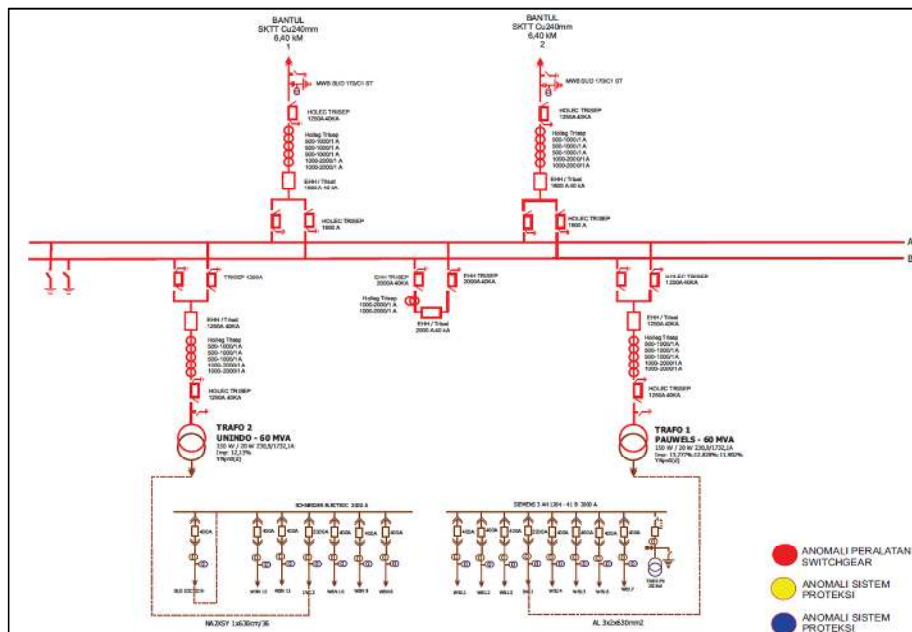


## BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### A. Data dan Spesifikasi Peralatan

#### 1. *Single Line Diagram* GI 150 KV Wirobrajan

GI 150 KV Wirobrajan beralamat di Jl. R. E. Martadinata No. 1, Wirobrajan. GI ini termasuk dalam klasifikasi gardu induk GIS (*Gas Insulated Switchgear*), yaitu gardu induk yang menggunakan media isolasi sistem tenaga listrik dan pemadam busur api dengan gas SF6 (*Sulfur Hexafluoride*).



Gambar 16. *Single Line Diagram* GI 150 kV Wirobrajan

GI 150 KV Wirobrajan memiliki dua buah trafo. Pada masing-masing trafo memiliki kapasitas sendiri-sendiri yaitu transformator I berkapasitas 60 MVA dan transformator 2 berkapasitas 60 MVA. GI 150 kV Wirobrajan

memiliki 12 (dua belas) penyulang (*feeder*). Transformator 1 memiliki 7 (tujuh) penyulang (*feeder*) yaitu ( WBN1, WBN2, WBN3, WBN4, WBN5, WBN6 dan WBN7) sedangkan transformator 2 memiliki 5 (lima) penyulang (*feeder*) yaitu ( WBN8, WBN9, WBN10, WBN11 dan WBN12 ).

## 2. Data dan Spesifikasi Transformator

GI 150 KV Wirobrajan mempunyai 2 (dua) buah transformator yaitu transformator 1 dan transformator 2. Untuk penelitian ini hanya transformator 1 yang digunakan dalam pembahasan penelitian ini dikarenakan transformator 2 baru tahun 2016 beroperasi dan jumlah bebanya lebih sedikit dari pada transformator 1 yang sudah beroperasi sejak tahun 1998. Setelah melakukan observasi di GI 150 kV Wirobrajan diperoleh data dan spesifikasi dari transformator 1 adalah sebagai berikut :

Tabel 9. Spesifikasi Transformator 1 di GI 150 kV Wirobrajan

<i>Name</i>	Trafo 1
<i>Merk/Type</i>	Paulwels/96P0026
<i>Installation</i>	<i>Out-Door</i>
<i>Year of Manufacture</i>	1996
<i>Rated Power</i>	60 MVA
<i>Standard</i>	IEC 76
<i>Frequency Hertz</i>	50 Hz
<i>Phases</i>	3
<i>Vector Group</i>	YNyn0+d
<i>Primary voltage</i>	150 kV
<i>Secondary voltage</i>	20 kV
<i>Short circuit 150 kV</i>	40 kA
<i>Short circuit 20 kV</i>	25 kA
<i>Rn</i>	0,4 Ohm
<i>Impedance</i>	12,50%

Dapat dilihat dari tabel diatas transformator 1 di GI 150 kV Wirobrajan merupakan trafo instalasi luar dengan merk *Pauwels* yang dirancang tahun 1996 dengan standard IEC 76. Transformator ini memiliki kapasitas sebesar 60 MVA, dan memiliki *vector group* YNyn0+d yang berarti trafo sisi primer dan sekunder ini memiliki belitan bintang, beroperasi pada frekuensi 50 Hz serta bertegangan 150 kV pada sisi primer dan 20 kV pada sisi sekunder. Arus hubung singkat pada sisi 150 kV sebesar 40 kA, dan pada sisi 20 kV sebesar 25 kA, dengan tahanan pentanahan ( $R_n$ ) sebesar 0,4 Ohm dan nilai impedansi sebesar 12,50 %.

### 3. Data dan Spesifikasi *Relay* OCR dan GFR

Untuk penelitian ini data dan spesifikasi *relay* yang digunakan adalah data sisi *incoming* dan data sisi penyulang (*feeder*) pada transformator 1, berikut ini merupakan data dan spesifikasi *relay* OCR dan GFR yang ada di GI 150 kV Wirobrajan yang diperoleh saat observasi di tempat penelitian :

Tabel 10. Data *Relay* OCR dan GFR di GI 150 kV Wirobrajan

Sisi	Merk/Type	Inominal	Rasio CT
<i>Incoming</i>	AREVA/MICOM P-122	1	2000
Penyulang WBN 1	GE/MIF II	1	400
Penyulang WBN 2	GE/MIF II	1	400
Penyulang WBN 3	GE/MIF II	1	400
Penyulang WBN 4	GE/MIF II	1	400
Penyulang WBN 5	AREVA/MICOM P-122	1	400
Penyulang WBN 6	GE/MIF II	1	400
Penyulang WBN 7	Cadangan/Tidak digunakan		

Pada GI 150 kV Wirobrajan *relay* OCR dan GFR yang digunakan pada sisi *incoming* menggunakan merk AREVA dengan type MICOM P-122 dengan arus nominal 1 A dengan perbandingan rasio 2000/1, sedangkan *relay* OCR dan GFR pada sisi penyulang (WBN 1, WBN 2, WBN 3, WBN 4, WBN 6) menggunakan *relay* merk GE dengan type MIF II dengan arus nominal 1 A dengan perbandingan rasio 400/1. Sedangkan penyulang WBN 5 menggunakan *relay* merk AREVA dengan type MICOM P-122 dengan arus nominal 1 A dengan perbandingan rasio 400/1

#### 4. Data Setting *Relay* OCR dan GFR

Untuk penelitian ini data setting *relay* yang digunakan adalah sisi *incoming* dan sisi penyulang (*feeder*) pada transformator 1, maka berikut merupakan data setting *relay* OCR dan GFR yang ada di GI 150 kV Wirobrajan yang diperoleh saat observasi di tempat penelitian :

Tabel 11. Data Setting *Relay* OCR di GI 150 kV Wirobrajan

Sisi	I	Kurva	Istep >	Tms >
<i>Incoming</i>	2000	IEC SI	1 x	0,25
Penyulang WBN 1	480	IEC SI	1,2 x	0,23
Penyulang WBN 2	480	IEC SI	1,2 x	0,23
Penyulang WBN 3	480	IEC SI	1,2 x	0,23
Penyulang WBN 4	480	IEC SI	1,2 x	0,23
Penyulang WBN 5	480	IEC SI	1,2 x	0,23
Penyulang WBN 6	480	IEC SI	1,2 x	0,23
Penyulang WBN 7	Cadangan/Tidak digunakan			

Tabel 12. Data Setting *Relay* GFR di GI 150 kV Wirobrajan

Sisi	I	Kurva	Istep >	Tms >
<i>Incoming</i>	800	IEC SI	0,4 x	0,43
Penyulang WBN 1	240	IEC SI	0,5 x	0,30
Penyulang WBN 2	240	IEC SI	0,5 x	0,30
Penyulang WBN 3	240	IEC SI	0,5 x	0,30
Penyulang WBN 4	240	IEC SI	0,5 x	0,30
Penyulang WBN 5	240	IEC SI	0,5 x	0,30
Penyulang WBN 6	240	IEC SI	0,5 x	0,30
Penyulang WBN 7	Cadangan/Tidak digunakan			

*Relay* OCR yang digunakan di GI 150 kV Wirobrajan memiliki karakteristik *standard inverse*, mempunyai nilai TMS dan Istep di tiap sisi berbeda. Pada sisi *incoming*, *relay* yang digunakan memiliki nilai TMS 0,25 detik dengan Istep 1 x. Sedangkan pada semua sisi penyulang (*feeder*), *relay* yang digunakan memiliki nilai TMS 0,23 detik dengan Istep 1,2 x.

*Relay* GFR yang digunakan di GI 150 kV Wirobrajan memiliki karakteristik *standard inverse*, mempunyai nilai TMS dan Istep di tiap sisi berbeda. Pada sisi *incoming*, *relay* yang digunakan memiliki nilai TMS 0,43 detik dengan Istep 0,4 x. Sedangkan pada semua sisi penyulang (*feeder*), *relay* yang digunakan memiliki nilai TMS 0,30 detik dengan Istep 0,5 x.

