nilainya tergantung pada jenis penghantarnya, yaitu dari bahan apa penghantar tersebut dibuat dan juga tergantung dari besar kecilnya penampang dan panjang penghantarnya.

Untuk menentukan nilai impedansi penyulang dapat ditentukan dengan menggunakan rumus [13] ;

$$Z_1 = Z_2 \text{ panjang saluran (km)} \times Z_1 \quad (6)$$

$$Z_0 = Z_1 \text{ panjang saluran (km)} \times Z_0 \quad (7)$$

Keterangan:

Z₁ = Impedansi urutan positif (Ohm)

Z₂ = Impedansi urutan negatif (Ohm)

Z₀ = Impedansi urutan negatif (Ohm)

4. Impedansi Ekuivalen

Sehingga untuk impedansi ekuivalen jaringan dapat dihitung dengan menggunakan rumus [15] ;

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

Keterangan:

Z_{eq} = Impedansi ekuivalen

Z_{sumber} = Impedansi sumber

ZT = Impedansi trafo

Z_{saluran} = Impedansi saluran

2.3. Waktu Kerja Recloser

Sehingga untuk menentukan waktu kerja *recloser* dapat dihitung dengan persamaan [15] ;

$$I_{set} = 1,05 \times I_{beban} \quad (9)$$

Setelah diketahui nilai I_{set} maka selanjutnya dihitung nilai TMS *recloser* 3_{fasa}, 2_{fasa}, dan 1_{fasa} ke tanah pada gangguan hubung singkat menggunakan persamaan sebagai berikut [13] ;

$$TMS = \frac{\left(\frac{I_f}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1}{0,14} \times t \quad (10)$$

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan yaitu dengan cara menganalisis data menggunakan formula matematis sesuai dengan hasil kajian pustaka. Adapun data yang diperoleh yaitu berupa data primer maupun data sekunder dan selanjutnya diolah dengan metode perhitungan matematis sesuai dengan rumus yang diperoleh dari berbagai referensi. Untuk memperoleh informasi dan data yang akurat terkait trafo daya, peralatan *recloser* dan jaringan distribusi 20 kV penyulang KB 04 Alue Ie Mirah yang relevan dengan permasalahan penelitian, maka penulis memilih lokasi penelitian langsung ke PT. PLN (Persero) dengan masa penelitian tiga bulan, dimulai dari tanggal 05 Januari 2025 sampai dengan 27 Maret 2025. Berikut ini adalah data spesifikasi *recloser* tipe *Schneider* yang menjadi objek penelitian, selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Spesifikasi Recloser Tipe Schneider

Spesifikasi Recloser Merk Schneider	
Tegangan Maksimal Sistem	27 kV
Rating Frekuensi	45/65 Hz
Rating Arus Kontinu	630 A
Rating Arus Hubung Singkat	12,5/16 kA
Rating Making Current	31,5 kA (<i>Peak value</i>)
Power Frequency With Stand Voltage	
- dry	60 kV (1 min)
- wet	50 kV (10 sec)
Rated Impulse With Stand Voltage	150 kVBIL
Mechanical Operation Life	10,000 Operations
Auxiliary Power Supply	AC110/220 V External Power Sources
Control Circuit Voltage	DC 24 V
Protection Current Transformer (CT) Ratio	1000 : 1 A
Weight	327 kg
Nilai ketetapan (<i>existing</i>)	0,29 detik

Selanjutnya, juga ditampilkan data impedansi kawat penghantar dan panjang penyulang KB 04 Alue Ie Mirah yang didapatkan dari data sheet PT. PLN (Persero), selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data impedansi kawat penghantar dan panjang penyulang KB 04

Kabel AAAC	Data per km (Ohm)	
	R	jX
Z ₁ /km (150 mm ²)	0,2162	j 0,3305 Ω/km
Z ₂ /km (150 mm ²)	0,2162	j 0,3305 Ω/km
Z ₀ /km (150 mm ²)	0,3631	j 1,6180 Ω/km
Panjang Penyulang KB 04 = 105,476 km		

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan *recloser* dengan menghitung nilai impedansi dan arus yang terjadi pada penyulang KB-04, yaitu dengan:

