

BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN

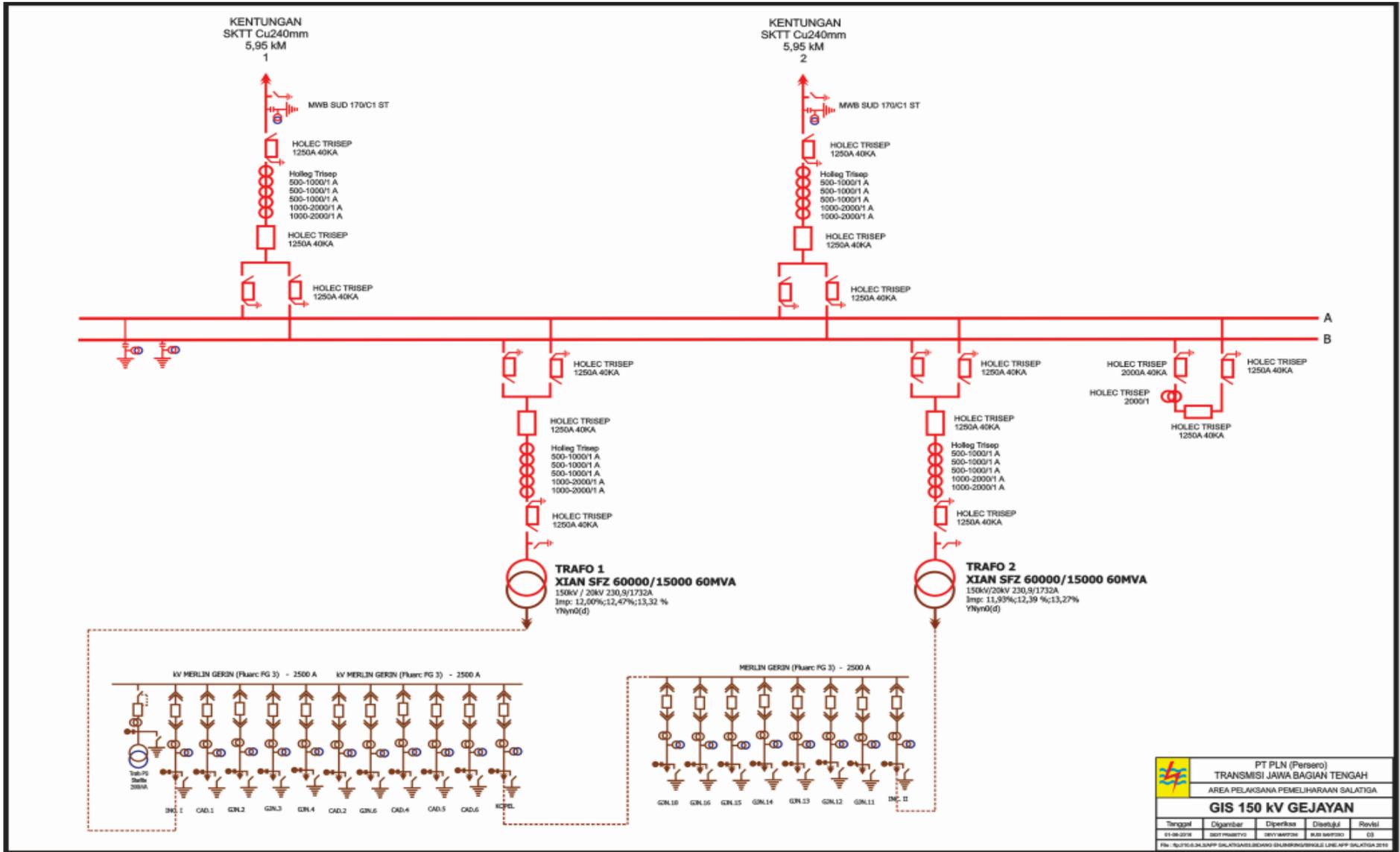
4.1. Sistem Kelistrikan pada Gardu Induk Gejayan 150/20 kV

Gardu Induk Gejayan merupakan tipe gardu *Gas Insulated Switchgear* atau biasa di sebut dengan istilah GIS, yang merupakan sebuah sistem penghubung dan pemutus jaringan listrik dengan menggunakan gas SF₆ bertekanan sebagai material isolasi elektrik dan pemadam busur api.

GIS Gejayan merupakan salah satu klasifikasi gardu induk yang menggunakan isolasi Gas yang berlokasi di daerah Gejayan, Yogyakarta. Pada GIS Gejayan 150/20 kV terdapat 2 (dua) buah *transformator* daya, yaitu *Transformator* 1 dan *Transformator* 2 dengan kapasitas masing-masing *transformator* sebesar 60 MVA yang dibagi ke beberapa penyulang.

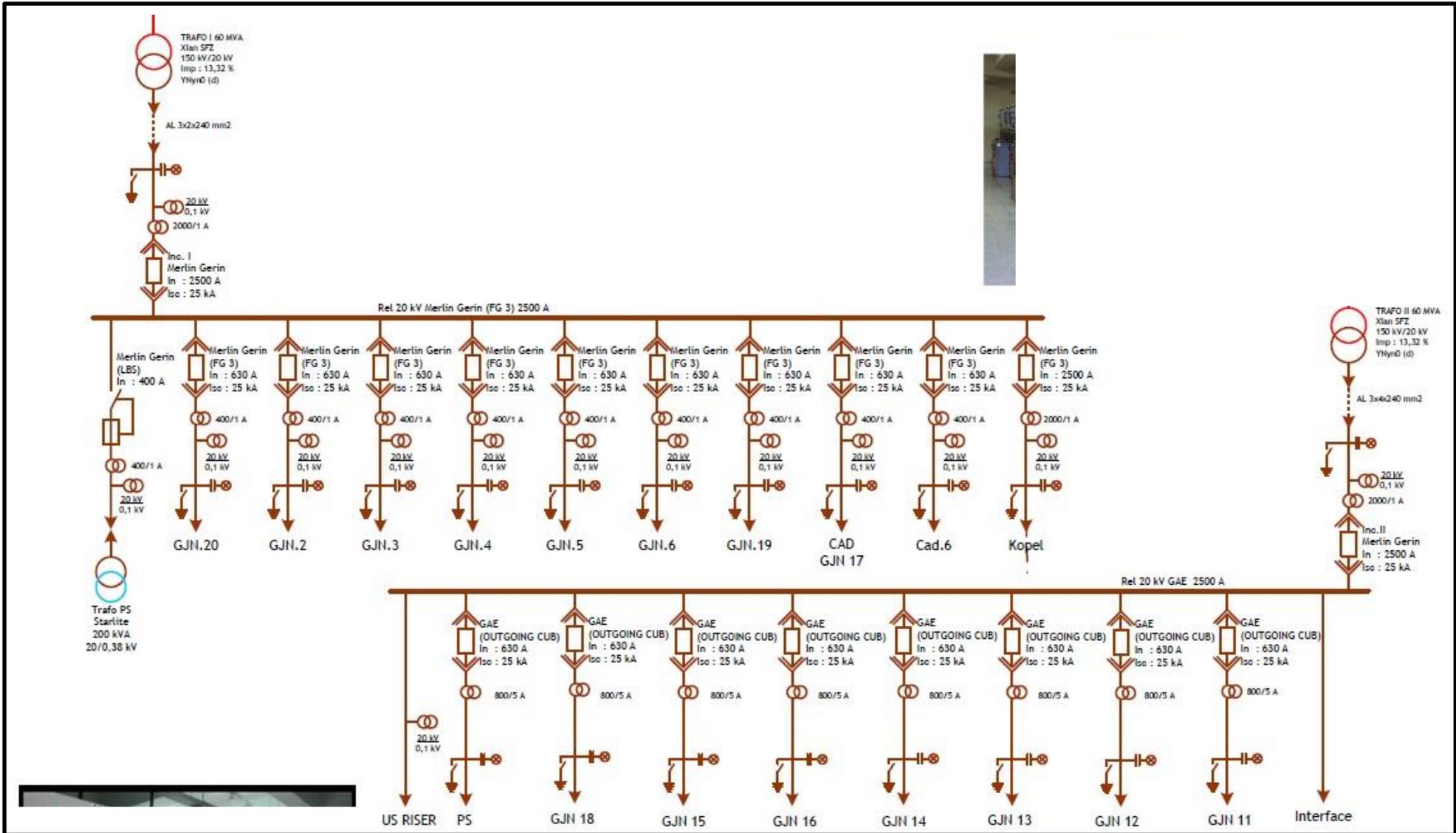
Seperti yang terlihat pada *single line diagram* di gambar 4.1 dan 4.2, Transformator 1 memiliki 9 (sembilan) penyulang yaitu GJN 2, GJN 3, GJN 4, GJN 5, GJN 6, GJN 19, GJN 20, CAD GJN 17, dan CAD 6. Transformator 2 memiliki 7 (tujuh) penyulang yaitu GJN 11, GJN 12, GJN 13, GJN 14, GJN 15, GJN 16 dan GJN 18. Jika dijumlahkan, secara keseluruhan terdapat 16 (enam belas) buah penyulang yang menyalurkan listrik ke beberapa daerah di daerah Yogyakarta.

Agar kelangsungan distribusi listrik tetap terjaga dari gangguan, maka diperlukan koordinasi proteksi yang handal, baik itu di sisi 150 kV maupun di sisi penyulang – penyulang yang ada pada sisi 20 kV sampai dengan ke jaringan bagian *outgoing*.