##### 5. Data Penghantar Penyulang (*Feeder*) Pada Transformator 1

Berdasar hasil observasi dan pengambilan data yang dilakukan di GI 150 kV Wirobrajan untuk data penghantar penyulang (*feeder*) pada transformator 1 adalah sebagai berikut :

Tabel 13. Data Penghantar Penyulang (*Feeder*) Pada Tranformator 1

Nama Penyulang	Jenis Penghantar	Diameter Penghantar	Panjang Penghantar
Penyulang WBN 1	AAAC (A3C)	240 mm <sup>2</sup>	8.8 km
Penyulang WBN 2	AAAC (A3C)	240 mm <sup>2</sup>	6.8 km
Penyulang WBN 3	AAAC (A3C)	240 mm <sup>2</sup>	6.7 km
Penyulang WBN 4	AAAC (A3C)	240 mm <sup>2</sup>	5.4 km
Penyulang WBN 5	AAAC (A3C)	240 mm <sup>2</sup>	4.15 kms
Penyulang WBN 6	AAAC (A3C)	240 mm <sup>2</sup>	7.5 km
Penyulang WBN 7	Cadangan/Tidak digunakan		

Data ini didapat dari kantor PLN Area Yogyakarta divisi jaringan area Kota Yogyakarta. Berdasar tabel, semua penyulang menggunakan penghantar jenis AAAC (A3C) berdiameter 240 mm<sup>2</sup> sebagai penghantar antar fase dan fasa-netral dengan panjang penyulang berbeda-beda seperti tabel diatas. Lalu bisa diketahui juga impedansi urutan positif/negatif dan urutan nol seperti ditabel dibawah ini :

Tabel 14. Impedansi urutan positif/negatif dan nol

Jenis Penghantar	Diameter Penghantar	Impedansi Urutan Positif/Negatif	Impedansi Urutan Nol
AAAC (A3C)	240 mm <sup>2</sup>	0.1344+0.3158j	0.2824+1.6033j

Pada tabel diatas jenis penghantar AAAC berdiameter 240 mm<sup>2</sup> mempunyai nilai impedansi urutan positif/negatif adalah 0.1344+0.3158j dan impedansi urutan nol adalah 0.2824+1.6033j. Nilai impedansi tersebut berdasarkan Standar Perusahaan Umum Listrik Negara (SPLN) 1985 pada halaman 64.

## B. Perhitungan Arus Hubung Singkat

### 1. Perhitungan Impedansi Sumber ( $X_s$ )

Untuk menghitung besar nilai impedansi sumber ( $X_s$ ) terlebih dahulu kita harus mencari ( $MVA_{SC}$ ) menggunakan persamaan rumus :

$$MVA_{SC} = \sqrt{3} \times I_{SC(20kV)} \times V_{ph(150kV)} \quad (4.1)$$

Dimana :

$I_{SC(20kV)}$  = Arus hubung singkat disisi 20 kV

$V_{ph(150kV)}$  = Tegangan (Phase-Phase) di sisi 150 kV

Pada data teknis yang didapat di GI 150 kV Wirobrajan nilai arus hubung singkat disisi jaringan 20 kV ( $I_{SC}$ ) sebesar 25 kA dan untuk tegangan di sisi primer sebesar 150 kV, maka diperoleh nilai ( $MVA_{SC}$ ) sebagai berikut

$$MVA_{SC} = \sqrt{3} \times I_{SC(20kV)} \times V_{ph(150kV)}$$

$$MVA_{SC} = \sqrt{3} \times 25 \text{ kA} \times 150 \text{ kV}$$

$$MVA_{SC} = 6495,19$$

Setelah diperoleh nilai ( $MVA_{SC}$ ), maka nilai impedansi sumber sisi primer 150 kV dapat dihitung menggunakan persamaan rumus dibawah ini :

$$XS_{(150kV)} = \frac{kV \text{ (sisi primer)}^2}{MVA_{SC}} \quad (4.2)$$

$$XS_{(150kV)} = \frac{150 \text{ kV}}{6495,19}$$

$$XS_{(150kV)} = 3,464 \Omega$$

Karena kita ingin mencari arus hubung singkat pada sisi sekunder 20 kV maka nilai impedansi sumber yang digunakan adalah nilai impedansi sumber sisi sekunder 20 kV, cara menghitung impedansi sumber sisi sekunder 20 kV menggunakan persamaan rumus seperti mencari impedansi sumber disisi primer 150 kV sebelumnya, berikut merupakan hasil perhitungan impedansi sumber sisi sekunder 20 kV :

$$X_{S(150kV)} = \frac{kV (sisi\ sekunder)^2}{MVA_{sc}}$$

$$X_{S(150kV)} = \frac{20\ kV}{6495,19}$$

$$X_{S(150kV)} = 0,0616\ \Omega$$

## 2. Perhitungan Reaktansi Transformator

Untuk mencari nilai reaktansi transformator urutan positif/negatif maupun reaktansi urutan nol bisa menggunakan data teknis impedansi transformator yang didapat di GI 150 kV Wirobrajan. Data yang diperoleh saat observasi dilapangan yaitu nilai impedansi sebesar 12,50%, sebelumnya kita harus menghitung nilai reaktansi pada kondisi 100% menggunakan persamaan rumus seperti dibawah ini :

$$X_{t(100\%)} = \frac{kV (sisi\ sekunder)^2}{MVA\ trafo}$$

$$X_{t(100\%)} = \frac{20^2}{60} = 6,67\ \Omega$$



Setelah diperoleh nilai ( $X_t$ ) pada kondisi 100%, maka nilai reaktansi transformator untuk urutan positif dan negatif serta urutan nol bisa dicari menggunakan persamaan rumus seperti dibawah ini :

a. Urutan positif dan negatif ( $X_{t1} = X_{t2}$ )

Untuk mencari nilai reaktansi transformator bisa melihat nilai impedansi pada *datasheet* transformator, pada transformator 1 yang ada di GI 150 kV Wirobrajan nilai impedansinya sebesar 12.5%.

$$X_{t1} = \text{impedance transformator} \times X_{t(100\%)}$$

$$X_{t1} = 12,5\% \times 6,67 \Omega$$

$$X_{t1} = 0,833 \Omega$$

b. Urutan nol ( $X_{t0}$ )

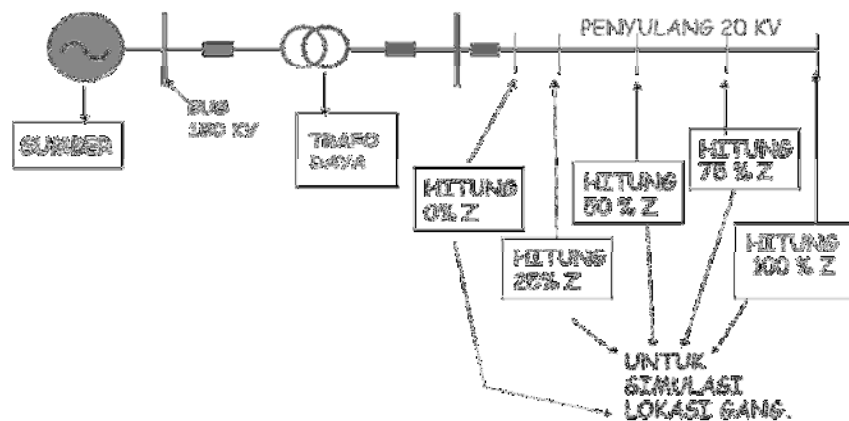
Berdasarkan data yang diperoleh di GI 150 kV Wirobrajan transformator 1 memiliki *vector group* YNyn0+d yang artinya transformator 1 memiliki belitan bintang di sisi primer dan memiliki belitan bintang di sisi sekunder dan biasanya nilai reaktansi urutan nol adalah sama dari dari impedansi urutan positif/negatif sehingga nilai reaktansi transformator urutan nol ( $X_{t0}$ ) dirumuskan sebagai berikut :

$$X_{t0} = X_{t1}$$

$$X_{t0} = 0,833 \Omega$$

### 3. Perhitungan Impedansi Penghantar Penyulang

Data teknis yang diperoleh di GI 150 kV Wirobrajan memiliki 7 penyulang namun hanya 2 penyulang yang digunakan pada analisis diambil penyulang dengan jarak paling jauh dan paling dekat sebagai bahan penelitian. Penghantar yang digunakan adalah jenis kabel AAAC (A3C) dengan diameter  $240 \text{ mm}^2$  dan memiliki panjang penyulang berbeda-beda setiap penyulangnya. Untuk nilai impedansi urutan positif/negatif penghantar adalah  $0.1344+0.3158j$  dan impedansi urutan nol adalah  $0.2824+1.6033j$ .



Gambar 17. Titik Untuk Lokasi Gangguan

Selanjutnya nilai tersebut diasumsikan pada titik-titik gangguan yang terjadi, yaitu pada titik 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% dari panjang penyulang yang terdapat di GI 150 kV Wirobrajan, maka dapat diketahui besar nilai impedansi pada penyulang WBN 1 dan WBN 4 sebagai berikut

**a. Penyulang WBN 1**

Pada penyulang WBN 1 penghantar yang digunakan adalah jenis kabel AAAC (A3C) dengan diameter 240 mm<sup>2</sup> yang memiliki panjang penyulang sejauh 8,8 km. Menurut SPLN 64 : 1985 [10] impedansi kabel untuk urutan positif dan negatif  $Z_1 = 0,1344 + j 0,3158$  dan impedansi urutan nol  $Z_0 = 0,2824 + j 1,6033$ . Maka dapat diketahui besar nilai impedansi pada penyulang sebagai berikut :

1) Urutan Positif/Negatif

Tabel 15. Impedansi Urutan Positif/Negatif Penyulang WBN 1

Titik (%)	Jarak (Km)	Perhitungan	Impedansi Urutan Positif/Negatif ( $Z_1 = Z_2$ )
0 %	0	$0 \times 0,1344 + j 0,3158$	0
25 %	2,2	$2,2 \times 0,1344 + j 0,3158$	$0.2957 + j 0.6948$
50 %	4,4	$4,4 \times 0,1344 + j 0,3158$	$0.5914 + j 1.3895$
75 %	6,6	$6,6 \times 0,1344 + j 0,3158$	$0.8870 + j 2.0843$
100 %	8,8	$8,8 \times 0,1344 + j 0,3158$	$1.1827 + j 2.7790$