4.1. Perhitungan Nilai Impedansi (Z_{base}) dan Arus (I_{base})

Pada penyulang tersebut, suplai daya didapatkan dari GH Kuta Binjai dengan kapasitas trafo sebesar 30 MVA dan impedansi sebesar 12,5%. Penyulang KB-05 memiliki panjang secara keseluruhan yaitu sepanjang 105,476 km, namun nilai reaktansi urutan positif, negatif dan nol hanya dihitung pada jarak penyulang mulai dari 0,001 km sampai dengan 10 km. Adapun hasil perhitungan nilai arus hubung singkat didapatkan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$Z_{Base} = \frac{kV^2}{MVA}$$

$$Z_{Base} = \frac{20^2 \text{ kV}}{30 \text{ MVA}} = \frac{400 \text{ kV}}{30.000 \text{ kVA}} = 13,33 \Omega$$

$$I_{base} = \frac{kVA}{\sqrt{3} \times 20 \text{ kV}}$$

$$I_{base} = \frac{30 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 20 \text{ kV}} = \frac{30.000 \text{ kVA}}{34,64 \text{ kV}} = 866 \text{ A}$$

4.2. Perhitungan Nilai Impedansi

1. Perhitungan Impedansi Sumber

Perhitungan impedansi sumber sisi 20 kV menggunakan persamaan (3) dan (4).

$$Z_{sumber} = j \frac{kV^2}{MVA_{SC}} = j \frac{20^2 \text{ kV}}{450 \text{ MVA}} = j \frac{400 \text{ kV}}{450.000 \text{ kVA}} = j0,8889 \Omega$$

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

2. Perhitungan Impendansi Trafo

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

$$= j0,125 \times \left(\frac{20 kV}{20 kV}\right)^2 \times \left(\frac{30 MVA}{30 MVA}\right) = j0,125 pu$$

3. Perhitungan Impedansi Pada Saluran Urutan Positif, Negatif, Dan Nol

Pada penelitian ini, nilai impedansi saluran urutan positif, negatif dan nol hanya dihitung pada jarak penyulang mulai dari 0,001 km sampai dengan 10 km. Sebagai contoh perhitungan, nilai impedansi saluran yang dihitung pada penyulang KB-04 dengan jaringan yang berjarak 3 km.

$$Z_1 = Z_2 = (R + j X) \times \text{jarak}$$

$$= (0,2162 + j0,3305 \text{ Ohm/km}) \times 3 \text{ km}$$

$$= 0,6486 + j0,9915 \text{ Ohm}$$

$$Z_{saluran \text{ positif, negatif (pu)}} = \frac{0,6486 + j0,9915}{13,33} = 0,0487 + j0,0744 pu$$

$$Z_0 = (R_0 + j X_0) \times \text{jarak}$$

$$= (0,3631 + j1,6180 \text{ Ohm/km}) \times 3 \text{ km}$$

$$= 1,0893 + j4,854 \text{ Ohm}$$

$$Z_{saluran \text{ nol (pu)}} = \frac{1,0893 + j4,854}{13,33} = 0,0817 + j0,3641 pu$$

Jadi, dengan cara yang sama maka didapatkan hasil perhitungan impedansi saluran pada lokasi gangguan tiap per km jaringan di penyulang KB-04.

Tabel 3. Hasil perhitungan impedansi saluran urutan positif, negatif dan nol ke satuan per unit (pu) pada Penyulang KB-04

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
2	0,4324	0,6610	0,7262	3,2360	0,0324	0,0496	0,0545	0,2428
Recloser	0,6486	0,9915	1,0893	4,854	0,0487	0,0744	0,0817	0,3641
4	0,8648	1,322	1,4524	6,472	0,0649	0,0992	0,1089	0,4855
5	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	1,9458	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

Pada tabel 3. menunjukkan bahwa penempatan *recloser*-nya berada pada titik 3 km dengan hasil perhitungan yang didapatkan yaitu $Z_1=Z_2$ ($R= 0,4324$, $jX= 0,6610$), sedangkan untuk Z_0 ($R= 0,7262$, $jX= 3,2360$) dengan satuan (Ohm) nilai impedansi saluran dimulai dari 0,001 km sampai 10 km yang terdapat pada penyulang KB-04. Selanjutnya, hasil tersebut masing-masing dibagi dengan Z_{base} sehingga didapatkan hasilnya sebesar $Z_1=Z_2$ ($R= 0,0324$, $jX= 0,0496$), dan untuk Z_0 ($R= 0,0545$, $jX= 0,2428$) dengan satuan (pu).

4. Perhitungan Nilai Impedansi Ekuivalen

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{sumber} + Z_T + Z_{saluran}$$