Gambar 4.1. Single Line Diagram Gardu Induk Gejayan 150/20 kV

Sumber : Gardu Induk Gejayan 150/20 kV



Gambar 4. 2. Single Line Diagram Gardu Induk Gejayan Sisi 20 kV

Sumber : Gardu Induk Gejayan 150/20 kV

4.2. Data Peralatan Yang Diperoleh

Berikut adalah data – data peralatan yang di peroleh dari Gardu Induk Gejayan 150/20 kV :

4.2.1 Spesifikasi Transformator

Di sistem kelistrikan Gardu Induk Gejayan 150/20 kV terdapat 2 (dua) buah *transformator*, yaitu transformator 1 dan transformator 2. Pada tugas akhir ini penulis hanya meneliti pada bagian transformator 1 di penyulang GJN 04. Berikut ini adalah spesifikasi transformator 1:

Tabel 4. 1. Spesifikasi Transformator 1 Gardu Induk Gejayan 150/120 kV

Spesifikasi Tranformator 1	
<i>Name</i>	Trafo 1 / T1
<i>Merk / Type</i>	<i>Xian Transformers Works / SFZ-60000/150</i>
<i>Nominal Rating</i>	60 MVA
<i>Frequency Hertz</i>	50 Hz
<i>Installation</i>	<i>Out-door</i>
<i>Phase</i>	<i>3 Phase</i>
Tegangan Sisi Primer	150 kV
Tegangan Sisi Skunder	20 kV
<i>Nominal Current</i>	1732 A
<i>Short Circuit 150 kV</i>	40 kA
<i>Short Circuit 20 kV</i>	16 kA
<i>Impedance</i>	12,47 %
<i>Vector Group</i>	YN yn0 (d)
Rn (tahanan pentanahan)	0,5

Dapat dilihat pada tabel, transformator 1 di gardu induk gejayan berkarakteristik *out-door* dengan *nominal rating* sebesar 60 MVA dan frekuensi sebesar 50 Hz. Pada sisi primernya bertegangan sebesar 150 kV dengan *short circuit* sebesar 40 kA dan sisi skunder sebesar 20 kV dengan *short circuit* sebesar

16 kA dan arus nominalnya sebesar 1732 A serta impedansi trafo sebesar 12,47 %. Selain itu, di dalam trafo 1 ini terdapat belitan delta dapat dilihat dari *vector group* yaitu YN yn0 (d).

4.2.2 Data Kabel Penyulang GJN 04 Transformator 1

Berikut adalah data kabel yang di dapat dari kantor PLN DCC Yogyakarta unit Area 20 kV.

Tabel 4.2. Data Kabel

No	Jenis	Diameter	Impedansi		Panjang
			Urutan +/-	Urutan Nol	
1	AAAC (A3C)	240 mm ²	0,1344+j 0,3158	0,2824+j 1,6033	10,25 km
2	AAAC (A3C)	240 mm ²	0,1344+j 0,3158	0,2824+j 1,6033	1,5 km
3	AAAC (A3C)	70 mm ²	0,4608+j 0,3572	0,6088+j 1,6447	3,8 km

Berdasarkan tabel, penyulang GJN 04 menggunakan kabel jaringan berjenis AAAC (A3C) dengan diameter yang berbeda. Pada nomor 1 merupakan kabel jaringan 3 fasa yang berdiameter 240 mm² dengan panjang jarak dari PMT – *Recloser* (OCR) 10,25 km (kilometer). Kemudian nomor 2 adalah kabel jaringan 3 fasa berdiameter 240 mm² dengan panjang jarak dari *Recloser* (OCR) – Batas tiga fasa sejauh 1,5 km. Selain itu, juga terdapat kabel jaringan 1 fasa yang berdiameter 70 mm² pada tapping satu fasa dengan panjang sejauh 3,8 km.

4.2.3 Data Setting Relay Arus Lebih

Berikut ini adalah data yang di dapat dari Gardu Induk Gejayan 150/20 kV dan kantor PLN DCC Yogyakarta unit APD. Data setting relay arus lebih yang di ambil yaitu data setting relay arus lebih di sisi *out-going* yang paling terdekat dengan sumber jaringan yang terpasang pada *recloser*.

Tabel 4.3. Tabel Setting Relay Arus Lebih Sisi Penyulang dan Recloser

Merk	Jenis Kurva	Setting OCR Recloser			Setting Sisi Penyulang		
		R _{CT}	t (detik)	TMS	R _{CT}	t (detik)	TMS
AREVA/Micom P125	SI	600/1	0,02	0,1	400/1	0,3	0,25

Berdasarkan tabel, terdapat dua buah rele arus lebih di sisi *outgoing* penyulang GJN 04. Dapat dilihat nilai besaran *setting* pada rele arus lebih yang terpasang recloser berjenis SI (*standard inverse*) dengan rasio CT 600/1, waktu kerja rele 0,02 detik (Instan) dan nilai TMS sebesar 0,1. Sedangkan di rele arus lebih yang terpasang pada penyulang merupakan rele arus lebih berjenis kurva SI (*standard inverse*) dengan rasio CT 400/1 dan *setting* waktu 0,3 serta TMS 0,25.

4.3. Perhitungan Arus Hubung Singkatt

Dalam perhitungan arus hubung singkat pada jaringan distribusi listrik dibagi menjadi tiga yaitu perhitungan arus hubung singkat 3 fasa, perhitungan arus hubung singkat 2 fasa, dan perhitungan arus hubung singkat 1 fasa. Untuk mendapatkan nilai arus hubung singkat, maka perlu di lakukan beberapa perhitungan menggunakan data yang sudah di peroleh dari tempat penelitian. Berikut adalah perhitungan yang perlu dilakukan:

1. Melakukan perhitungan impedansi sumber
2. Melakukan perhitungan reaktansi transformator
3. Melakukan perhitungan impedansi penyulang
4. Melakukan perhitungan impedansi ekivalen jaringan.

4.3.1 Perhitungan Impedansi Sumber

Untuk menghitung impedansi sumber di sisi 20 kV, maka harus dihitung dulu impedansi sumber di sisi 150 kV yang diuraikan dari rumus berikut:

$$MVA_{sc} = \sqrt{3} \times I_{sc} \times V$$

Keterangan:

MVA_{sc} = MVA hubung singkat 3 fasa [MVA]

I_{sc} = Arus hubung singkat di sisi 20 kV [kA]

V = Tegangan di sisi primer [V]

Berdasarkan spesifikasi transformator 1, besaran nilai arus hubung singkat di sisi 20 kV adalah 16 kA dan tegangan di sisi primer 150 kV. Maka:

$$MVA_{sc} = \sqrt{3} \times I_{sc} \times V$$

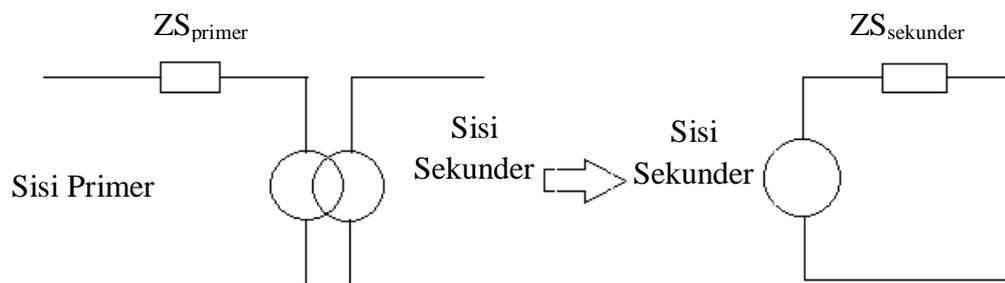
$$\begin{aligned} MVA_{sc} &= \sqrt{3} \times 16 \text{ kA} \times 150 \text{ kV} \\ &= 4156,92 \text{ MVA} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas maka dapat di cari nilai impedansi sumber (Z_S) dengan cara berikut:

$$Z_{S_{primer}} = \frac{kV (\text{sisi primer})^2}{MVA \text{ hubung singkat}}$$

$$Z_{S_{primer}} = \frac{150^2}{4156,92} = 5,41 \Omega$$

Arus gangguan hubung singkat di sisi sekunder diperoleh dengan cara mengkonversikan dulu impedansi sumber di sisi primer ke sisi sekunder.



Gambar 4.2. Konversi Nilai Impedansi Sumber dari Primer Ke Sekunder

Untuk mendapatkan nilai impedansi sumber di sisi sekunder maka menggunakan rumus berikut:

$$ZS_{\text{sekunder}} = \frac{kVs^2}{kVp^2} \times ZS_{\text{primer}}$$

Keterangan :

ZS_{primer} : Impedansi sumber sisi primer

ZS_{sekunder} : Impedansi sumber sisi sekunder

kV_{sekunder} : Tegangan dasar sisi sekunder [kV]

kV_{primer} : Tegangan dasar sisi primer [kV]

Dilihat dari perhitungan sebelumnya, didapatkan nilai ZS_{primer} sebesar 5,41 Ω kemudian nilai tegangan sisi sekunder 20 kV dan nilai tegangan sisi primer 150 kV. Maka dapat dihitung sebagai berikut:

$$ZS_{\text{sekunder}} = \frac{kVs^2}{kVp^2} \times ZS_{\text{primer}}$$

$$\begin{aligned} ZS_{\text{sekunder}} &= \frac{20^2}{150^2} \times 5,41 \Omega \\ &= 0,097 \Omega \end{aligned}$$

4.3.2 Perhitungan Reaktansi Transformator

Dilihat dari spesifikasinya, nilai impedansi pada transformator 1 adalah 12,47 %. Agar dapat diketahui nilai reaktansi urutan positif, negatif dan reaktansi urutan nol dalam ohm, maka harus dihitung dulu besar nilai tahanan pada 100 % nya yaitu:

$$\begin{aligned} X_{t(\text{pada } 100\%)} &= \frac{kV(\text{sekunder})^2}{MVA \text{ Transformator}} \\ &= \frac{20^2}{60} = 6,67 \Omega \end{aligned}$$

Setelah itu masukan nilai tahanan pada 100 % ke perhitungan untuk mencari nilai reaktansi urutan positif, negatif dan reaktansi urutan nol.