2) Urutan Nol

Tabel 16. Impedansi Urutan Nol Penyulang WBN 1

Titik (%)	Jarak (Km)	Perhitungan	Impedansi Urutan Nol ( $Z_0$ )
0 %	0	$0 \times 0,2824 + j 1,6033$	0
25 %	2,2	$2,2 \times 0,2824 + j 1,6033$	$0.6213 + j 3.5273$
50 %	4,4	$4,4 \times 0,2824 + j 1,6033$	$1.2426 + j 7.0545$
75 %	6,6	$6,6 \times 0,2824 + j 1,6033$	$1.8638 + j 10.581$
100 %	8,8	$8,8 \times 0,2824 + j 1,6033$	$2.4851 + j 14.109$

**b. Penyulang WBN 4**

Pada penyulang WBN 4 penghantar yang digunakan adalah jenis kabel AAAC (A3C) dengan diameter 240 mm<sup>2</sup> yang memiliki panjang penyulang sejauh 5,4 km. Menurut SPLN 64 : 1985 [10] impedansi kabel untuk urutan positif dan negatif  $Z_1 = 0,1344 + j 0,3158$  dan impedansi urutan nol  $Z_0 = 0,2824 + j 1,6033$ . Maka dapat diketahui besar nilai impedansi pada penyulang sebagai berikut :

1) Urutan Positif/Negatif

Tabel 17. Impedansi Urutan Positif/Negatif Penyulang WBN 4

Titik (%)	Jarak (Km)	Perhitungan	Impedansi Urutan Positif/Negatif ( $Z_1 = Z_2$ )
0 %	0	$0 \times 0,1344 + j 0,315$	0
25 %	1.35	$1,35 \times 0,1344 + j 0,315$	$0.1814 + j 0.4263$
50 %	2.7	$2,7 \times 0,1344 + j 0,315$	$0.3629 + j 0.8527$
75 %	4.05	$4,05 \times 0,1344 + j 0,315$	$0.5443 + j 1.279$
100 %	5.4	$5,4 \times 0,1344 + j 0,315$	$0.7258 + j 1.7053$

2) Urutan Nol

Tabel 18. Impedansi Urutan Nol Penyulang WBN 4

Titik (%)	Jarak (Km)	Perhitungan	Impedansi Urutan Nol ( $Z_0$ )
0 %	0	$0 \times 0,2824 + j 1,603$	0
25 %	1.35	$1,35 \times 0,2824 + j 1,603$	$0.3812 + j 2.1645$
50 %	2.7	$2,7 \times 0,2824 + j 1,603$	$0.7625 + j 4.3289$
75 %	4.05	$4,05 \times 0,2824 + j 1,603$	$1.1437 + j 6.4934$
100 %	5.4	$5,4 \times 0,2824 + j 1,603$	$1.525 + j 8.6578$

#### 4. Perhitungan Impedansi Ekivalen

Untuk menentukan besarnya nilai impedansi ekivalen urutan positif dan negatif ( $Z_{1eq} = Z_{2eq}$ ) dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = X_{S(150kV)} + X_{t1} + Z_1 \text{ penyulang} \quad (4.3)$$

Dimana

$X_{S(20kV)}$  = Impedansi Sumber 20 kV

$X_{t1}$  = Reaktansi Transformator Urutan +/-

$Z_1$  = Impedansi Urutan +/- Penghantar (Sesuai Titik Gangguan)

Sedangkan untuk mencari nilai impedansi ekivalen urutan nol menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Z_{0eq} = X_{t0} + 3RN + Z_0 \text{ penyulang} \quad (4.4)$$

Dimana :

$X_{t0}$  = Reaktansi Transformator Urutan Nol

$RN$  = Tahanan Netral

$Z_0$  = Impedansi Urutan Nol Penghantar (Sesuai Titik Gangguan)

Dengan cara dan rumus yang sama untuk perhitungan impedansi ekivalen ( $Z_{1eq}, Z_{2eq}, Z_{0eq}$ ) maka didapat besarnya nilai impedansi ekivalen penyulang WBN 1 dan WBN 4 sebagai berikut ini :

**a. Impedansi Ekuivalen Penyulang WBN 1**

1) Urutan Positif/Negatif

Tabel 19. Impedansi Ekuivalen Urutan Positif/Negatif WBN 1

Titik (%)	Jarak (Km)	Perhitungan	Impedansi Ekuivalen Urutan Positif/Negatif ( $Z_{1eq} = Z_{2eq}$ )
0	0	$j 0,0616 + j 0,833 + 0$	0
25	2,2	$0,2957 + j 0,6948 + j 0.8949$	$0.2957 + j 0.6948$
50	4,4	$0,5914 + j 1,3895 + j 0.8949$	$0.5914 + j 1.3895$
75	6,6	$0,8870 + j 2,0843 + j 0.8949$	$0.8870 + j 2.0843$
100	8,8	$1,1827 + j 2,7790 + j 0.8949$	$1.1827 + j 2.7790$

2) Urutan Nol

Tabel 20. Impedansi Ekuivalen Urutan Nol WBN 1

Titik (%)	Jarak (Km)	Perhitungan	Impedansi Ekuivalen Urutan Nol ( $Z_{0eq}$ )
0	0	$j 2,5 + (3 \times 0,4) + 0$	0
25	2,2	$0.6213 + j 3.5273 + Z_{0eq(0\%)}$	$0.2957 + j 0.6948$
50	4,4	$1.2426 + j 7.0545 + Z_{0eq(0\%)}$	$0.5914 + j 1.3895$
75	6,6	$1.8638 + j 10.5818 + Z_{0eq(0\%)}$	$0.8870 + j 2.0843$
100	8,8	$2.4851 + j 14.109 + Z_{0eq(0\%)}$	$1.1827 + j 2.7790$

**b. Impedansi Ekivalen Penyulang WBN 4**

3) Urutan Positif/Negatif

Tabel 21. Impedansi Ekivalen Urutan Positif/Negatif WBN 4

Titik (%)	Jarak (Km)	Perhitungan	Impedansi Ekivalen Urutan Positif/Negatif ( $Z_{1eq} = Z_{2eq}$ )
0	0	$j 0,0616 + j 0,833 + 0$	$j 0.8949$
25	1.35	$0.205 + j 0.4816 + j 0.8949$	$0.205 + j 1.3765$
50	2.7	$0.4099 + j 0.9632 + j 0.8949$	$0.4099 + j 1.8581$
75	4.05	$0.6149 + j 1.4448 + j 0.8949$	$0.6149 + j 2.3397$
100	5.4	$0.8198 + j 1.9264 + j 0.8949$	$0.8198 + j 2.8213$

4) Urutan Nol

Tabel 22. Impedansi Ekivalen Urutan Nol WBN 4

Titik (%)	Jarak (Km)	Perhitungan	Impedansi Ekivalen Urutan Nol ( $Z_{0eq}$ )
0	0	$j 2,5 + (3 \times 0,4) + 0$	$1.2 + j 2.5$
25	1.35	$0.4307 + j 2.445 + Z_{0eq} (0\%)$	$1.6307 + j 4.945$
50	2.7	$0.8613 + j 4.8901 + Z_{0eq} (0\%)$	$2.0613 + j 7.3901$
75	4.05	$1.292 + j 7.3351 + Z_{0eq} (0\%)$	$2.492 + j 9.8351$
100	5.4	$1.7226 + j 9.7801 + Z_{0eq} (0\%)$	$2.9226 + j 12.280$

## 5. Perhitungan Arus Hubung Singkat

### 1. Arus Hubung Singkat 3 Phase (L-L-L)

Untuk mencari nilai arus hubung singkat 3 phase bisa menggunakan rumus persamaan sebagai berikut :

$$I_{sc} 3 \emptyset = \frac{V_{LN}}{Z_{1eq}} \quad (4.5)$$

Dimana :

$V_{LN}$  = Tegangan 20 kV (Phase-Netral)

$Z_{1eq}$  = Impedansi Ekuivalen Urutan +/- (Sesuai Gangguan)

Setelah nilai impedansi ekuivalen yang sebelumnya dihitung didapat dimasukan kedalam persamaan tersebut diperoleh nilai arus hubung singkat 3 phase sebagai berikut :

Tabel 23. Arus Hubung Singkat 3 Phase Penyulang WBN 1

Titik (%)	Jarak (Km)	Perhitungan	Arus Hubung Singkat 3 Phase
0 %	0	$I_{sc} 3 \emptyset = \frac{11547}{0 + j 0.8949}$	12903.12
25 %	2,2	$I_{sc} 3 \emptyset = \frac{11547}{0.591 + j 2.284}$	7141.14
50 %	4,4	$I_{sc} 3 \emptyset = \frac{11547}{0.88 + j 2.979}$	4893.4
75 %	6,6	$I_{sc} 3 \emptyset = \frac{11547}{0.887 + j 2.979}$	3714.72
100 %	8,8	$I_{sc} 3 \emptyset = \frac{11547}{1.182 + j 3.673}$	2991.78

Tabel 23. Arus Hubung Singkat 3 Phase Penyulang WBN 4



Titik (%)	Jarak (Km)	Perhitungan	Arus Hubung Singkat 3 Phase
0 %	0	$I_{sc} 3 \emptyset = \frac{11547}{0 + j 0.8949}$	12903.12
25 %	1.35	$I_{sc} 3 \emptyset = \frac{11547}{0.181 + j 1.321}$	8658.55
50 %	2.7	$I_{sc} 3 \emptyset = \frac{11547}{0.362 + j 1.739}$	6469.34
75 %	4.05	$I_{sc} 3 \emptyset = \frac{11547}{0.544 + j 2.173}$	5152.6
100 %	5.4	$I_{sc} 3 \emptyset = \frac{11547}{0.726 + j 2.600}$	4277.3

## 2. Arus Hubung Singkat 2 Phase (L-L)

Untuk mencari nilai arus hubung singkat 2 phase bisa menggunakan rumus persamaan sebagai berikut :

$$I_{sc} 2 \emptyset = \frac{V_{ph}}{(2 \times Z_{1eq}) + Z_{0eq}} \quad (4.6)$$

Dimana :

$V_{ph}$  = Tegangan 20 kV (Phase-Phase)

$Z_{1eq}$  = Impedansi Ekuivalen Urutan +/- (Sesuai Gangguan)

$Z_{0eq}$  = Impedansi Ekuivalen Urutan Nol (Sesuai Gangguan)