$$= j0,067 + j0,125 + (0,0487 + j0,0744)$$

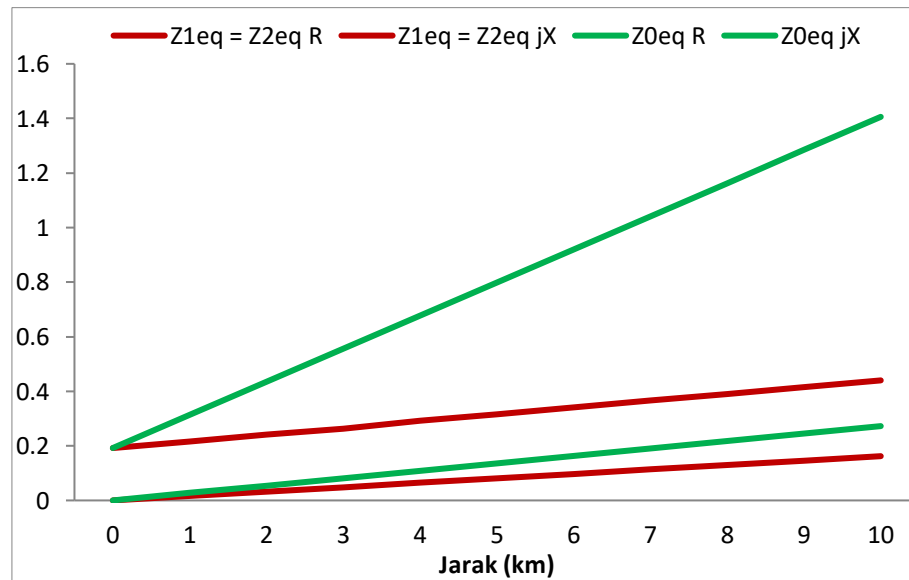
$$= 0,0486 + j0,2624$$

Jadi, dengan cara yang sama maka hasil perhitungan nilai impedansi ekivalen pada penyulang KB-04 (dari 0,001 km sampai dengan 10 km).

Tabel 4. Impedansi ekivalen urutan positif, negatif dan nol KB-04

Jarak (km)	$Z_{1eq} = Z_{2eq}$		Z_{0eq}	
	R	jX	R	jX
0	0,00001	0,19202	0,00003	0,19212
1	0,0162	0,2168	0,0272	0,3134
2	0,0324	0,2416	0,0545	0,4348
Recloser	0,0486	0,2624	0,0817	0,5561
4	0,0649	0,2912	0,1089	0,6775
5	0,0810	0,3160	0,1362	0,7990
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

Pada tabel 4. menunjukkan bahwa letak *recloser* berada di jarak ± 3 km pada penyulang KB-04 dengan hasil perhitungan yang didapatkan yaitu $Z_{1eq} = Z_{2eq}$ ($R = 0,0324$, $jX = 0,2416$), dan Z_0 ($R = 0,0545$, $jX = 0,4348$). Jadi, dengan didatarkannya nilai impedansi ekivalen maka dapat dilakukan perhitungan arus hubung singkat (3 fasa, 2 fasa, dan 1 fasa ke tanah).



Gambar 1. Grafik Impedansi Ekivalen Urutan Positif, Negatif dan Nol KB-04

4.3. Perhitungan Arus Hubung Singkat

- a. Perhitungan arus hubung singkat 3 fasa

$$I_{hs(3fasa)} = \frac{V}{Z_{1eq}} = \frac{1}{0,0486 + j0,2624} = \frac{1}{0,267 \angle 79,507^\circ} = 3,745 \angle -79,507^\circ \text{ pu}$$

$$I_{hs(3fasa)} = 3,745 \times I_{base} = 3,745 \times 866,05 = 3.243,6 \text{ A}$$

Jadi, hasil perhitungan arus hubung singkat 3 fasa pada jarak 3 km didapatkan sebesar 3.243,6 A

- b. Perhitungan arus hubung singkat 2 fasa

$$I_{hs(2fasa)} = \frac{V_{ph}}{2 \times (Z_{1eq} + Z_{2eq})} = \frac{\sqrt{3}}{2 \times (0,0486 + j0,2624) + (0,0486 + j0,2624)} = 1,6232 \angle -79,51^0 \text{ pu}$$

$$I_{hs(2fasa)} = 1,6232 \times I_{base} = 1,6232 \times 866,05 = 1405,8 \text{ A}$$

Jadi, hasil perhitungan arus hubung singkat 2 fasa pada jarak 3 km didapatkan sebesar 1405,8 A.

c. Perhitungan arus hubung singkat 1 fasa ke tanah

$$I_{hs(fasa-tanah)} = \frac{V}{2 \times (Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq})} = 1,3692 \angle -80,602^0 \text{ pu}$$

$$I_{hs(fasa-tanah)} = 1,3692 \times I_{base} = 1,3692 \times 866,05 = 1.185,8 \text{ A}$$

Jadi, hasil perhitungan arus hubung singkat 1 fasa ke tanah dengan jarak 3 km didapatkan sebesar 1.185,8 A.