- Reaktansi urutan positif dan negatif ($X_{t1}=X_{t2}$)

$$X_t = 12,47 \% \times 6,67 \Omega$$

$$X_t = 0,8317 \Omega$$

- Reaktansi urutan nol (X_{t0})

Untuk mencari nilai reaktansi urutan nol pada transformator 1 dapat dilihat dari *vector group* nya. Berdasarkan data spesifikasi, transformator 1 memiliki *vector group* YN yn0 (d). Terdapat belitan delta di dalamnya, sehingga dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$X_{t0} = 3 \times X_t$$

$$\begin{aligned} X_{t0} &= 3 \times 0,8317 \\ &= 2,4951 \Omega \end{aligned}$$

4.3.3 Perhitungan Impedansi Penyulang

Berdasarkan data kabel pada tabel 4.2, penyulang 20 kV GJN 04 menggunakan 1 (satu) jenis kabel penghantar yaitu AAAC berdiameter 240 mm². Perhitungan impedansi pada saluran distribusi dihitung berdasarkan panjang salurannya. Dengan panjang jaringan sejauh 10,25 Km, maka akan dihitung nilai impedansi urutan positif, impedansi urutan negatif, dan impedansi urutan nol. Untuk gangguan arus hubung singkat yang terjadi di sepanjang jalur distribusi akan di asumsikan titik-titik gangguan yang terjadi pada lokasi 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%.

- Impedansi urutan positif/negatif

$$\begin{aligned} Z1=Z2 \text{ (AAAC 240mm}^2\text{)} &= \text{Impedansi urutan positif/negatif} \times \text{panjang saluran} \\ Z1=Z2 &= (0,1344 + j 0,3158) \Omega/\text{Km} \times 10,25 \text{ Km} \\ &= 1,3776 + j 3,2369 \Omega \end{aligned}$$

- Impedansi urutan nol

$$Z1=Z2 \text{ (AAAC } 240\text{mm}^2\text{)} = \text{Impedansi urutan nol} \times \text{panjang saluran}$$

$$\begin{aligned} Z1=Z2 &= (0,2824 + j 1,6033) \Omega/\text{Km} \times 10,25 \text{ Km} \\ &= 2,8946 + j 16,4338 \Omega \end{aligned}$$

Dari nilai impedansi urutan positif/negatif dan nilai impedansi urutan nol yang sudah dihitung akan di asumsikan titik-titik gangguan yang terjadi pada panjang saluran dan dihitung dengan cara sebagai berikut:

- Impedansi penyulang urutan positif dan negatif

Tabel 4.4. Impedansi Urutan Positif dan Negatif

Panjang jaringan %	Jarak (Km)	Perhitungan	Impedansi penyulang Z1 & Z2
0	0	$0 \% \times (1,3776 + j 3,2369)$	0
25	2,562	$25\% \times (1,3776 + j 3,2369)$	$0,3444 + j 0,8092 \Omega$
50	5,125	$50\% \times (1,3776 + j 3,2369)$	$0,6888 + j 1,6184 \Omega$
75	7,687	$75\% \times (1,3776 + j 3,2369)$	$1,0332 + j 2,4276 \Omega$
100	10,25	$100\% \times (1,3776 + j 3,2369)$	$1,3776 + j 3,2369 \Omega$

- Impedansi penyulang urutan nol

Tabel 4.5. Impedansi Urutan Nol

Panjang jaringan %	Jarak (Km)	Perhitungan	Impedansi penyulang Z1 & Z2
0	0	$0 \% \times (2,8946 + j 16,4338)$	0
25	2,562	$25\% \times (2,8946 + j 16,4338)$	$0,7236 + j 4,1084 \Omega$
50	5,125	$50\% \times (2,8946 + j 16,4338)$	$1,4473 + j 8,2169 \Omega$
75	7,687	$75\% \times (2,8946 + j 16,4338)$	$2,1709 + j 12,3253 \Omega$
100	10,25	$100\% \times (2,8946 + j 16,4338)$	$2,8946 + j 16,4338 \Omega$

4.3.4 Perhitungan Impedansi Ekuivalen Jaringan

Dengan menggunakan rumus dibawah ini, maka akan di dapat nilai impedansi ekuivalen, $Z1_{(eki)}$ dan $Z2_{(eki)}$ dan akan dihitung berdasarkan titik lokasi gangguan dengan cara menjumlahkan $Zis + ZiT + Z1$ penyulang.

$$\begin{aligned} Z1_{(eki)} = Z2_{(eki)} &= Zis \text{ (sisi sekunder)} + ZiT + Z1 \text{ penyulang} \\ &= j 0,097 + j 0,8317 + Z1 \text{ penyulang} \\ &= j 0,9287 + Z1 \text{ penyulang} \end{aligned}$$

Maka, impedansi ekuivalen $Z1_{(eki)}$ dan $Z2_{(eki)}$ adalah:

Tabel 4. 6. Tabel Impdansi Ekuivalen $Z1_{(eki)}$ dan $Z2_{(eki)}$

Panjang Jaringan %	Perhitungan	Impedansi Ekuivalen $Z1_{(eki)}$ dan $Z2_{(eki)}$
0	$0 + j 0,9287$	$0 + j 0,9287 \Omega$
25	$0,3444 + j 0,8092 + j 0,9287$	$0,3444 + j 1,7379 \Omega$
50	$0,6888 + j 1,6184 + j 0,9287$	$0,6888 + j 2,5471 \Omega$
75	$1,0332 + j 2,4276 + j 0,9287$	$1,0332 + j 3,3563 \Omega$
100	$1,3776 + j 3,2369 + j 0,9287$	$1,3776 + j 4,1656 \Omega$

Untuk perhitungan $Z0_{(eki)}$, dapat dicari dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Z0_{(eki)} &= Z0_T + 3 \times Rn + Z0 \text{ penyulang} \\ &= j 2,4951 + 3 \times 0,5 + Z0 \text{ penyulang} \\ &= j 2,4951 + 1,5 + Z0 \text{ penyulang} \end{aligned}$$

Untuk menghitung nilai arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah dapat dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} I_{(1 \text{ fasa tanah})} &= \frac{3 \times V_{ph}}{Z_1(eki) + Z_2(eki) + Z_0(eki)} \\ &= \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{2 \times Z_1(eki) + Z_0(eki)} \\ &= \frac{34641,016}{2 \times Z_1(eki) + Z_0(eki)} \end{aligned}$$

- Perhitungan arus gangguan hubung singkat 1 fasa untuk panjang saluran 0%

$$\begin{aligned} I_{(1 \text{ fasa tanah})} &= \frac{34641,016}{2 \times (0 + j 0,9287) + 1,5 + 2,4951} \\ &= 3517,7 \text{ A} \end{aligned}$$

- Perhitungan arus gangguan hubung singkat 1 fasa untuk panjang saluran 25%

$$\begin{aligned} I_{(1 \text{ fasa tanah})} &= \frac{34641,016}{2 \times (0,3444 + j 1,7379) + 2,2236 + j 6,6035} \\ &= 2666,4 \text{ A} \end{aligned}$$

- Perhitungan arus gangguan hubung singkat 1 fasa untuk panjang saluran 50%

$$\begin{aligned} I_{(1 \text{ fasa tanah})} &= \frac{34641,016}{2 \times (0,6888 + j 2,5471) + 2,9473 + j 10,712} \\ &= 1720,7 \text{ A} \end{aligned}$$

- Perhitungan arus gangguan hubung singkat 1 fasa untuk panjang saluran 75%

$$\begin{aligned} I_{(1 \text{ fasa tanah})} &= \frac{34641,016}{2 \times (1,0332 + j 3,3563) + 3,6709 + j 14,8204} \\ &= 1270,2 \text{ A} \end{aligned}$$

- Perhitungan arus gangguan hubung singkat 1 fasa untuk panjang saluran 100%

$$\begin{aligned} I_{(1 \text{ fasa tanah})} &= \frac{34641,016}{2 \times (1,3776 + j 4,1656) + 4,3946 + j 18,9289} \\ &= 1006,7 \text{ A} \end{aligned}$$

Tabel 4.8. Hasil Perhitungan Tabel Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa

Panjang Jaringan %	Arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah
0 %	3517,7 A
25 %	2666,4 A
50 %	1720,7 A
75 %	1270,2 A
100 %	1006,7 A

2. Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah

Kemungkinan arus gangguan hubung singkat 2 fasa ke tanah terjadi di sebabkan oleh putusnya kawat fasa tengah pada jaringan transmisi atau distribusi. Selain itu, dapat juga disebabkan oleh rusaknya isolator di bagian transmisi atau jaringan distribusi. Untuk menghitung arus gangguan hubung singkat 2 fasa dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$I_{2\text{fasa}} = \frac{V_{ph} - ph}{Z_1(eki) + Z_2(eki)}$$

$$= \frac{20000}{2 \times Z_1(eki)}$$

- Perhitungan arus gangguan hubung singkat 2 fasa untuk panjang saluran 0 %

$$I_{2\text{fasa}} = \frac{20000}{2 \times (0 + j 0,9287)} = \frac{20000}{2 \times \sqrt{0^2 + 0,9287^2}} = 10767,7 \text{ A}$$