Setelah nilai impedansi ekuivalen urutan positif/negatif dan nol yang sebelumnya dihitung didapat dimasukan kedalam persamaan tersebut diperoleh nilai arus hubung singkat 2 phase sebagai berikut :

Tabel 24. Arus Hubung Singkat 2 Phase Penyulang WBN 1

Titik (%)	Jarak (Km)	Perhitungan	Arus Hubung Singkat 2 Phase
0 %	0	$I_{sc}2 \phi = \frac{20000}{2 \times (j 0.8949)}$	11174.43
25 %	2,2	$I_{sc}2 \phi = \frac{20000}{2 \times (0.295 + j 1,58)}$	6184.42
50 %	4,4	$I_{sc}2 \phi = \frac{20000}{2 \times (0.59 + j 2,28)}$	4237.81
75 %	6,6	$I_{sc}2 \phi = \frac{20000}{2 \times (0,88 + j 2,97)}$	3217.05
100 %	8,8	$I_{sc}2 \phi = \frac{20000}{2 \times (1,18 + j 3,67)}$	2590.96

Tabel 25. Arus Hubung Singkat 2 Phase Penyulang WBN 4

Titik (%)	Jarak (Km)	Perhitungan	Arus Hubung Singkat 2 Phase
0 %	0	$I_{sc}2 \phi = \frac{20000}{2 \times (j 0.8949)}$	11174.43
25 %	1.35	$I_{sc}2 \phi = \frac{20000}{2 \times (0.18 + j 1,32)}$	7498.53
50 %	2.7	$I_{sc}2 \phi = \frac{20000}{2 \times (0.36 + j 1,74)}$	5602.61
75 %	4.05	$I_{sc}2 \phi = \frac{20000}{2 \times (0,54 + j 2,17)}$	4462.28
100 %	5.4	$I_{sc}2 \phi = \frac{20000}{2 \times (0,72 + j 2,60)}$	3704.26

### 3. Arus Hubung Singkat 1 Phase-Tanah (L-G)

Untuk mencari nilai arus hubung singkat 1 phase-tanah bisa menggunakan rumus persamaan sebagai berikut :

$$I_{sc} 1 \emptyset - N = \frac{3 \times V_{LN}}{(2 \times Z_{1eq}) + Z_{0eq}} \quad (4.7)$$

Dimana :

$V_{LN}$  = Tegangan 20 kV Phase-Netral

$Z_{1eq}$  = Impedansi Ekvivalen Urutan +/- (Sesuai Gangguan)

$Z_{0eq}$  = Impedansi Ekvivalen Urutan Nol (Sesuai Gangguan)

Setelah nilai impedansi ekivalen urutan positif/negatif dan nol yang sebelumnya dihitung didapat dimasukan kedalam persamaan tersebut diperoleh nilai arus hubung singkat 1 phase-tanah sebagai berikut :

Tabel 26. Arus Hubung Singkat 1 Phase-Tanah Penyulang WBN 1

Titik (%)	Jarak (Km)	Perhitungan	Arus Hubung Singkat 1 Phase-Tanah
0	0	$\frac{34641.01}{2 \times (j 0.8949) + 1.2 + j 2.5}$	10825.03
25	2,2	$\frac{34641.01}{2 \times (0.29 + j 1,58) + 1.82 + j 6.0}$	4259.89
50	4,4	$\frac{34641.01}{2 \times (0.59 + j 2,28) + 2.44 + j 9.5}$	2631.42
75	6,6	$\frac{34641.01}{2 \times (0,88 + j 2,97) + 3.06 + j 13.0}$	1901.84
100	8,8	$\frac{34641.01}{2 \times (1,18 + j 3,67) + 3.68 + j 16}$	1488.62

Tabel 27. Arus Hubung Singkat 1 Phase-Tanah Penyulang WBN 4

Titik (%)	Jarak (Km)	Perhitungan	Arus Hubung Singkat 1 Phase-Tanah
0	0	$\frac{34641.01}{2 \times (j 0.8949) + 1.2 + j 2.5}$	10825.03
25	1.35	$\frac{34641.01}{2 \times (0.18 + j 1,32) + 1.58 + j 4.6}$	5586.33
50	2.7	$\frac{34641.01}{2 \times (0.36 + j 1,74) + 1.96 + j 6.8}$	3735.84
75	4.05	$\frac{34641.01}{2 \times (0,54 + j 2,17) + 2.34 + j 8.9}$	2802.2
100	5.4	$\frac{34641.01}{2 \times (0,72 + j 2,60) + 2.72 + j 11}$	2240.87

#### 4. Perbandingan Arus Hubung Singkat WBN 1 dan WBN 4

Dengan membandingkan arus gangguan hubung singkat antara 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa ke tanah antara penyulang WBN 1 dan WBN 4, kita mampu menyimpulkan karakteristik gangguan yang terjadi pada tiap titik lokasi gangguan tertentu yang sudah kita asumsikan jaraknya seperti yang sudah dibahas sebelumnya. Berikut ini adalah perbandingan nilai arus gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa ke tanah pada tiap titik lokasi gangguan :

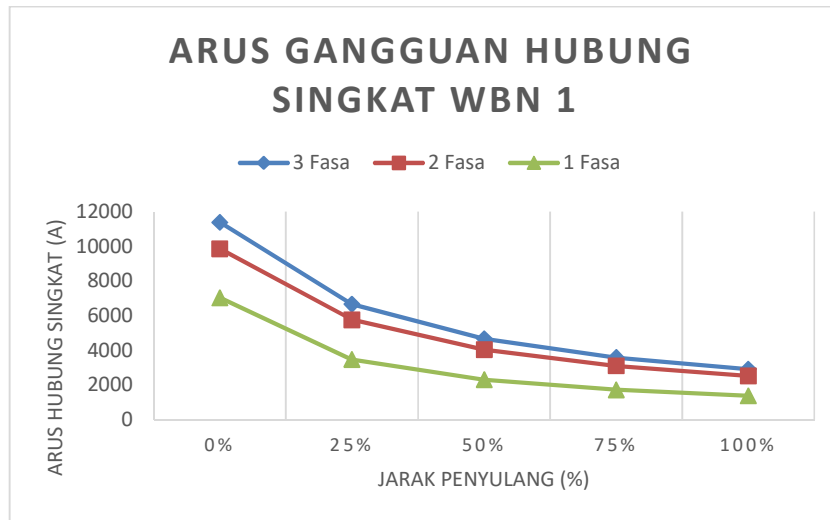
Tabel 28. Perbandingan Arus Hubung Singkat Penyulang WBN 1

Titik (%)	Jarak (Km)	Arus Hubung Singkat		
		3 Phase	2 Phase	1 Phase – Tanah
0	0	12903.12	11174.43	10825.03
25	2,2	7141.14	6184.42	4259.89
50	4,4	4893.4	4237.81	2631.42
75	6,6	3714.72	3217.05	1901.84
100	8,8	2991.78	2590.96	1488.62

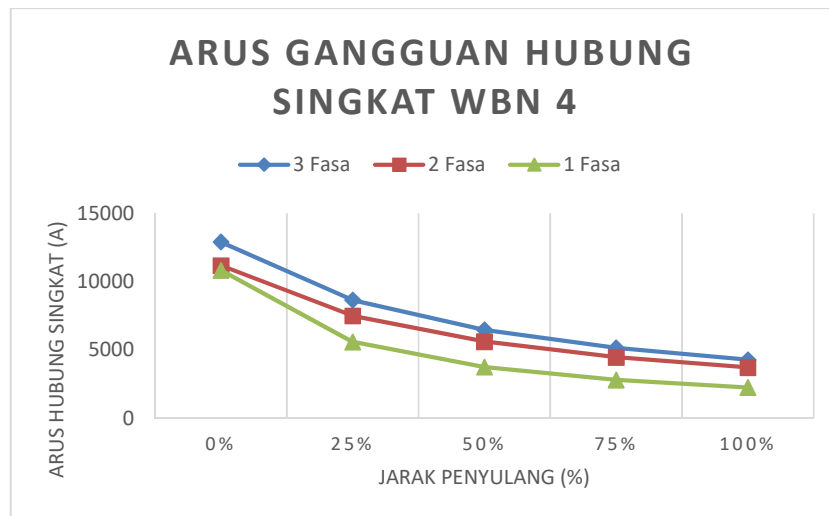
Tabel 29. Perbandingan Arus Hubung Singkat Penyulang WBN 4

Titik (%)	Jarak (Km)	Arus Hubung Singkat		
		3 Phase	2 Phase	1 Phase – Tanah
0	0	12903.12	11174.43	10825.03
25	1.35	8658.55	7498.53	5586.33
50	2.7	6469.34	5602.61	3735.84
75	4.05	5152.6	4462.28	2802.2
100	5.4	4277.3	3704.26	2240.87

Dari data kedua tabel diatas bisa disimpulkan bahwa besar kecilnya arus gangguan berbanding terbalik dengan titik lokasi gangguan, semakin jauh titik lokasi terjadinya gangguan maka semakin kecil nilai arus gangguan dan jika titik lokasi gangguan semakin dekat maka arus gangguan semakin besar, seperti yang ditunjukkan pada gambar grafik dibawah ini :



Gambar 18. Grafik Arus Hubung Singkat WBN 1



Gambar 19. Grafik Arus Hubung Singkat WBN 4

Pada gambar grafik arus hubung singkat penyulang WBN 1 dan WBN 4 bisa dilihat bahwa semakin jauh lokasi titik gangguan maka arus hubung singkat semakin kecil sedangkan sebaliknya jika titik lokasi gangguan semakin dekat maka arus hubung singkat akan semakin besar.