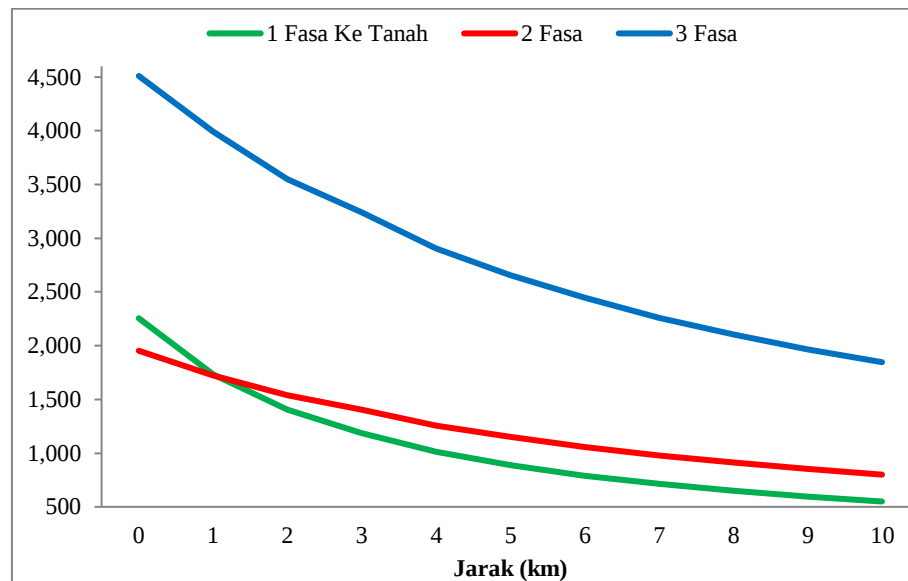
Adapun untuk hasil perhitungan arus hubung singkat yang terjadi pada penyulang KB-04 dengan jarak yang lain selengkapnya ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil perhitungan arus hubung singkat pada setiap jarak

Jarak (km)	Arus Hubung Singkat (A)		
	3 Fasa	2 Fasa	1 Fasa Ke Tanah
0	4.510,6	1.953,1	2.255,3
1	3.991,0	1.724,1	1.733,3
2	3.549,4	1.538,5	1.403,6
Recloser	3.243,6	1.405,8	1.185,8
4	2.906,2	1.257,3	1.012,9
5	2.656,6	1.149,4	888,9
6	2.446,5	1.057,8	791,4
7	2.261,2	979,8	713,4
8	2.107,2	911,9	649,1
9	1.968,3	852,3	595,5
10	1.846,6	800	550

Pada tabel 5. menunjukkan bahwa besarnya arus hubung singkat pada penyulang KB-04 pada jarak 0 km sampai dengan 10 km adalah tidak sama. Hal ini dipengaruhi oleh panjang jaringan, jenis dan ukuran penghantar serta jarak penempatan *recloser* pada jaringan. Arus hubung singkat terbesar terletak pada jarak 0,001 km yaitu masing-masing 4.510,6 A ($I_{hs3fasa}$), 1.953,1 A ($I_{hs2fasa}$), dan 2.255,3 A ($I_{hs1fasa \text{ ke tanah}}$). Sedangkan arus hubung singkat terkecil terletak pada jarak 10 km yaitu masing-masing 1.846,6 A ($I_{hs3fasa}$), 800 A ($I_{hs2fasa}$), dan 550 A ($I_{hs1fasa \text{ ke tanah}}$).

Pada jaringan dengan jarak 3 km, arus hubung singkat tiga fasa adalah sebesar 3.243,6 A, arus hubung singkat 2 fasa sebesar 1.405,8 A, dan arus hubung singkat satu fasa ke tanah sebesar 1.185,8 A. Jarak tersebut merupakan jarak penempatan *recloser* pada penyulang KB-04 Alue Ie Mirah. Arus gangguan hubung singkat 2 fasa dan satu fasa ke tanah memiliki jumlah arus gangguan yang lebih kecil apabila dibandingkan dengan arus hubung singkat 3 fasa. Ini dipengaruhi oleh nilai impedansi ekuivalennya yang besar pada kedua arus hubung singkat tersebut.



Gambar 2. Grafik Arus Hubung Singkat pada Setiap Jarak

Jadi, dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin dekat jarak titik gangguan dengan penyulang maka semakin besar nilai arus hubung singkatnya begitu juga sebaliknya.

4.4. Perhitungan Waktu Kerja Recloser

Setting relai *recloser* menggunakan karakteristik standar *inverse*. Penyetelan ulang waktu kerja peralatan proteksi (*recloser*) sesuai IEC 60255 yaitu 0,2 detik. Ini dilakukan supaya *recloser* bisa bekerja lebih cepat dari waktu kerja pada sisi *outgoing*. Sebagai contoh perhitungan, penyetelan ulang *recloser* dalam penelitian ini menggunakan data arus hubung singkat 3 fasa pada jarak 3 km.