- Perhitungan arus gangguan hubung singkat 2 fasa untuk panjang saluran 25 %

$$I_{2\text{fasa}} = \frac{20000}{2 \times (0,3444 + j 1,7379)} = \frac{20000}{2 \times \sqrt{0,3444^2 + 1,7379^2}} = 5644,3 \text{ A}$$

- Perhitungan arus gangguan hubung singkat 2 fasa untuk panjang saluran 50 %

$$I_{2\text{fasa}} = \frac{20000}{2 \times (0,6888 + j 2,5471)} = \frac{20000}{2 \times \sqrt{0,6888^2 + 2,5471^2}} = 3789,9 \text{ A}$$

- Perhitungan arus gangguan hubung singkat 2 fasa untuk panjang saluran 75 %

$$I_{2\text{fasa}} = \frac{20000}{2 \times (1,0332 + j 3,3563)} = \frac{20000}{2 \times \sqrt{1,0332^2 + 3,3563^2}} = 2847,5 \text{ A}$$

- Perhitungan arus gangguan hubung singkat 2 fasa untuk panjang saluran 100%

$$= \frac{20000}{2 \times (1,3776 + j 4,1656)} = \frac{20000}{2 \times \sqrt{1,3776^2 + 4,1656^2}} = 2279,2 \text{ A}$$

Tabel 4. 9. Hasil Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

Panjang Jaringan %	Arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah
0 %	10767,7 A
25 %	5644,3 A
50 %	3789,9 A
75 %	2847,5 A
100 %	2279,2 A

3. Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Untuk menghitung arus gangguan hubung singkat 3 fasa, dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} I_{3\text{fasa}} &= \frac{V_{ph}}{Z1(eki)} \\ &= \frac{20000/\sqrt{3}}{Z1(eki)} \\ &= \frac{11547}{Z1(eki)} \end{aligned}$$

- Perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa pada panjang saluran 0 %

$$I_{3\text{fasa}} = \frac{11547}{0 + j 0,9287} = \frac{11547}{\sqrt{0^2 + 0,9287^2}} = 12433,5 \text{ A}$$

- Perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa pada panjang saluran 25 %

$$I_{3\text{fasa}} = \frac{11547}{0,3444 + j 1,7379} = \frac{11547}{\sqrt{0,3444^2 + 1,7379^2}} = 6517,4 \text{ A}$$

- Perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa pada jaringan saluran 50 %

$$I_{3\text{fasa}} = \frac{11547}{0,6888 + 2,5471} = \frac{11547}{\sqrt{0,6888^2 + 2,5471^2}} = 4376,1 \text{ A}$$

- Perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa pada jaringan saluran 75 %

$$I_{3\text{fasa}} = \frac{11547}{1,0332 + 3,3563} = \frac{11547}{\sqrt{1,0332^2 + 3,3563^2}} = 3288,1 \text{ A}$$

- Perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa pada jaringan saluran 100%

$$I_{3\text{fasa}} = \frac{11547}{1,3776 + 4,1656} = \frac{11547}{\sqrt{1,3776^2 + 4,1656^2}} = 2631,8 \text{ A}$$

Tabel 4. 10. Hasil Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Panjang Jaringan %	Arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah
0 %	12433,5 A
25 %	6517,4 A
50 %	4376,1 A
75 %	3288,1 A
100 %	2631,8 A

Dari hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah, 2 fasa, dan 3 fasa maka dapat dibuat perbandingan besarnya arus gangguan hubung singkat terhadap titik lokasi gangguan (lokasi gangguan pada penyulang yang dinyatakan dalam %). Berikut adalah perbandingannya:

Tabel 4. 11. Perbandingan Arus Gangguan Hubung Singkat 1, 2, dan 3 Fasa

Panjang Penyulang (%)	Jarak (Km)	Arus Gangguan Hubung Singkat (A)		
		1 fasa ke tanah	2 fasa ke tanah	3 fasa
0 %	0	3517,7 A	10767,7 A	12433,5 A
25 %	2,562	2666,4 A	5644,3 A	6517,4 A
50 %	5,125	1720,7 A	3789,9 A	4376,1 A
75 %	7,687	1270,2 A	2847,5 A	3288,1 A
100 %	10,25	1006,7 A	2279,2 A	2631,8 A

Dari table 4.11 dapat dilihat perbedaan arus yang terhitung. Besarnya arus gangguan hubung singkat akan dipengaruhi oleh panjang jarak titik gangguannya. Sebagai contoh pada perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa di titik 0 % atau jarak 0 Km. Setelah dihitung, di dapat nilai arus gangguan sebesar 12433,5 A, lalu nilai arus gangguan hubung singkat pada titik 25% akan mengecil yaitu sebesar 6517,4 A dan terus mengecil seiring dengan bertambahnya panjang dan jarak titik gangguan (menjauh dari sumber) hingga mencapai di titik 100 % atau 10,25 Km.

Dari penjelasan tersebut, maka dapat di analisis bahwa semakin jauh jarak titik gangguan maka akan semakin kecil gangguan arus hubung singkatnya, hal ini di pengaruhi oleh besarnya nilai impedansi ekivalen (tahan gangguan). Jika nilai impedansi ekivalen besar maka nilai arus gangguan hubung singkat akan semakin kecil. Begitu juga sebaliknya, jika semakin dekat dengan jarak titik gangguan maka arus gangguan hubung singkat akan semakin besar. Hal ini berlaku juga pada arus gangguan hubung singkat 2 fasa tanah dan 1 fasa ke tanah.

4.4. Perhitungan Setting Rele Arus Lebih

Dalam *setting* sebuah rele arus lebih banyak faktor yang harus diperhatikan, salah satunya adalah karakteristik rele itu sendiri. Rele pada penyulang dan recloser di jaringan penyulang GJN-04 berkarakteristik *standard inverse* dengan ketentuan arus *setting* sebesar 1,05 sampai $1,2 \times I_{load \text{ maksimal}}$. Karakteristik pemutusan arus/waktu rele bervariasi sesuai dengan kebutuhan waktu pemutusan yang diperlukan dan dari karakteristik dari peralatan proteksi lain yang dipergunakan dalam jaringan

4.4.1 Perhitungan Setting Rele di Sisi Penyulang GJN 04 / 20 kV

Pada sisi penyulang GJN 04 menggunakan rele arus lebih dengan kurva *standard inverse* dengan rasio CT 400 / 1 A. Berikut adalah perhitungan *setting* nya:

1. Perhitungan Setelan Arus

$$\begin{aligned}
 \text{Diketahui : } I_{\text{beban}} &= 480 \text{ Ampere} \\
 \text{Rasio CT} &= 400 : 1 \text{ Ampere} \\
 I_{\text{set (primer)}} &= 1,2 \times \text{beban} \\
 &= 1,2 \times 480 \\
 &= 576 \text{ Ampere}
 \end{aligned}$$

Nilai di atas merupakan nilai setelan arus pada sisi primer, dan untuk nilai setelan arus pada sisi sekunder dapat di hitung dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 I_{\text{set (sekunder)}} &= I_{\text{set (primer)}} \times \frac{1}{\text{Rasio CT}} \\
 &= 576 \text{ A} \times \frac{1}{400/1} \text{ A} \\
 &= 576 \text{ A} \times \frac{1}{400} \text{ A} \\
 &= 1,44 \text{ Ampere}
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan Setelan TMS (*Time Multilexer Setting*)

Pada perhitungan setelan TMS ini menggunakan nilai perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa pada sisi penyulang GJN 04 pada titik lokasi gangguan 0 %. Diketahui nilai ketetapan $t = 0,3$ dektik, maka dapat dapat di hitung nilai TMS dengan cara sebagai berikut:

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

Rumus di atas merupakan rumus perhitungan untuk mencari nilai ketetapan t (waktu). Karena yang dicari nilai TMS nya, maka dari rumus di atas akan di uraikan menjadi seperti berikut:

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

$$\begin{aligned}
&= \frac{0,3 \times \left(\left(\frac{I_{\text{Gangguan hubung singkat 3 fasa}}{I_{\text{set(primer)}}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} \\
&= \frac{0,3 \times \left(\left(\frac{12433,5}{576} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} \\
&= 0,1357
\end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, maka di dapat nilai TMS untuk rele arus lebih di penyulang GJN 04 adalah sebesar 0,1357.