## 6. Mencari Nilai Setting OCR dan GFR

### 1. Nilai Setting OCR di sisi Penyulang

Untuk mencari settingan arus padaa *relay* arus lebih pada penyulang dibutuhkan data-data berupa arus beban yang terdapat pada penyulang tersebut serta perbandingan CT yang terdapat pada penyulang. Hasil pengambilan data di GI 150 kV Wirobrajan didapatkan arus beban ( $I_{load}$ ) sebesar 480 A sedangkan untuk perbanding CT sebesar 400/1. Untuk mencari nilai settingan arus di *relay* arus lebih bisa dicari menggunakan langkah seperti dibawah ini :

- 1) Mencari arus primer pada penyulang untuk *relay* arus lebih

$$I_{SET\ primer} = 1,1 \times I_{load}$$

$$I_{SET\ primer} = 1,1 \times 480$$

$$I_{SET\ primer} = 528\ A$$

- 2) Mencari arus sekunder pada penyulang untuk *relay* arus lebih

$$I_{SET\ sekunder} = I_{SET\ primer} \times \frac{1}{CT}$$

$$I_{SET\ sekunder} = 528 \times \frac{1}{400}$$

$$I_{SET\ sekunder} = 1,32$$

$I_{SET}$  sekunder merupakan nilai arus yang dimasukan dalam settingan *relay* arus lebih,  $I_{SET}$  sekunder juga disebut  $I_{PICK-UP}$ .

Sedangkan untuk mencari nilai settingan waktu pada *relay* arus lebih atau yang lebih sering disebut dengan nilai *tms* (*time multilexer setting*) data yang dibutuhkan adalah kurva karakteristik yang digunakan pada *relay* tersebut serta nilai arus gangguan hubung singkat 3/2 phase yang paling besar. Hasil pengambilan data di GI 150 kV Wirobrajan didapatkan karakteristik kurva yang digunakan adalah *standard inverse* dengan waktu kerja *relay* 3 detik, sedangkan untuk arus gangguan hubung singkat maksimum pada 3/2 phasa sebesar 12903 A. Untuk mencari nilai settingan waktu di *relay* arus lebih bisa dicari menggunakan persamaan rumus seperti dibawah ini :

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

$$tms = \frac{0,3 \times \left( \left( \frac{12903}{528} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

$$tms = \frac{0,3 \times \left( \left( \frac{12903}{528} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

$$tms = 0,141$$

Jadi untuk setting *relay* arus lebih berdasarkan hasil perhitungan didapatkan data sebagai berikut

I<sub>SET</sub> primer : 528 A

I<sub>SET</sub> sekunder : 1.32

Tms : 0,141



## 2. Nilai Setting GFR di sisi Penyulang

Untuk mencari nilai setting *relay* GFR penyulang arus gangguan hubung singkat 1 phase-tanah harus dibuat lebih kecil dari lokasi gangguan paling jauh, hal ini bertujuan agar *relay* GFR lebih peka dalam merasakan gangguan. Maka perhitungannya adalah 8% x arus gangguan 1 phase-tanah paling jauh yaitu pada titik 100% panjang penyulang. Untuk mencari nilai settingan arus di *relay* GFR bisa dicari menggunakan langkah seperti dibawah ini :

- 1) Mencari arus primer pada penyulang untuk *relay* GFR

$$I_{SET\ primer} = 8\% \times I_{sc} 1 \emptyset - N_{(100\%)}$$

$$I_{SET\ primer} = 8\% \times 1401.9$$

$$I_{SET\ primer} = 112.152$$

- 2) Mencari arus sekunder pada penyulang untuk *relay* GFR

$$I_{SET\ sekunder} = I_{SET\ primer} \times \frac{1}{CT}$$

$$I_{SET\ sekunder} = 112.152 \times \frac{1}{400}$$

$$I_{SET\ sekunder} = 0,28$$

$I_{SET}$  sekunder merupakan nilai arus yang dimasukan dalam settingan *relay* GFR,  $I_{SET}$  sekunder juga disebut  $I_{PICK-UP}$ .

Sedangkan untuk mencari nilai settingan waktu pada *relay* GFR atau yang lebih sering disebut dengan nilai *tms* (*time multilexer setting*) data yang dibutuhkan adalah kurva karakteristik yang digunakan pada *relay* tersebut serta nilai arus gangguan hubung singkat 1 phase-tanah yang paling kecil. Hasil pengambilan data di GI 150 kV Wirobrajan didapatkan karakteristik kurva yang digunakan adalah *standard inverse* dengan waktu kerja *relay* 3 detik, sedangkan untuk arus gangguan hubung singkat manimum pada 1 phasa-tanah sebesar 1401.9 A. Untuk mencari nilai settingan waktu di *relay* GFR bisa dicari menggunakan persamaan rumus seperti dibawah ini :

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

$$tms = \frac{0,7 \times \left( \left( \frac{1401,0}{112,152} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

$$tms = 0,179$$

Jadi untuk setting *relay* GFR berdasarkan hasil perhitungan didapatkan data sebagai berikut

I<sub>SET</sub> primer : 112.152 A

I<sub>SET</sub> sekunder : 0.28

Tms : 0,18

### 3. Nilai Setting OCR di sisi *Incoming*

Untuk mencari settingan arus padaa *relay* arus lebih pada sisi *incoming* dibutuhkan data-data pendukung untuk perhitungan. Hasil pengambilan data di GI 150 kV Wirobrajan yaitu :

Kapastitas transformator : 60 MVA

Tegangan Transformator : 150/20 kV

Impedansi : 12,50%

CT/Rasio : 2000/1 A

Untuk mencari nilai settingan arus di *relay* OCR bisa dicari menggunakan langkah seperti dibawah ini :

- 1) Mencari arus nominal ( $I_n$ ) transformator *incoming* OCR

$$\begin{aligned} I_{\text{nominal}} (20 \text{ kV}) &= \frac{kVA}{kV \times \sqrt{3}} \\ &= \frac{60000}{20 \times \sqrt{3}} \\ &= 1732,05 \text{ A} \end{aligned}$$

- 2) Mencari arus primer pada sisi *incoming* untuk *relay* OCR

$$I_{\text{SET primer}} = 1,05 \times I_n$$

$$I_{\text{SET primer}} = 1,05 \times 1732,05$$

$$I_{\text{SET primer}} = 1818,652 \text{ A}$$

- 3) Mencari arus sekunder pada penyulang untuk *relay* OCR sisi *incoming*

$$I_{\text{SET sekunder}} = I_{\text{SET primer}} \times \frac{1}{CT}$$

$$I_{SET \text{ sekunder}} = 1818,652 \times \frac{1}{2000}$$

$$I_{SET \text{ sekunder}} = 0,909$$

Setelah menemukan nilai setting arus untuk *relay* arus lebih sisi *incoming*, selanjutnya mencari nilai setting tms (*time multilexer setting*). Data yang diperlukan yaitu kurva yang digunakan dan arus gangguan hubung singkat 3/2 phase paling besar, data yang diperoleh saat observasi yaitu untuk kurva yang digunakan adalah *standard inverse* dengan waktu kerja relay 4 detik, sedangkan arus gangguan maksimal sebesar 12903 A. Untuk mencari nilai settingan waktu di *relay* OCR bisa dicari menggunakan persamaan rumus seperti dibawah ini :

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

$$tms = \frac{0,7 \times \left( \left( \frac{12903}{1818,65} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

$$tms = 0,199$$

Jadi untuk setting *relay* OCR disisi *incoming* berdasarkan hasil perhitungan didapatkan data sebagai berikut

$I_{SET \text{ primer}}$  : 1818,56 A

$I_{SET \text{ sekunder}}$  : 0.909

$Tms$  : 0,199

#### 4. Nilai Setting GFR di sisi *Incoming*

Untuk mencari nilai setting *relay* GFR sisi *incoming* arus gangguan hubung singkat 1 phase-tanah harus dibuat lebih kecil dari lokasi gangguan paling jauh dan lebih kecil dari sisi penyulang, hal ini bertujuan agar *relay* GFR lebih peka dalam merasakan gangguan. Maka perhitungannya adalah 10% x arus gangguan 1 phase-tanah paling jauh yaitu pada titik 100% panjang penyulang. Untuk mencari nilai settingan arus di *relay* GFR bisa dicari menggunakan langkah seperti dibawah ini :

- 1) Mencari arus primer untuk *relay* GFR sisi *incoming*

$$I_{SET\ primer} = 10\% \times I_{sc\ 1\ \emptyset} - N_{(100\%)}$$

$$I_{SET\ primer} = 10\% \times 1401.9$$

$$I_{SET\ primer} = 144.19$$

- 2) Mencari arus sekunder untuk *relay* GFR sisi *incoming*

$$I_{SET\ sekunder} = I_{SET\ primer} \times \frac{1}{CT}$$

$$I_{SET\ sekunder} = 144.19 \times \frac{1}{2000}$$

$$I_{SET\ sekunder} = 0,072$$

Hasil pengambilan data di GI 150 kV Wirobrajan didapatkan karakteristik kurva yang digunakan adalah *standard inverse* dengan

waktu kerja *relay* 3 detik, sedangkan untuk arus gangguan hubung singkat minimum pada 1 phasa-tanah sebesar 1401.9 A. Untuk mencari nilai settingan waktu di *relay* GFR bisa dicari menggunakan persamaan rumus seperti dibawah ini :

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

$$tms = \frac{0,7 \times \left( \left( \frac{1401,0}{140,19} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

$$tms = 0,23$$

Jadi untuk setting *relay* GFR sisi *incoming* berdasarkan hasil perhitungan didapatkan data sebagai berikut

I<sub>SET</sub> primer : 140.19 A

I<sub>SET</sub> sekunder : 0.36

Tms : 0,23

## 5. Data Setting OCR dan GFR Hasil Perhitungan

### 1) Sisi *Incoming*

Tabel 31. Data setting OCR dan GFR hasil perhitungan *incoming*

<i>Relay Incoming</i>	Setting Hasil Perhitungan	
OCR	Tms	0.199
	I primer	1818.65 A
	I sekunder	0.909
	T	0,7
GFR	Tms	0.23
	I primer	144.19 A
	I sekunder	0.072
	T	0,7

### 2) Sisi Penyulang

Tabel 32. Data setting OCR dan GFR hasil perhitungan penyulang

<i>Relay Penyulang</i>	Setting Hasil Perhitungan	
OCR	Tms	0.199
	I primer	528 A
	I sekunder	1.32
	T	0,3
GFR	Tms	0.23
	I primer	140.19 A
	I sekunder	0.35
	T	0,3

## E. Simulasi Menggunakan Software ETAP 12.0.6

Simulasi ini dilakukan untuk mengetahui arus hubung singkat 3,2 phase dan 1 phase-tanah, koordinasi proteksi pada penyulang dan mengetahui potensi terjadinya *sympathetic trip* menggunakan software ETAP. Untuk simulasi arus hubung singkat dan gangguannya menggunakan fitur *short circuit analysis* dan *star protective device coordination* dengan cara memberi gangguan (*fault insertion*) pada bus atau jaringan yang ingin diketahui kinerja dari *relay* nya serta melihat kurva trip untuk mengetahui *sympathetic trip*.