Data tersebut diambil karena *recloser* yang digunakan pada Penyulang KB-04 Alue Ie Mirah berada pada jarak 3,19 km atau (3 km). Waktu kerja *recloser* (t) di setel pada 0,2 detik agar saat terjadi gangguan *recloser* segera *trip*. Arus beban (I_{beban}) pada penyulang KB-04 adalah sebesar 46 A sehingga arus *setting* (I_{set}) didapatkan sebagai berikut;

$$I_{set} = 1,05 \times I_{beban} = 1,05 \times 46 \text{ A} = 48,3 \text{ A}$$

Setelah I_{set} diketahui maka langkah selanjutnya dihitung nilai TMS *recloser* pada kasus hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, dan 1 fasa ke tanah pada gangguan hubung singkat dengan jarak 3 km. Hasilnya didapatkan sebagai berikut ;

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

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

$$TMS = \frac{\left(\frac{3.243,6}{48,3}\right)^{0,02-1}}{0,14} \times 0,2 = \frac{0,0878}{0,14} \times 0,2 = 0,1254 \text{ detik}$$

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

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

$$TMS = \frac{\left(\frac{1.405,8}{48,3}\right)^{0,02-1}}{0,14} \times 0,2 = \frac{0,0697}{0,14} \times 0,2 = 0,0996 \text{ detik}$$

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

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

$$TMS = \frac{\left(\frac{1.185,8}{48,3}\right)^{0,02-1}}{0,14} \times 0,2 = \frac{0,0661}{0,14} \times 0,2 = 0,0944 \text{ detik}$$

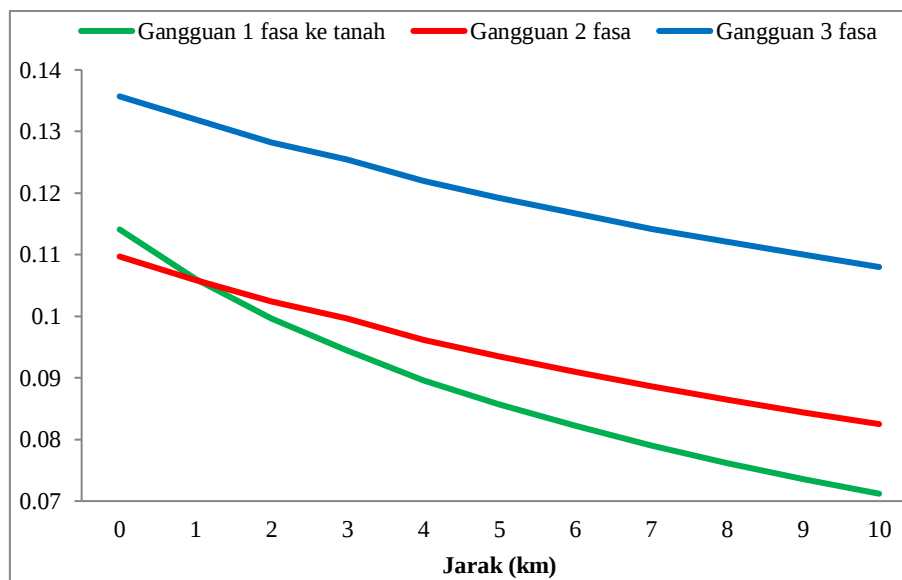
Jadi, dengan cara yang sama maka perhitungan waktu kerja *recloser* (nilai TMS) untuk kasus hubung singkat tiga fasa, dua fasa, dan satu fasa ke tanah yang terjadi pada penyulang KB-04 dengan jarak dari 0 -10 km didapatkan hasil seperti ditunjukkan pada tabel 6.

Tabel 6. Nilai TMS untuk seluruh gangguan pada penyulang KB-04

Jarak (km)	Nilai "TMS" <i>Recloser</i> (detik)		
	Gangguan 3 fasa	Gangguan 2 fasa	Gangguan 1 fasa ke tanah
0	0,1357	0,1097	0,1141
1	0,1319	0,1059	0,1060
2	0,1282	0,1024	0,0996
<i>Recloser</i>	0,1254	0,0996	0,0944
4	0,1220	0,0962	0,0896
5	0,1192	0,0935	0,0857
6	0,1167	0,0910	0,0822
7	0,1142	0,0886	0,0790
8	0,1121	0,0865	0,0762
9	0,1100	0,0844	0,0736
10	0,1080	0,0825	0,0712

Tabel 6. menunjukkan waktu kerja *recloser* nilai TMS pada penyulang KB-04 dengan jarak 3 km pada gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, dan 1 fasa ke tanah adalah masing-masing selama 0.1254 detik, 0.0996 detik, dan 0.0944 detik.