4.4.2 Perhitungan *setting* Rele Arus Lebih Yang Terpasang pada Recloser

Terpat rele arus lebih yang terpasang pada recloser di sisi *outgoing* penyulang GJN 04 dengan rasio CT 600/1 dengan jenis kurva *standard inverse* (SI). Berikut adalah perhitungan *setting* nya:

1. Perhitungan Setelan Arus

$$\begin{aligned}
\text{Diketahui : } I_{\text{beban}} &= 400 \text{ Ampere} \\
\text{Rasio CT} &= 600 : 1 \text{ Ampere} \\
I_{\text{set (primer)}} &= 1,2 \times \text{beban} \\
&= 1,2 \times 400 \\
&= 480 \text{ Ampere}
\end{aligned}$$

Nilai di atas merupakan nilai setelan arus pada sisi primer, dan untuk nilai setelan arus pada sisi sekunder dapat di hitung dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
I_{\text{set (sekunder)}} &= I_{\text{set (primer)}} \times \frac{1}{\text{Rasio CT}} \\
&= 480 \text{ A} \times \frac{1}{400/1} \text{ A} \\
&= 480 \text{ A} \times \frac{1}{400} \text{ A} \\
&= 0,8 \text{ Ampere}
\end{aligned}$$

2. Perhitungan Setelan TMS (*Time Multilexer Setting*)

Pada perhitungan setelan TMS ini menggunakan nilai perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa pada sisi penyulang GJN 04 pada titik lokasi gangguan 0 %. Diketahui nilai ketetapan wakt kerja rele $t = 0,02$ dektik, maka dapat dapat di hitung nilai TMS dengan cara sebagai berikut:

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

Rumus di atas merupakan rumus perhitungan untuk mencari nilai ketetapan t (waktu). Karena yang dicari nilai TMS nya, maka dari rumus di atas akan di uraikan menjadi seperti berikut:

$$\begin{aligned} TMS &= \frac{t \times \left(\left(\frac{I_{fault}}{I_{set(primer)}}\right)^{0,02} - 1\right)}{0,14} \\ &= \frac{0,02 \times \left(\left(\frac{I_{Gangguan\ hubung\ singkat\ 3\ fasa}}{I_{set(primer)}}\right)^{0,02} - 1\right)}{0,14} \\ &= \frac{0,02 \times \left(\left(\frac{12433,5}{480}\right)^{0,02} - 1\right)}{0,14} \\ &= 9,607 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, maka di dapat bilai TMS untuk rele arus lebih yang terpasang pada recloser penyulang GJN 04 adalah sebesar $9,607 \times 10^{-3}$

4.5 Pemeriksaan Waktu Kerja Alat Proteksi

4.5.1 Waktu Kerja Rele Arus Lebih

Pada sisi penyulang dan yang terpasang pada recloser GJN-04, menggunakan rele dengan karakteristik *standard inverse*. Dengan mengasumsikan gangguan dengan titik lokasi gangguan pada 0%, 25%, 75%, dan 100% maka dapat dihitung waktu kerja rele dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

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

1. Perhitungan Waktu Kerja Rele pada Gangguan Arus 3 Fasa

a. Waktu Kerja Rele Pada Sisi Penyulang

$$\text{Rumus : } t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1}$$

- Perhitungan waktu kerja rele gangguan arus 3 fasa pada panjang saluran 0 %

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1357}{\left(\frac{12433,5}{576}\right)^{0,02} - 1} = 0,29 \text{ detik}$$

- Perhitungan waktu kerja rele gangguan arus 3 fasa pada panjang saluran 25 %

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1357}{\left(\frac{6517,4}{576}\right)^{0,02} - 1} = 0,38 \text{ detik}$$

- Perhitungan waktu kerja rele gangguan arus 3 fasa pada panjang saluran 50 %

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1357}{\left(\frac{4376,1}{576}\right)^{0,02} - 1} = 0,45 \text{ detik}$$

- Perhitungan waktu kerja rele gangguan arus 3 fasa pada panjang saluran 75 %

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1357}{\left(\frac{3288,1}{576}\right)^{0,02} - 1} = 0,53 \text{ detik}$$

- Perhitungan waktu kerja rele gangguan arus 3 fasa pada panjang saluran 100%

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1357}{\left(\frac{2631,8}{576}\right)^{0,02} - 1} = 0,61$$

b. Waktu Kerja Rele Pada Recloser

$$\text{Rumus : } t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1}$$

- Perhitungan waktu kerja rele gangguan arus 3 fasa pada panjang saluran 0 %

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 9,607 \times 10^{-3}}{\left(\frac{12433,5}{480}\right)^{0,02} - 1} = 0,019 \text{ detik}$$

- Perhitungan waktu kerja rele gangguan arus 3 fasa pada panjang saluran 25 %

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 9,607 \times 10^{-3}}{\left(\frac{6517,4}{480}\right)^{0,02} - 1} = 0,025 \text{ detik}$$

- Perhitungan waktu kerja rele gangguan arus 3 fasa pada panjang saluran 50 %

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 9,607 \times 10^{-3}}{\left(\frac{4376,1}{480}\right)^{0,02} - 1} = 0,029 \text{ detik}$$

- Perhitungan waktu kerja rele gangguan arus 3 fasa pada panjang saluran 75 %

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 9,607 \times 10^{-3}}{\left(\frac{3288,1}{480}\right)^{0,02} - 1} = 0,034 \text{ detik}$$

- Perhitungan waktu kerja rele gangguan arus 3 fasa pada panjang saluran 100%

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 9,607 \times 10^{-3}}{\left(\frac{2631,8}{480}\right)^{0,02} - 1} = 0,038 \text{ detik}$$

Tabel 4. 12. Perbandingan Hasil Perhitungan Waktu Kerja Rele Arus Lebih Pada Gangguan 3 Fasa

Hasil Perhitungan Waktu Kerja Rele Arus Lebih Pada Gangguan 3 Fasa		
Lokasi Gangguan dari Penyulang (%)	Mulai Waktu OCR Penyulang Mendeteksi Gangguan (Detik)	Mulai Waktu OCR Recloser Mendeteksi Gangguan (Detik)
0	0,29	0,019
25	0,38	0,025
50	0,45	0,029
75	0,53	0,034
100	0,61	0,038

2. Perhitungan Waktu Kerja Rele pada Gangguan Arus 2 Fasa Ke Tanah

a. Perhitungan Waktu Kerja Rele Sisi Penyulang

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

- Perhitungan waktu kerja rele gangguan arus 2 fasa pada panjang saluran 0 %

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1357}{\left(\frac{10767,7}{576}\right)^{0,02} - 1} = 0,31 \text{ detik}$$

- Perhitungan waktu kerja rele gangguan arus 2 fasa pada panjang saluran 25 %

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1357}{\left(\frac{5644,3}{576}\right)^{0,02} - 1} = 0,40 \text{ detik}$$

- Perhitungan waktu kerja rele gangguan arus 2 fasa pada panjang saluran 50 %

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1357}{\left(\frac{3789,9}{576}\right)^{0,02} - 1} = 0,49 \text{ detik}$$

- Perhitungan waktu kerja rele gangguan arus 2 fasa pada panjang saluran 75 %

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1357}{\left(\frac{2847,5}{576}\right)^{0,02} - 1} = 0,58 \text{ detik}$$

- Perhitungan waktu kerja rele gangguan arus 2 fasa pada panjang saluran 100%

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1357}{\left(\frac{2279,2}{576}\right)^{0,02} - 1} = 0,68 \text{ detik}$$

b. Perhitungan Waktu Kerja Rele Arus Lebih pada Recloser

$$\text{Rumus : } t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1}$$

- Perhitungan waktu kerja rele gangguan arus 2 fasa pada panjang saluran 0 %

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 9,607 \times 10^{-3}}{\left(\frac{10767,7}{480}\right)^{0,02} - 1} = 0,020 \text{ detik}$$

- Perhitungan waktu kerja rele gangguan arus 2 fasa pada panjang saluran 25 %

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 9,607 \times 10^{-3}}{\left(\frac{5644,3}{480}\right)^{0,02} - 1} = 0,026 \text{ detik}$$

- Perhitungan waktu kerja rele gangguan arus 2 fasa pada panjang saluran 50 %

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 9,607 \times 10^{-3}}{\left(\frac{3789,9}{480}\right)^{0,02} - 1} = 0,031 \text{ detik}$$

- Perhitungan waktu kerja rele gangguan arus 2 fasa pada panjang saluran 75 %

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 9,607 \times 10^{-3}}{\left(\frac{2847,5}{480}\right)^{0,02} - 1} = 0,037 \text{ detik}$$

- Perhitungan waktu kerja rele gangguan arus 2 fasa pada panjang saluran 100 %

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 9,607 \times 10^{-3}}{\left(\frac{2279,2}{480}\right)^{0,02} - 1} = 0,042 \text{ detik}$$

Tabel 4.13. Hasil Perhitungan Waktu Kerja Rele Gangguan 2 Fasa

Hasil Perhitungan Waktu Kerja Rele Arus Lebih Gangguan 2 Fasa		
Lokasi Gangguan dari Penyulang (%)	Mulai Waktu OCR Penyulang Mendeteksi Gangguan (Detik)	Mulai Waktu OCR Recloser Mendeteksi Gangguan (Detik)
0	0,31	0,020
25	0,40	0,026
50	0,49	0,031
75	0,58	0,037
100	0,68	0,042

3. Perhitungan Waktu Kerja Rele pada Gangguan Arus 1 Fasa ke Tanah

a. Perhitungan Waktu Kerja Rele Sisi Penyulang

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

- Perhitungan waktu kerja rele gangguan arus 1 fasa pada panjang saluran 0 %

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1357}{\left(\frac{3517,7}{576}\right)^{0,02} - 1} = 0,51 \text{ detik}$$

- Perhitungan waktu kerja rele gangguan arus 1 fasa pada panjang saluran 25 %

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1357}{\left(\frac{2666,4}{576}\right)^{0,02} - 1} = 0,61 \text{ detik}$$

- Perhitungan waktu kerja rele gangguan arus 1 fasa pada panjang saluran 50 %

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1357}{\left(\frac{1720,7}{576}\right)^{0,02} - 1} = 0,85 \text{ detik}$$

- Perhitungan waktu kerja rele gangguan arus 1 fasa pada panjang saluran 75 %

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1357}{\left(\frac{1270,2}{576}\right)^{0,02} - 1} = 1,19 \text{ detik}$$