### 1. Simulasi Arus Hubung Singkat

Untuk simulasi ini menggunakan fitur pada software ETAP yang bernama *fault insertion*, simulasi ini dilakukan pada titik-titik lokasi yang sudah ditentukan pada pembahasan sebelumnya, hasil perhitungan dibandingkan dengan hasil simulasi untuk membuktikan bahwa hasil perhitungan sudah benar. Berikut merupakan nilai hasil simulasi arus hubung singkat menggunakan software ETAP :

Tabel 33. 3 phase hasil perhitungan dengan simulasi pada WBN 1

Titik (%)	Jarak (km)	Perhitungan (A)	Simulasi (A)	Selisih
0	0	12903.12	12903	0.0 %
25	2.2	7141.14	7134	0.1 %
50	4.4	4893.4	4896	0.1 %
75	6.6	3714.72	3721	0.2 %
100	8.8	2991.78	2999	0.2 %



Tabel 34. 3 phase hasil perhitungan dengan simulasi pada WBN 4

<b>Titik (%)</b>	<b>Jarak (km)</b>	<b>Perhitungan (A)</b>	<b>Simulasi (A)</b>	<b>Selisih</b>
0	0	12903.12	12903	0.0 %
25	1.35	8658.55	8646	0.1 %
50	2.7	6469.34	6465	0.1 %
75	4.05	5152.6	5154	0.0 %
100	5.4	4277.3	4282	0.1 %

Tabel 35. 2 phase hasil perhitungan dengan simulasi pada WBN 1

<b>Titik (%)</b>	<b>Jarak (km)</b>	<b>Perhitungan (A)</b>	<b>Simulasi (A)</b>	<b>Selisih</b>
0	0	11174.43	11175	0.0 %
25	2.2	6184.42	6178	0.1 %
50	4.4	4237.81	4240	0.1 %
75	6.6	3217.05	3222	0.2 %
100	8.8	2590.96	2597	0.2 %

Tabel 36. 2 phase hasil perhitungan dengan simulasi pada WBN 4

<b>Titik (%)</b>	<b>Jarak (km)</b>	<b>Perhitungan (A)</b>	<b>Simulasi (A)</b>	<b>Selisih</b>
0	0	11174.43	11175	0.0 %
25	1.35	7498.53	7487	0.2 %
50	2.7	5602.61	5599	0.1 %
75	4.05	4462.28	4463	0.0 %
100	5.4	3704.26	3708	0.1 %

Tabel 36. 1 phase-tanah hasil perhitungan dengan simulasi WBN 1

<b>Titik (%)</b>	<b>Jarak (km)</b>	<b>Perhitungan (A)</b>	<b>Simulasi (A)</b>	<b>Selisih</b>
0	0	10825.03	13206	18.03 %
25	2,2	4259.89	4535	6.07 %
50	4,4	2631.42	2732	3.68 %
75	6,6	1901.84	1954	2.67 %
100	8,8	1488.62	1521	2.13 %

Tabel 37. 1 phase-tanah hasil perhitungan dengan simulasi WBN 4

Titik (%)	Jarak (km)	Perhitungan (A)	Simulasi (A)	Selisih
0	0	10825.03	13206	18.03 %
25	1.35	5586.33	6085	8.20 %
50	2.7	3735.84	3944	5.28 %
75	4.05	2802.2	2916	3.90 %
100	5.4	2240.87	2213	1.26 %

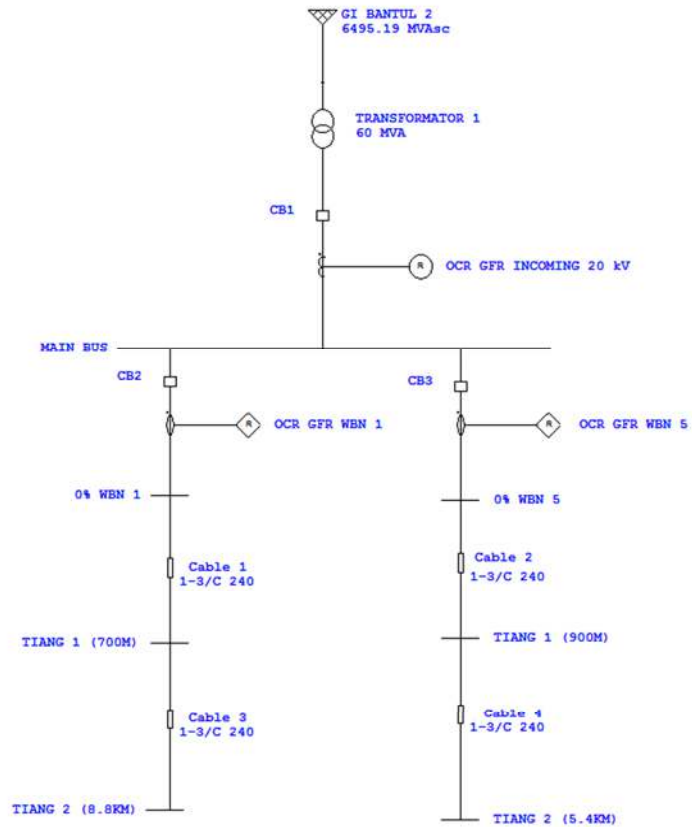
Berdasarkan hasil simulasi menggunakan ETAP, nilai arus hubung singkat pada penyulang WBN 1 dan WBN 4 tidak beda jauh dengan nilai arus hubung singkat hasil perhitungan.

Pada penyulang WBN 1 hasil analisis dengan simulasi memiliki selisih 0,1%-0,2% pada gangguan 3 phase dan 2 phase, sedangkan pada gangguan 1 phase-tanah memiliki selisih 2,13%-18,3%.

Pada penyulang WBN 4 hasil analisis dengan simulasi memiliki selisih 0,1%-0,2% pada gangguan 3 phase dan 2 phase, sedangkan pada gangguan 1 phase-tanah memiliki selisih 1,26%-18,3%.

## 2. Simulasi Koordinasi Relay

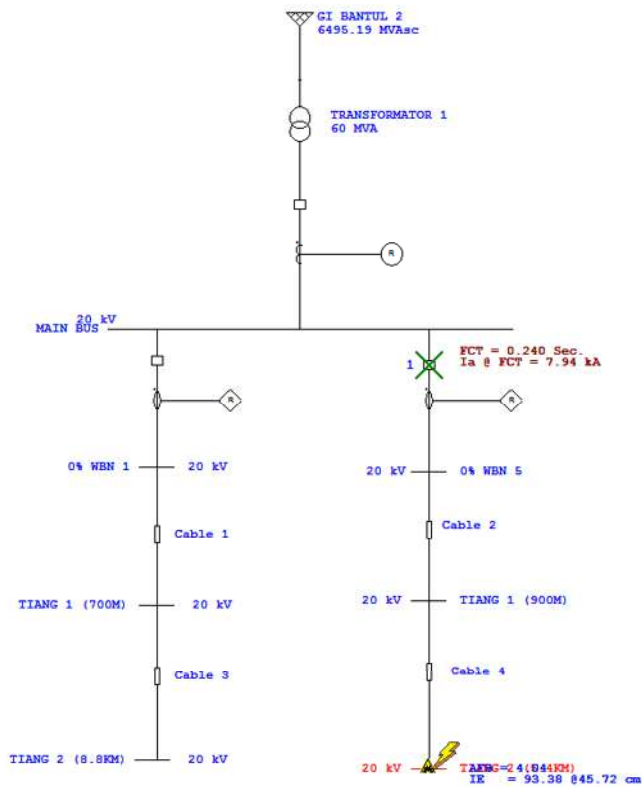
Simulasi gangguan yang digunakan untuk koordinasi proteksi pada penyulang dan mengetahui potensi terjadinya *sympathetic trip* menggunakan software ETAP. Untuk simulasi gangguannya menggunakan fitur *short circuit analysis* dan *star protective device coordination* dengan cara memberi gangguan (*fault insertion*) pada bus atau jaringan yang ingin diketahui kinerja dari *relay*nya serta melihat kurva untuk mengetahui potensi *sympathetic trip*.



Gambar 20. Sistem Jaringan GI 150 kV Wirobrajan Dengan ETAP

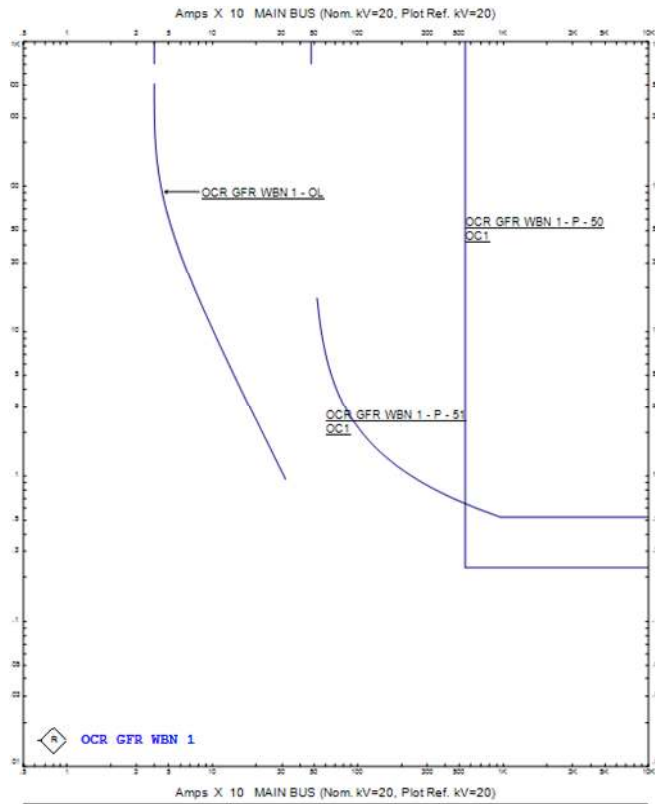
Untuk mengetahui potensi terjadinya *sympathetic trip* yang terjadi di GI 150 kV Wirobrajan terlebih dahulu harus mengetahui kurva pada setiap *relay* agar memastikan bahwa koordinasi *relay* pengaman pada sistem jaringan di GI 150 kV Wirobrajan berfungsi dengan baik. Berikut merupakan simulasi dan kurva pada penyulang WBN 1 dan WBN 4 sesuai dengan settingan *relay* yang ada dilapangan yang disimulasikan menggunakan software ETAP :

## 1. Simulasi Kerja *Relay* Pada Penyulang WBN 1



Gambar 21. Hasil Kerja Relay Penyulang WBN 1

Simulasi menggunakan fitur *short circuit analysis* di ETAP pada jarak 8.8 km menyebabkan CB pada penyulang WBN 1 aktif dan *trip* hal ini menunjukkan sistem kerja *relay* pada penyulang WBN 1 dalam kondisi baik dan tidak menyebabkan *sympathetic trip* ataupun *discrimination* pada jaringan GI 150 kV Wirobrajan.