Hasil diatas menunjukkan nilai *setting recloser* pada penyulang KB-04 memiliki perbedaan antara nilai *exiting* dengan nilai *re-setting*. Perbedaan ini dikarenakan arus pada spesifikasi *recloser* adalah sebesar 630 A dan nilai *exiting* TMS 0,29 detik.



Gambar 3. Grafik Nilai TMS untuk seluruh Gangguan pada Penyulang KB-04

Namun, dari hasil perhitungan didapatkan bahwa nilai arus *setting* pada *recloser* adalah sebesar 48,3 A. Ini dikarenakan arus beban (I_{beban}) yang mengalir pada *recloser* sebesar 46 A. Jadi, nilai *exiting* TMS *recloser* adalah 0,29 detik sedangkan nilai TMS *recloser* hasil perhitungan (*re-setting*) rata-rata pada semua jenis gangguan adalah 0,1011 detik.

4.5. Pemeriksaan Waktu Kerja *Recloser*

Waktu kerja *recloser* (nilai t) perlu dilakukan pemeriksaan agar ketika terindikasi adanya gangguan hubung singkat (3 fasa, 2 fasa, dan 1 fasa ke tanah) pada penyulang KB-04 dapat diketahui

baik dari jarak 0 km sampai dengan 10 km pada gangguan hubung singkat dengan jarak 3 km. Hasilnya didapatkan sebagai berikut ;

a. Pada arus hubung singkat 3 fasa ($I_{hs\ 3\ fasa}$)

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

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{3.243,6}{48,3}\right)^{0,02} - 1} \times 0,1254 = \frac{0,14}{0,0878} \times 0,1254 = 0,2 \text{ detik}$$

b. Pada arus hubung singkat 2 fasa ($I_{hs\ 2\ fasa}$)

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

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{1.405,8}{48,3}\right)^{0,02} - 1} \times 0,0996 = \frac{0,14}{0,0697} \times 0,1254 = 0,1 \text{ detik}$$

c. Pada arus hubung singkat 1 fasa ke tanah ($I_{hs\ 1\ fasa\ ke\ tanah}$)

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

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{1.185,8}{48,3}\right)^{0,02} - 1} \times 0,0944 = \frac{0,14}{0,0661} \times 0,1254 = 0,1 \text{ detik}$$

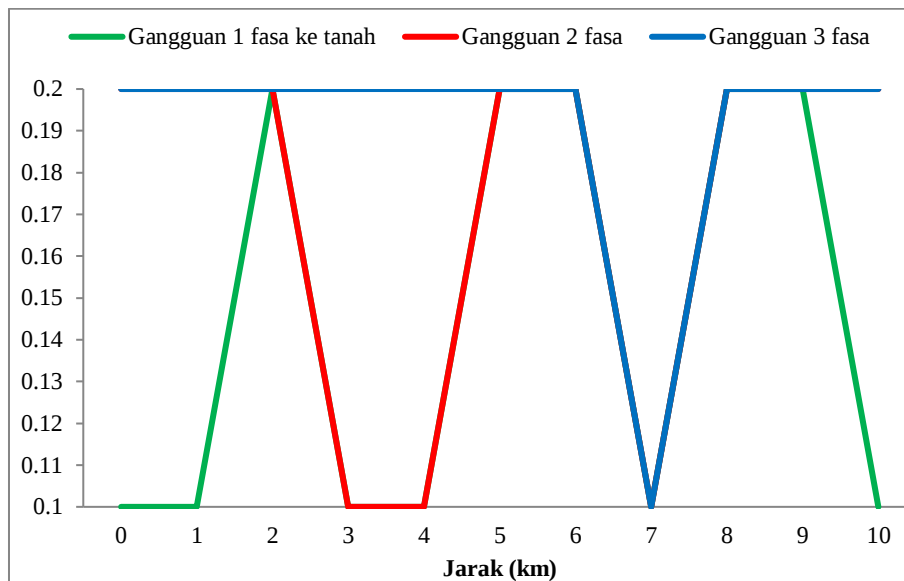
Jadi, dengan cara yang sama maka perhitungan waktu kerja *recloser* nilai t untuk kasus hubung singkat tiga fasa, dua fasa, dan satu fasa ke tanah yang terjadi pada penyulang KB-04 dengan jarak dari 0-10 km didapatkan hasil seperti ditunjukkan pada tabel 7. berikut ini.