- Perhitungan waktu kerja rele gangguan arus 1 fasa pada panjang saluran 0 %

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1357}{\left(\frac{1006,7}{576}\right)^{0,02} - 1} = 1,69 \text{ detik}$$

b. Perhitungan Waktu Kerja Rele Arus Lebih Pada Recloser

$$\text{Rumus : } t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1}$$

- Perhitungan waktu kerja rele gangguan arus 1 fasa pada panjang saluran 0 %

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 9,607 \times 10^{-3}}{\left(\frac{3517,7}{480}\right)^{0,02} - 1} = 0,033 \text{ detik}$$

- Perhitungan waktu kerja rele gangguan arus 1 fasa pada panjang saluran 25 %

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 9,607 \times 10^{-3}}{\left(\frac{2666,4}{480}\right)^{0,02} - 1} = 0,038 \text{ detik}$$

- Perhitungan waktu kerja rele gangguan arus 1 fasa pada panjang saluran 50 %

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 9,607 \times 10^{-3}}{\left(\frac{1720,7}{480}\right)^{0,02} - 1} = 0,052 \text{ detik}$$

- Perhitungan waktu kerja rele gangguan arus 1 fasa pada panjang saluran 75 %

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 9,607 \times 10^{-3}}{\left(\frac{1270,2}{480}\right)^{0,02} - 1} = 0,068 \text{ detik}$$

- Perhitungan waktu kerja rele gangguan arus 1 fasa pada panjang saluran 100 %

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 9,607 \times 10^{-3}}{\left(\frac{1006,7}{480}\right)^{0,02} - 1} = 0,090 \text{ detik}$$

Tabel 4.14. Hasil Perhitungan Waktu Kerja Rele Gangguan 1 Fasa ke Tanah

Hasil Perhitungan Waktu Kerja Rele Arus Lebih Gangguan 1 Fasa ke Tanah		
Lokasi Gangguan dari Penyulang (%)	Mulai Waktu OCR Penyulang Mendeteksi Gangguan (Detik)	Mulai Waktu OCR Recloser Mendeteksi Gangguan (Detik)
0	0,51	0,033
25	0,61	0,038
50	0,85	0,052
75	1,19	0,068
100	1,69	0,090

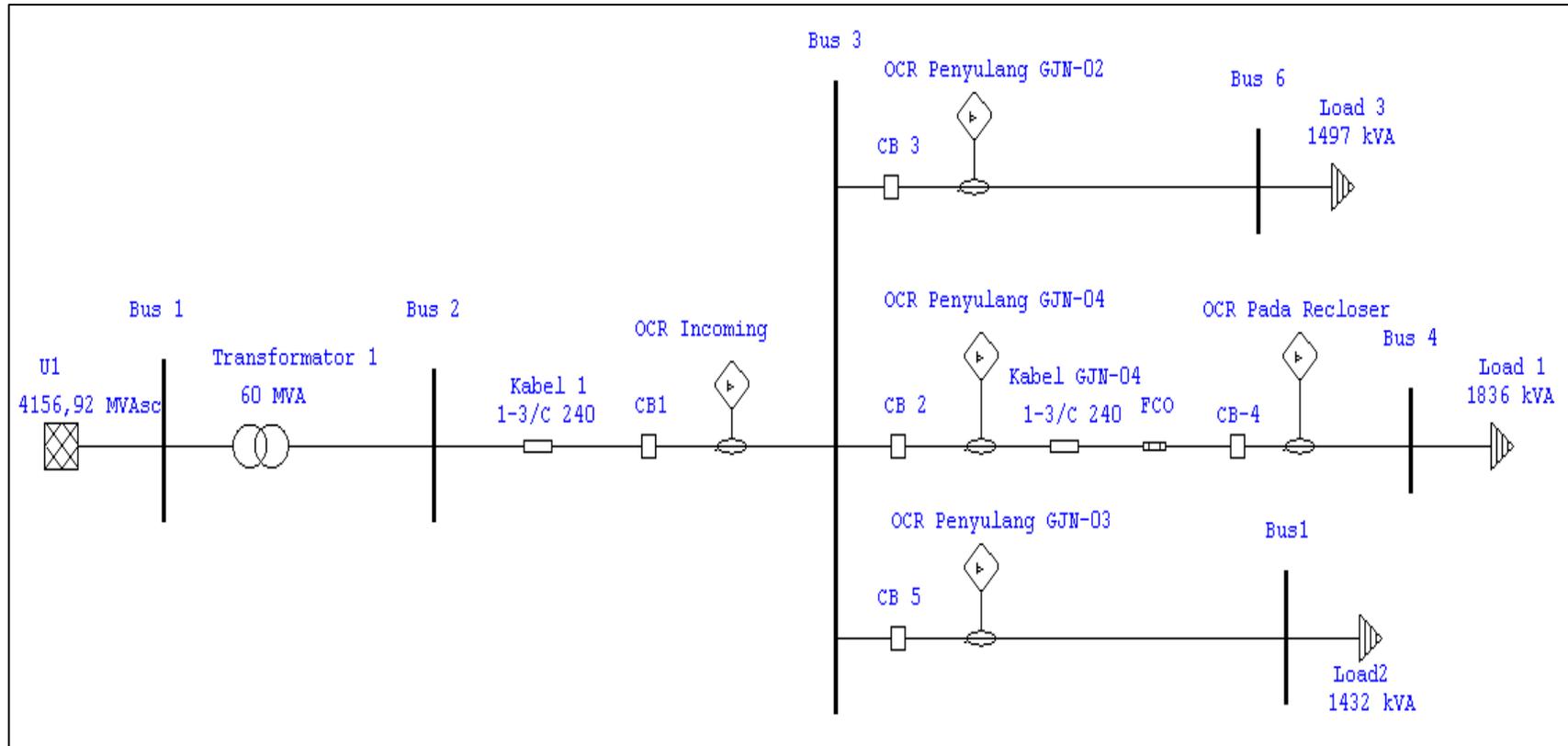
4.6. Simulasi Koordinasi Alat Proteksi pada *software* ETAP 12.6

Untuk menguji kerja OCR dengan FCO, maka akan dilakukan simulasi koordinasi proteksi pada sisi *outgoing* penyulang GJN-04 dengan menggunakan *software* ETAP 12.6. Metode pengujian yang digunakan adalah *Star – Protective Device Coordination* dengan memberikan gangguan di salah satu titik di jaringan agar dapat diketahui kinerja dari OCR dan FCO yang terpasang.

Simulasi gangguan akan dilakukan di sisi *outgoing* pada jaringan 20 kV penyulang GJN-04. Dengan melakukan simulasi, maka akan diketahui kinerja dan koordinasi OCR dan FCO yang terpasang dengan harapan kerja kedua alat proteksi tersebut dapat terorganisir dengan baik.

Pada simulasi, terdapat tiga penyulang yaitu, penyulang GJN-02, GJN-04, dan GJN 03. Simulasi gangguan akan diberikan hanya sisi *outgoing* di penyulang GJN-04 dikarenakan data *setting* di kedua penyulang yang lain hampir sama maka akan difokuskan pada satu penyulang saja yaitu GJN-04 seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.4.

Dengan cara membandingkan antara simulasi berdasarkan data terpasang dan yang terhitung maka akan diketahui kinerja koordinasi antara OCR pada recloser dan FCO yang ada pada jaringan penyulang GJN-04.



Gambar 4.4. Simulasi Koordinasi Alat Proteksi Keseluruhan

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
10,0	FCO GJN-04	2,618	< 10,0		
20,0	OCR Recloser	2,618	20,0		Phase - OC1 - 50
30,0	CB3		10,0		Tripped by OCR Recloser Phase - OC1 - 50
1097	OCR GJN-04	2,618	1097		Phase - OC1 - 51
1107	CB2		10,0		Tripped by OCR GJN-04 Phase - OC1 - 51

Gambar 4.6. Hasil *report* simulasi waktu kerja OCR dan FCO

Dari hasil *report* simulasi koordinasi proteksi ETAP berdasarkan data yang terpasang dapat dilihat waktu kerja dari FCO dan OCR pada recloser. Ketika diberi arus gangguan pada bus 4 FCO bekerja terlebih dahulu dengan waktu kerja 10 ms = 0,01 detik sedangkan OCR pada recloser bekerja setelahnya dengan waktu kerja 20 ms = 0,02 detik dan akan memerintahkan CB-4 bekerja 0,01 detik setelahnya. Terdapat selisih waktu kerja 0,03 (CB-4) – 0,01 (FCO) = 0,02 detik antara FCO dan OCR pada recloser. Jadi FCO terlebih dahulu bekerja dan dilanjutkan OCR pada recloser. Dapat di analisis bahwa koordinasi antar kedua alat proteksi ini masih kurang baik.

4.6.1 Simulasi Koordinasi Alat Proteksi di Sisi *outgoing* Pada Penyulang GJN-04 Berdasarkan Data yang Terhitung

Pada simulasi ini akan menggunakan data-data yang telah dihitung di sub bab sebelumnya. Simulasi yang akan dilakukan adalah simulasi gangguan tiga fasa simetris dimana arus gangguan akan di letakkan pada titik terjauh pada jaringan. Ada beberapa data terhitung yang digunakan pada simulasi ini yaitu, data terhitung waktu kerja OCR baik itu di sisi penyulang maupun di sisi OCR pada recloser kemudian data terhitung FCO.