Gambar 22. Kurva Trip Penyulang WBN 1

Bisa dilihat digambar kurva trip bahwa sistem kerja relay pada penyulang WBN 1 menggunakan IEC SI yaitu waktu tundanya mempunyai karakteristik tergantung pada besarnya arus gangguan. Jadi semakin besar arus gangguan maka waktu keja *relay* akan semakin cepat, arus gangguan berbanding terbalik dengan waktu kerja *relay*. Pada penyulang WBN 1 menggunakan setting OCR dan GFR sebagai berikut :

Phase Ground

Overcurrent

Curve Type IEC - Standard Inverse

Pickup Range 0.1 - 25 xCT Sec Multiples

Pickup 1.2 Step: 0.01

Relay Amps 1.2 480 Prim. Amps

Time Dial 0.23 Step: 0.025

Gambar 23. Setting OCR pada penyulang WBN 1

Phase Ground

Overcurrent

Curve Type IEC - Standard Inverse

Pickup Range 0.002 - 1 xCT Sec Multiples

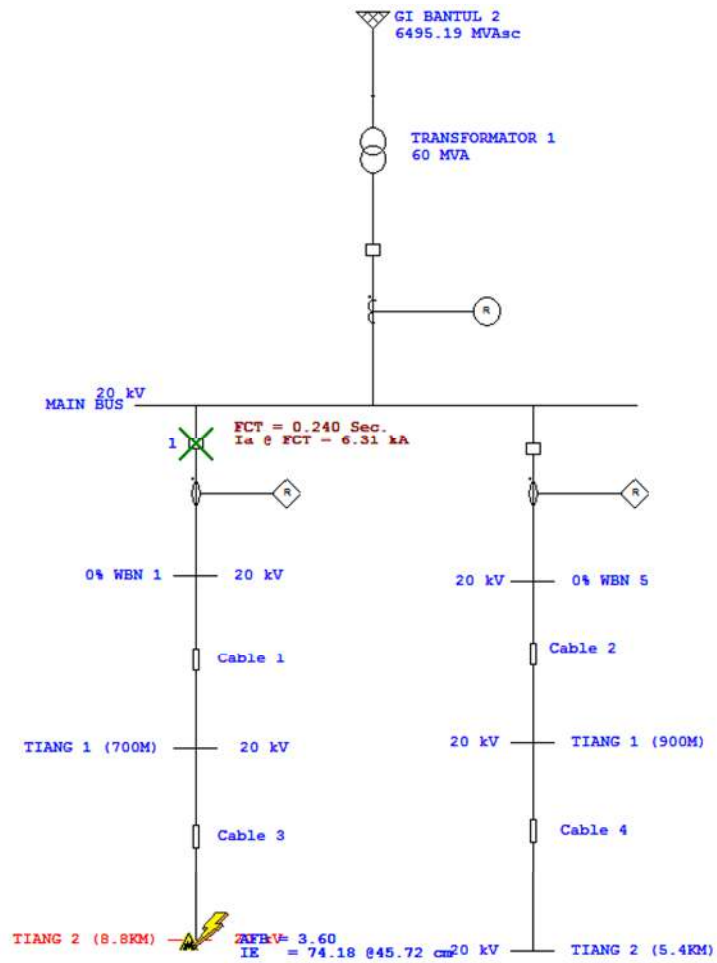
Pickup 0.6 Step: 0.001

Relay Amps 0.6 240 Prim. Amps

Time Dial 0.3 Step: 0.025

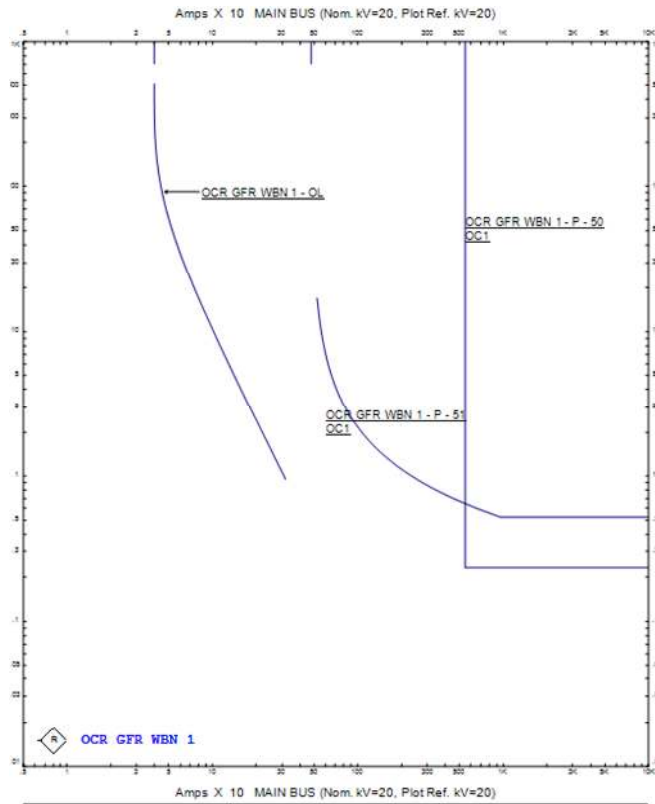
Gambar 24. Setting GFR pada penyulang WBN 1

## 2. Simulasi Kerja *Relay* Pada Penyulang WBN 4



Gambar 24. Hasil Kerja Relay Penyulang WBN 4

Simulasi menggunakan fitur *short circuit analysis* di ETAP pada jarak 8.8 km menyebabkan CB pada penyulang WBN 1 aktif dan *trip* hal ini menunjukkan sistem kerja *relay* pada penyulang WBN 1 dalam kondisi baik dan tidak menyebabkan *sympathetic trip* ataupun *discrimination* pada jaringan GI 150 kV Wirobrajan.



Gambar 26. Kurva Trip Penyulang WBN 1

Bisa dilihat digambar kurva trip bahwa sistem kerja relay pada penyulang WBN 1 menggunakan IEC SI yaitu waktu tundanya mempunyai karakteristik tergantung pada besarnya arus gangguan. Jadi semakin besar arus gangguan maka waktu kerja relay akan semakin cepat, arus gangguan berbanding terbalik dengan waktu kerja relay. Pada penyulang WBN 1 menggunakan setting OCR dan GFR sebagai berikut :



Phase Ground

Overcurrent

Curve Type IEC - Standard Inverse

Pickup Range 0.1 - 25 xCT Sec Multiples

Pickup 1.2 Step: 0.01

Relay Amps 1.2 480 Prim. Amps

Time Dial 0.23 Step: 0.025

Gambar 27. Setting OCR pada penyulang WBN 4

Phase Ground

Overcurrent

Curve Type IEC - Standard Inverse

Pickup Range 0.002 - 1 xCT Sec Multiples

Pickup 0.6 Step: 0.001

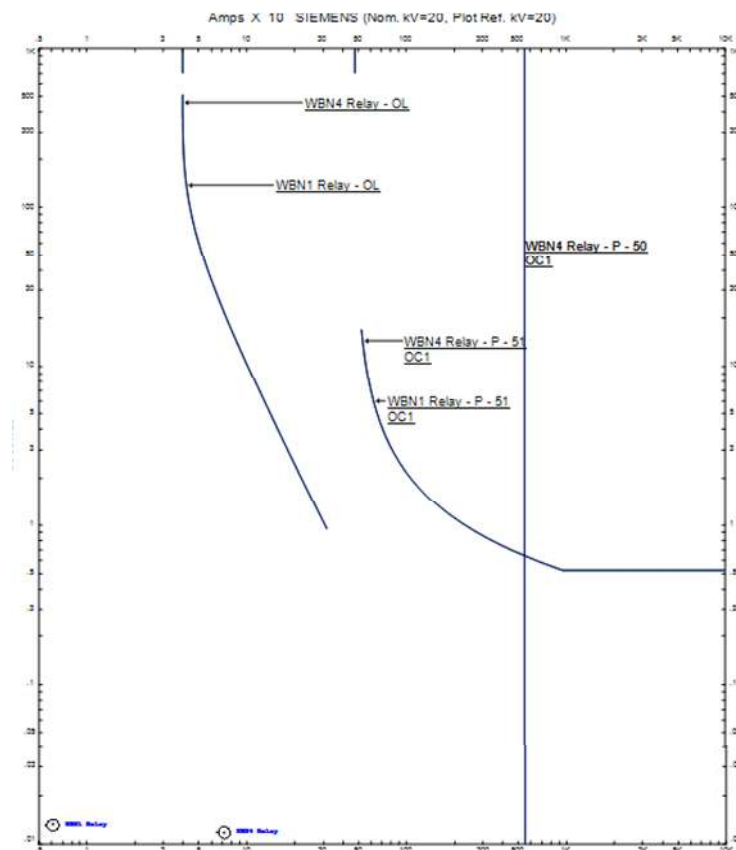
Relay Amps 0.6 240 Prim. Amps

Time Dial 0.3 Step: 0.025

Gambar 28. Setting GFR pada penyulang WBN 4

### 3. Simulasi *Sympathetic Trip*

Untuk mengetahui kondisi penyulang tidak terjadi gangguan *sympathetic trip*, maka pada simulasi ETAP perlu dilihat kurva trip di *relay* penyulang WBN 1 dan WBN 4. Berikut merupakan kurva trip pada penyulang WBN 1 dan WBN 4 menggunakan setting *relay* yang diterapkan di GI 150 kV Wirobrajan :