Tabel 7. Nilai t untuk seluruh gangguan tanah pada penyulang KB-04

Jarak (km)	Nilai t <i>Recloser</i> (detik)		
	Gangguan 3 fasa	Gangguan 2 fasa	Gangguan 1 fasa ke tanah
0	0,2	0,2	0,1
1	0,2	0,2	0,1
2	0,2	0,2	0,2
Recloser	0,2	0,1	0,1
4	0,2	0,1	0,1
5	0,2	0,2	0,2
6	0,2	0,2	0,2
7	0,1	0,1	0,1
8	0,2	0,2	0,2
9	0,2	0,2	0,2
10	0,2	0,2	0,1

Pada tabel 7. lama waktu kerja *recloser* pada penyulang KB-04 dengan jarak 3 km untuk gangguan hubung singkat 3 fasa adalah selama 0,2 detik, dan untuk gangguan hubung singkat 2 fasa dengan 1 fasa ke tanah adalah sama-sama selama 0,1 detik.

Hasil tersebut juga menunjukkan bahwa baik pada jarak 0 km sampai dengan 10 km waktu kerja *recloser* memiliki rata-rata selama 0,2 detik. Jadi, dari hasil analisis 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.



Gambar 4. Grafik Nilai t untuk seluruh Gangguan pada Penyulang KB-04

Dari hasil tersebut maka diharapkan *recloser* dapat bekerja dengan baik, lebih peka dan selektif dalam memilih zona atau wilayah yang harus diproteksi ketika gangguan arus hubung singkat terjadi.

4.6. Perbedaan Sebelum dan Sesudah Dipasang *Recloser*

Sebelum adanya *recloser* pada penyulang KB-04 sering mengalami gangguan hubung singkat sehingga sangat berdampak terhadap kerusakan pada trafo dan penyulang. Pemadaman listrik dengan jangkauan yang cukup luas dikarenakan masih mengandalkan LBS (*Load Break Switch*) sehingga sering mengalami terjadinya pemutusan daya listrik dalam waktu yang cukup lama.

Penyaluran energi listrik baru akan mulai normal kembali apabila para operator sudah memperbaiki jaringan distribusi yang mengalami gangguan. kondisi tersebut menyebabkan tingkat keandalan pada penyulang tersebut belum maksimal. Oleh sebab itu perlu dilakukan pemasangan *recloser* pada penyulang KB-04.

Hasilnya, setelah pemasangan *recloser* dilakukan maka lamanya pemadaman listrik akibat gangguan hubung singkat sudah dapat diminimalisir. Hal ini sesuai dengan cara kerja *recloser* yaitu apabila terjadi pemadaman listrik, waktu yang dibutuhkan hanya dalam hitungan detik kecuali gangguan yang terjadi bersifat permanen baru pemadamannya berlangsung dalam jangka waktu yang lama. Artinya, setelah *recloser* terpasang maka keandalan pada penyulang KB-04 menjadi lebih meningkat dan gangguan listrik dapat diminimalisir, sehingga dapat memberikan layanan yang lebih stabil kepada pelanggan listrik.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, maka sistem kerja *recloser* pada penyulang KB-04 Alue Ie Mirah PT. PLN (Persero) dapat disimpulkan bahwa Arus gangguan arus hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, dan 1 fasa ke tanah dengan jarak 3 km pada penyulang KB-04 adalah masing-masing sebesar 3.243,6 A, 1.405,8 A dan 1.185,8 A dengan waktu kerja *recloser* selama 0,2 detik ($I_{hs\ 3\ fasa}$) dan 0,1 detik ($I_{hs\ 2\ fasa}$ dan $I_{hs\ 1\ fasa\ ke\ tanah}$).

Kerja *recloser* pada penyulang KB-04 sudah sesuai dengan standar IEC 6022 karena waktu *setting recloser* dari hasil analisis dengan nilai *existing* (nilai ketetapan yang ada di lapangan) sama-sama 0,2 detik. Arus gangguan hubung singkat pada penyulang KB-04 terbesar terletak di jarak 0 km, yaitu sebesar 4.510,6 A ($I_{hs\ 3\ fasa}$), 1.953,1 A ($I_{hs\ 2\ fasa}$), dan 2.255,3 A ($I_{hs\ 1\ fasa\ ke\ tanah}$). Sedangkan arus gangguan hubung singkat pada penyulang KB-04 terkecil terletak di jarak 10 km, yaitu sebesar 1.846,6 A ($I_{hs\ 3\ fasa}$), 800 A ($I_{hs\ 2\ fasa}$), dan 550 A ($I_{hs\ 1\ fasa\ ke\ tanah}$). Semakin besar nilai impedansi maka arus gangguan yang terjadi pada penyulang KB-04 akan semakin kecil begitu juga sebaliknya.