4.6.1.1. Waktu Kerja Fuse Cut Out

Perhitungan waktu kerja Fuse Cut Out ini dihitung berdasarkan waktu ketahanan kabel terhadap arus hubung singkat. Dalam suatu jaringan distribusi listrik, jenis kabel telah diatur didalam beberapa standar. Di Indonesia, standar kabel yang sering digunakan adalah standar dari PLN (SPLN). Standar yang

mengatur tentang KHA konduktor adalah SPLN 64:1985. Berikut ini adalah standar KHA konduktor AAAC berdasarkan SPLN 64:1985.

Tabel 4.15. Standar KHA konduktor AAC berdasarkan SPLN 64:1985

Luas Penampang (mm ²)	KHA terus menerus penghantar AAAC (A)
16	105
25	135
35	170
50	210
70	255
95	320
120	365
150	425
185	490
240	585

Jika suatu penghantar pada saluran tenaga listrik mengalami gangguan hubung singkat, suhu konduktor akan naik dikarenakan arus sesaat yang terjadi akibat dari hubung singkat tersebut. Ada batas kenaikan suhu yang diizinkan untuk konduktor kawat aluminium *alloy* adalah 150° C. Nilai arus gangguan hubung singkat yang berhubungan dengan batas suhu ini disebut kapasitas penyaluran sesaat. Kapasitas penyaluran sesaat berkaitan dengan waktu ketahanan konduktor terhadap kenaikan suhu yang di akibatkan gangguna hubung singkat yang terjadi. Pada penyulang GJN-04 di titik ujung jaringan terdapat FCO dengan type – T dengan arus pengenal 100 A.

Tabel 4.16. Spesifikasi *Fuse Cut Out*

Karakteristik	Arus Pengenal (A)	Tegangan Pengenal (kV)	Waktu Kerja (detik)
Type – T (Lambat)	100	24	13,1

Berikut ini adalah rumus cara untuk mengetahui ketahanan konduktor:

$$t = \left(\frac{79,25 \times S}{I} \right)^2$$

Keterangan: I = arus gangguan yang terjadi (A)

S = luas penampang konduktor (mm²)

t = waktu ketahanan pembebanan arus (s)

- **Waktu Kerja Fuse Cut Out Berdasarkan Batas Waktu Ketahanan Kabel**

Pada saluran distribusi penyulang GJN 04 Gardu Induk Gejayan, menggunakan jenis kabel AAAC dengan luas penampang 240 mm². Untuk mendapatkan nilai ketahanan kemampuan kabel pada penyulang GJN 04, maka akan dihitung waktu ketahanan kabel terhadap arus gangguan hubung singkat tiga fasa di penyulang GJN 04.

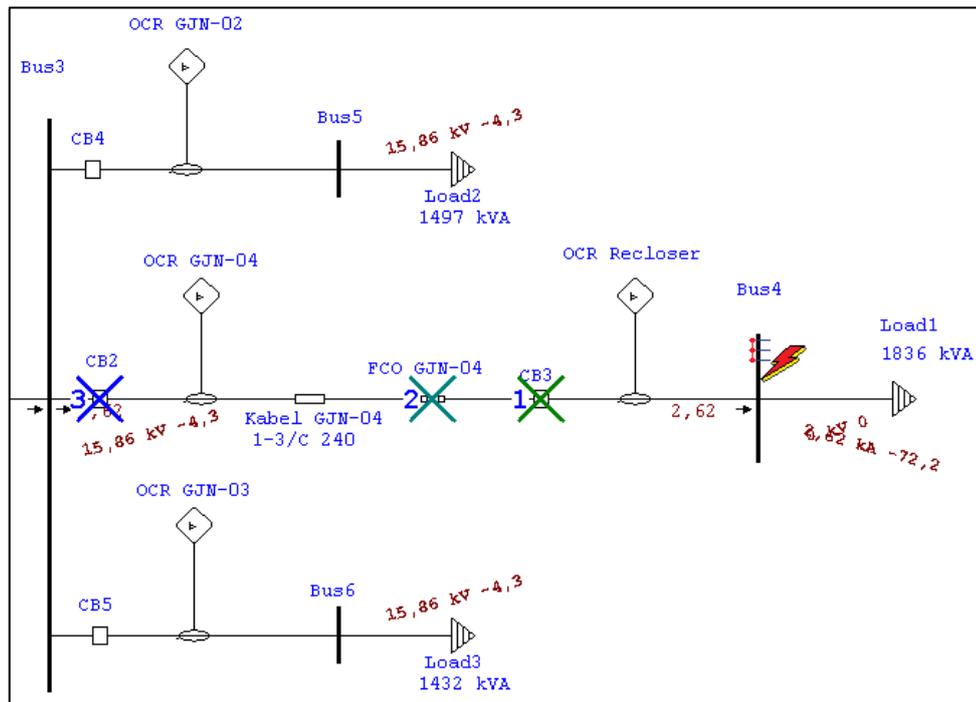
$$\text{Rumus : } t = \left(\frac{79,25 \times S}{I} \right)^2$$

Pada simulasi yang berdasarkan data terhitung ini didapat arus gangguan pada titik bus 4 yaitu sebesar 2621 A. Maka dari itu untuk nilai I (arus gangguan) akan menggunakan nilai besaran arus gangguan tiga fasa yang mendekatinya yaitu pada titik 100 % dengan arus gangguan sebesar 2631,8 A. Berikut ini adalah perhitungan waktu ketahanan kabel terhadap gangguan arus tiga fasa di titik 100%:

$$t = \left(\frac{79,25 \times S}{I} \right)^2 = \left(\frac{79,25 \times 240 \text{ mm}^2}{2631,8} \right)^2 = 52,2 \text{ detik}$$

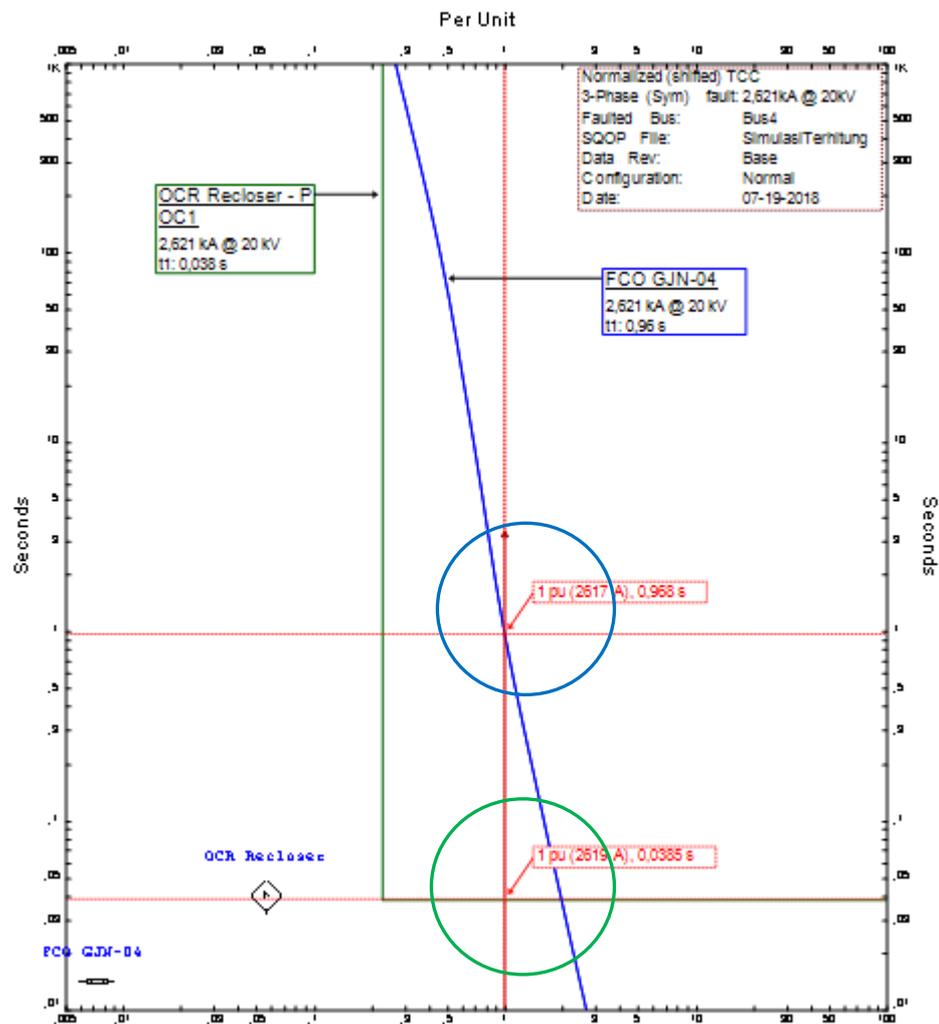
Dari hasil perhitungan di atas, waktu ketahanan pembebanan arus gangguan tiga fasa pada kabel yang terpasang di area FCO adalah sebesar 52,2 detik. Maka, ketika terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada jaringan, FCO harus dapat bekerja untuk memutuskan aliran arus gangguan sebelum 52,2 detik.