REFERENSI

- [1] Jordan, Salahuddin, Badriana, S. Meliala, and Kartika. (2021). "Analisis Penempatan Recloser Guna Memaksimalkan Kinerja Sistem Tenaga Listrik Di Jaringan Distribusi 20 kV Pada PT. PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Sigli," *Jurnal Energi Elektro*, vol.10, no. 01, pp. 30–34.
- [2] S. Rezki, Teuku Mahmuda Rahmat, Muliadi. (2023). "Analisis Pemasangan Arrester Pada Gardu Distribusi Penyulang Johan Pahlawan ULP Meulaboh Kota," *AJEETECH (Aceh Journal of Electrical Engineering and Technology)*, vol. 3, no. 1, pp. 25–32.
- [3] I. M. A. Nugraha and I. G. M. N. Desnanjaya. (2021). "Penempatan Dan Pemilihan Kapasitas Transformator Distribusi Secara Optimal Pada Penyulang Perumnas," *Jurnal Resistor (Rekayasa Sistem Komputer)*, vol. 4, no. 1, pp. 33–44.
- [4] A. Chandra. (2023). "Studi Aliran Daya Pada Penyulang GH-06 PT . PLN (Persero) Rayon Lancang Garam Lhokseumawe," *AJEETECH (Aceh Journal of Electrical Engineering and Technology)*, vol. 3, no. 1, pp. 19–24.
- [5] Tantowi, Z. N., Sunarno, E., Putra, P. A. M., Ferdiansyah, I. & Eviningsih, R. P. (2022). "Desain dan Simulasi Cuk Converter Dengan Pi-Fuzzy Controller Untuk Pengisian Baterai," *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 10(1), 53-60.
- [6] A. J. Mumu. (2021). "Analisis Keandalan Sistem Distribusi Di Kotamobagu Menggunakan Indeks Saifi Dan Saidi," Universitas Sam Ratulangi.
- [7] C. F. Hutabarat. (2022). "Analisa Penggunaan Recloser Pada Sutm 20 kV Sistem 3 Fasa 4 Kawat Di PT PLN (Persero) ULP Siborongborong," Universitas HKBP Nomensen.
- [8] G. A. Ibrahimusa, Joko, T. Wrahatnolo, and A. I. Agung. (2022). "Analisis Koordinasi Setting Relay Proteksi Pada Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang Brenggolo Di PT. PLN UP3 Kediri Gardu Induk Pare," *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, vol. 12, no. 1, pp. 28–36.
- [9] A. Muh, F. Ramadhan, S. L. Ramadani, Andriani, and A. A. H. Lateko. (2023). "Analisis Teknis dan Ekonomis Pemeliharaan Peralatan Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) PT. PLN (Persero) Up3 Makassar Utara," *Jurnal Pendidikan Tambusai*, vol. 7, no. 3, pp. 20790–20795.
- [10] M. A. Bayu and N. Arif. (2023). "Analisa Penggunaan Recloser 3 Fasa 20 kV Penyulang Pajalau Untuk Pengaman Arus Lebih PT. PLN (Persero) Ulp Kalebajeng," *Jurnal Multidisiplin Saintek*, vol. 01, no. 03, pp. 1–20.
- [11] A. Pauzan, A. Azis, and I. K. Febrianti. (2022). "Analisa Penggunaan Recloser Untuk Memproteksi Arus Lebih Pada Jaringan Distribusi di PT.PLN (Persero) ULP Mariana Gardu Induk Prajin," *Jurnal Surya Energy*, vol. 6, no. 1, pp. 17–24.
- [12] T. M. Asyadi, M Muliadi. (2023). "The Maximum Power Point Tracking (MPPT) On Changes In Radiation And Temperature Of Solar Modules Based On Fuzzy Logic Controller (FLC)," *The 6th Engineering Science and Technology International Conference (AIP Conference Proceedings)* 2691. pp. 060004-1–060004-9.
- [13] Harahap, P., Nofri, I., Arifin, F., & Nasution, M. Z. (2019). "Sosialisasi Penghematan dan Penggunaan Energi Listrik Pada Desa Kelambir Pantai Labu," *In Prosiding Seminar Nasional Kewirausahaan* vol. 1, no. 1, pp. 235-242.
- [14] Husni, Farid., Syukri, Muliadi, Asyadi, Teuku Murisal., (2022). "Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Di Gedung Pasca Sarjana Universitas Iskandar Muda." *AJEETECH (Aceh Journal of Electrical Engineering and Technology)*, 2(1), 19–24.
- [15] Muliadi, Syukri, Asyadi, Teuku Murisal, & Salim, A., (2022). Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Pada Trafo Distribusi Penyulang Mibo Rayon Merduati," *AJEETECH (Aceh Journal of Electrical Engineering and Technology)*, 2(2), 7–12.
- [16] Subhan, Fauzi, Asyadi, Teuku Murisal, Muliadi, Syukri & Masrurha, Febriza. (2023). "Analisa Perbaikan Tegangan Ujung pada Jaringan Distribusi 20 kV di GH Tangse ULP Beureunuen," *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 11(1), 40-47.