Berikut ini adalah potongan gambar hasil simulasi koordinasi proteksi di sisi *outgoing* pada penyulang GJN-04 berdasarkan data yang terhitung:



Gambar 4.7. Simulasi Koordinasi Proteksi Berdasarkan Data yang Terhitung

Gambar di atas adalah simulasi yang dilakukan di sisi *outgoing* pada penyulang GJN-04 berdasarkan data yang terhitung. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, bahwa disaat terjadi gangguan hubung singkat OCR harus mampu berkerja lebih dulu agar FCO tidak perlu bekerja. Hal ini dikarenakan FCO berfungsi hanya sekali kerja saja, dengan kata lain ketika FCO bekerja maka FCO akan rusak dan harus diganti dengan yang baru. Oleh karna itu agar tidak perlu mengeluarkan banyak biaya untuk mengganti FCO maka OCR harus dapat bekerja dengan baik. Dari simulasi tersebut diketahui bahwa saat terjadi gangguan pada bus 4, OCR pada recloser yang bekerja lebih dulu. Namun, terlihat FCO juga bekerja dikarenakan pada metode analisis *Star – Protective Device Coordination* pada *software* ETAP akan memberitahu bahwa FCO yang sudah di *setting* dengan perhitungan yang benar sehingga apabila suatu kondisi dimana OCR pada recloser mengalami kerusakan dan tidak dapat berfungsi, maka FCO yang akan bekerja sebagai pengaman *backup*. Jadi, koordinasi antara OCR pada recloser dengan FCO sudah bekerja dengan baik sehingga peralatan pada jaringan akan tetap aman disaat terjadi hubung singkat.



Gambar 4.8. Grafik Waktu Kerja OCR pada recloser dan FCO

Untuk membuktikan bahwa OCR pada recloser bekerja lebih dulu daripada FCO, maka dapat dilihat pada grafik koordinasi di Gambar 4.4. Dari grafik tersebut dapat dilihat waktu kerja dari OCR pada recloser dan waktu kerja dari FCO. Dari grafik tersebut OCR pada recloser akan memberi perintah kerja kepada CB-4 untuk membuka disaat OCR tersebut membaca arus gangguan sebesar 2621 Ampere. OCR pada recloser akan merasakan arus gangguan sebesar 2621 Ampere dalam waktu 0,038 detik (ditunjukkan dalam lingkaran hijau). Sedangkan FCO akan merasakan arus gangguan sebesar 2621 ampere dalam waktu 0,96 detik (ditunjukkan dalam lingkaran biru). Dengan itu juga dapat dibuktikan bahwa

waktu kerja FCO sudah baik karena FCO bekerja lebih dulu dari waktu ketahanan kabel terhadap arus gangguan tiga fasa yang sudah dihitung yaitu 52,2 detik.

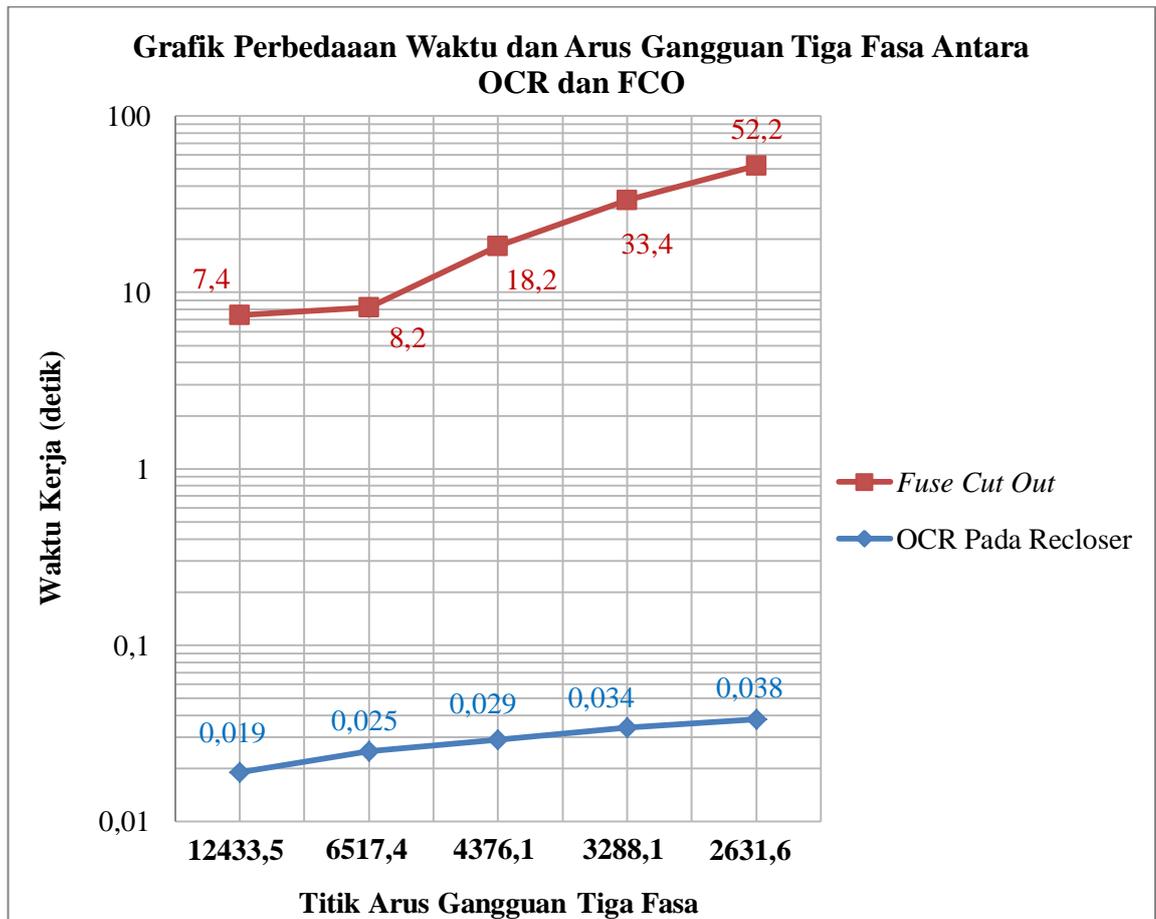
4.7. Perbandingan Hasil Perhitungan dan Hasil Simulasi

Berikut ini akan dijelaskan perbandingan hasil perhitungan dan hasil simulasi yang sudah dilakukan di software ETAP. Dibawah ini akan dijelaskan perbandingan berdasarkan arus gangguan dan waktu kerja OCR pada recloser dan FCO yang akan ditunjukkan pada tabel 4.16.

Tabel 4.17. Perbandingan Arus Gangguan dan Waktu Kerja OCR Pada Recloser dan FCO

No	Jenis Alat Proteksi	Hasil Simulasi		Hasil Perhitungan	
		Arus Gangguan 3 Fasa (A)	Waktu Kerja (Detik)	Arus Gangguan 3 Fasa (A)	Waktu Kerja (Detik)
1	OCR Pada Recloser	2621	0,038	2631,8	0,038
2	<i>Fuse Cut Out</i>	2621	0,98	2631,8	52,2

Pada tabel dapat dilihat perbedaan yang ada pada hasil simulasi dan hasil perhitungan. Dari hasil simulasi didapat waktu kerja OCR pada Recloser sebesar 0,038 ketika simulasi gangguan tiga fasa di berikan di bus 4 dengan arus gangguan sebesar 2621 A di sisi lain berdasarkan hasil perhitungan yang sudah dilakukan didapat waktu kerja OCR pada Recloser sebesar 0,038 detik dengan arus gangguan tiga fasa sebesar 2631,8 A. Sedangkan pada *fuse cut out* berdasarkan hasil simulasi di dapat waktu kerja FCO sebesar 1,1 detik ketika gangguan tiga fasa diberikan di bus 4 dengan arus gangguan sebesar 2621 A kemudian dari hasil perhitungan yang telah dilakukan didapatkan waktu kerja FCO berdasarkan ketahanan kabel sebesar 52,2 detik dengan arus gangguan tiga fasa 2631,8 A. Untuk melihat perbedaan waktu kerja antara OCR dan FCO lebih jelasnya akan di ditampilkan dalam bentuk grafik di bawah ini:



Gambar 4.9. Grafik Perbedaan Waktu Dan Arus Gangguan Tiga Fasa Antara OCR dan FCO Berdasarkan Data Terhitung

Dari grafik di atas, dapat dilihat perbedaan waktu kerja antara OCR pada recloser dan FCO dimana nilai waktu FCO adalah nilai waktu ketahanan kabel terhadap arus gangguan tiga fasa. OCR pada recloser ditandai dengan warna biru dan untuk FCO ditandai dengan warna merah. Pada dasarnya prinsip waktu kerja dari OCR dan FCO hampir sama yaitu jika semakin besar arus gangguan yang terjadi maka akan semakin cepat alat proteksi akan bekerja. Hal ini terlihat pada garis grafik yang menunjukkan perubahan dari kiri bawah menuju ke kanan atas. Jika dilihat dari waktu kerja OCR pada recloser, ketika arus gangguan terjadi pada jaringan sebesar 2621 A (titik 100%) maka OCR akan bekerja dengan waktu 0,038 detik kemudian waktu kerjanya akan semakin cepat jika arus gangguan bertambah besar seperti yang ditunjukkan pada grafik di Gambar 4.9. Di sisi lain,

waktu kerja FCO di grafik merupakan waktu kerja ketahanan kabel terhadap arus gangguan tiga fasa yang terjadi. Waktu ketahanan kabel akan semakin cepat jika arus gangguan bertambah besar. FCO harus dapat bekerja sebelum waktu ketahanan kabel tersebut. Ketika dilakukan simulasi arus gangguan pada ETAP didapatkan nilai arus ganggaun sebesar 2621 ampere , FCO akan bekerja dalam waktu 0,98 detik hal ini membuktikan bahwa waktu kerja FCO sudah bekerja dengan semestinya dimana tidak melebihi batas waktu ketahanan kabel terhadap arus gangguan sebesar 2631,6 A dengan waktu 52,2 detik. Dari penjelasan di atas maka dapat diketahui bahwa waktu kerja OCR pada recloser lebih cepat daripada FCO.