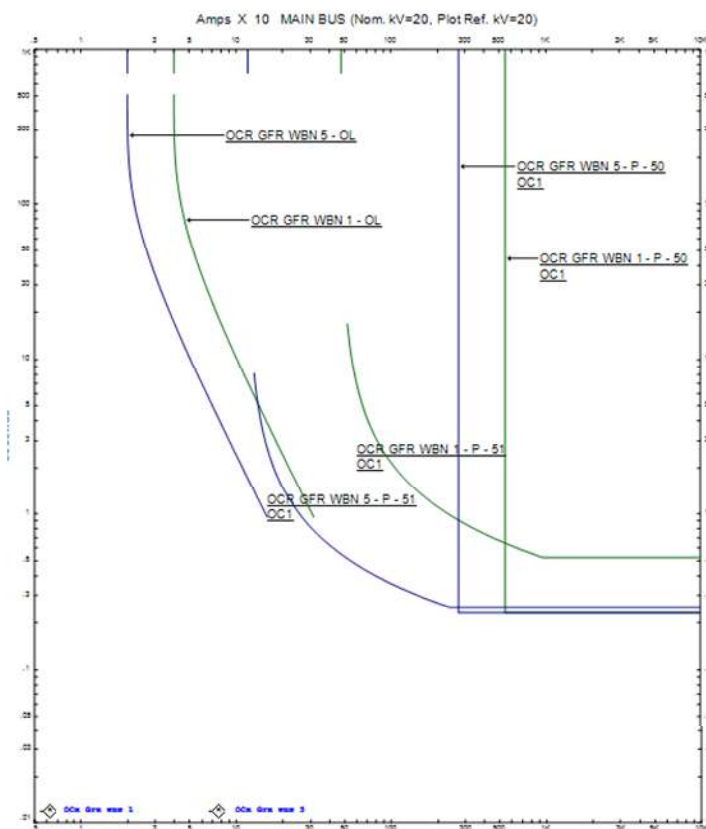
Gambar 29. Kurva Trip WBN1 dan WBN 4

Berdasarkan gambar diatas bisa disimpulkan bahwa pada penyulang WBN 1 dan WBN 4 tidak berpotensi terjadinya *sympathetic trip* dikarenakan settingan pada *relay* semuanya sama dan

menggunakan kurva IEC *standard inverse*. Bisa dilihat juga pada gambar tidak terjadi singgungan antar kurva antar *relay* penyulang dan tidak terjadi diskriminasi.

**a) Contoh Simulasi Potensi Terjadi *Sympathetic Trip***

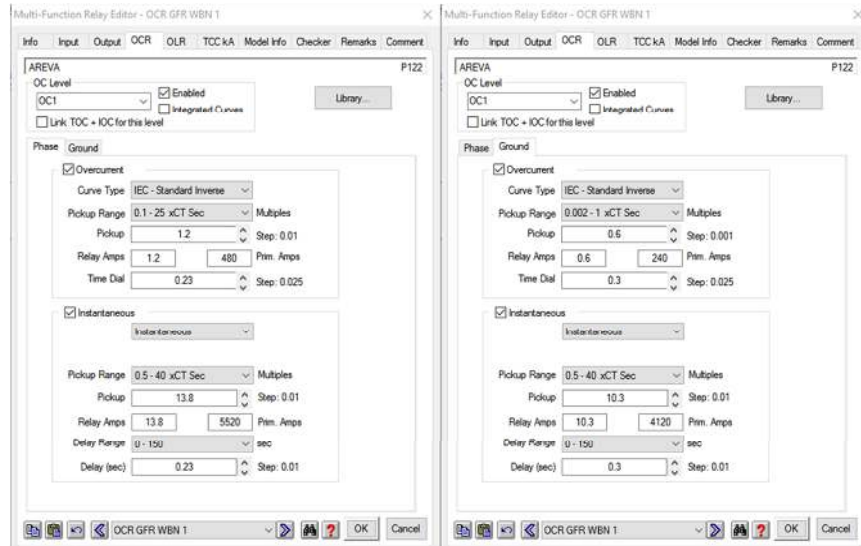
Berikut merupakan kurva trip hasil simulasi menggunakan ETAP jika berpotensi terjadinya gangguan *sympathetic trip*.



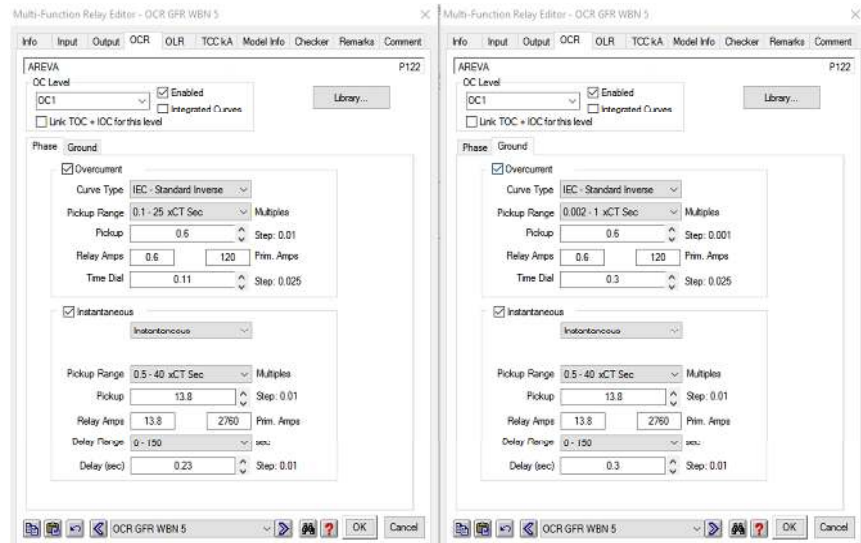
Gambar 30. Kurva Trip Kondisi *Sympathetic Trip*

Pada Gambar diatas bisa dilihat bahwa terjadi *sympathetic trip* dikarenakan setting kordinasi *relay* pada penyulang WBN 1 dan WBN 5 tidak benar hal ini menyebabkan *trip* pada kedua penyulang jika terjadi gangguan di salah satu penyulang, berikut

merupakan setting di kedua *relay* yang menyebabkan gangguan *sympathetic trip* :



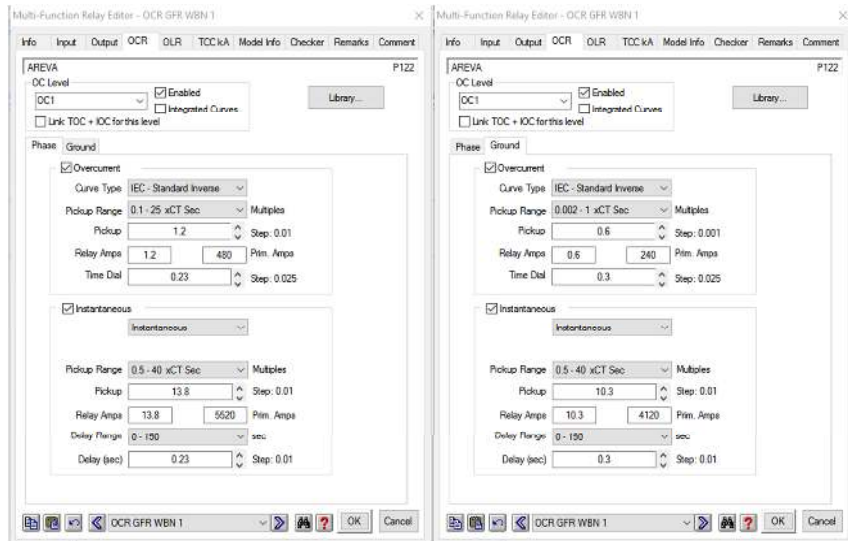
Gambar 31. Kesalahan setting OCR dan GFR WBN 4



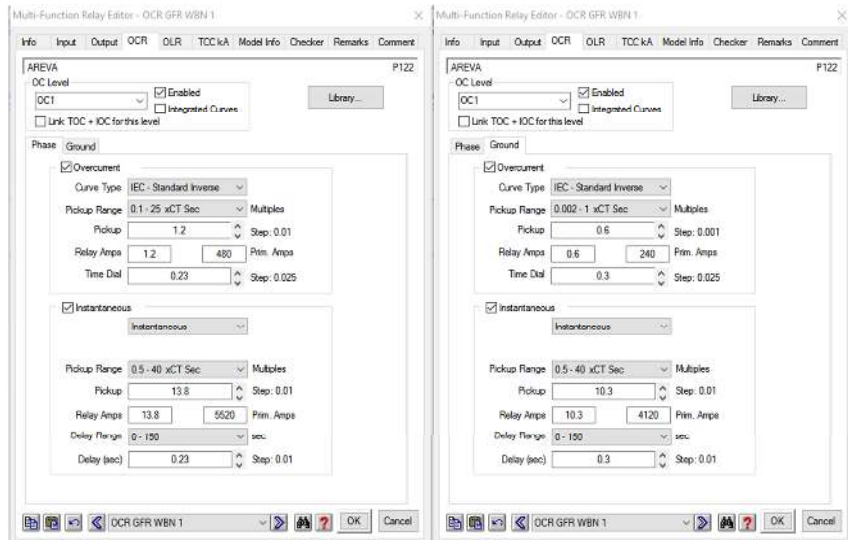
Gambar 32. Kesalahan setting OCR dan GFR WBN 4

Agar tidak terjadi gangguan *sympathetic trip* maka perlu adanya re-setting OCR dan GFR pada tiap penyulang agar kurva

trip tidak bersinggungan antara kurva WBN 1 dan WBN 4, berikut merupakan setting OCR dan GFR agar tidak terjadi *sympathetic trip* :



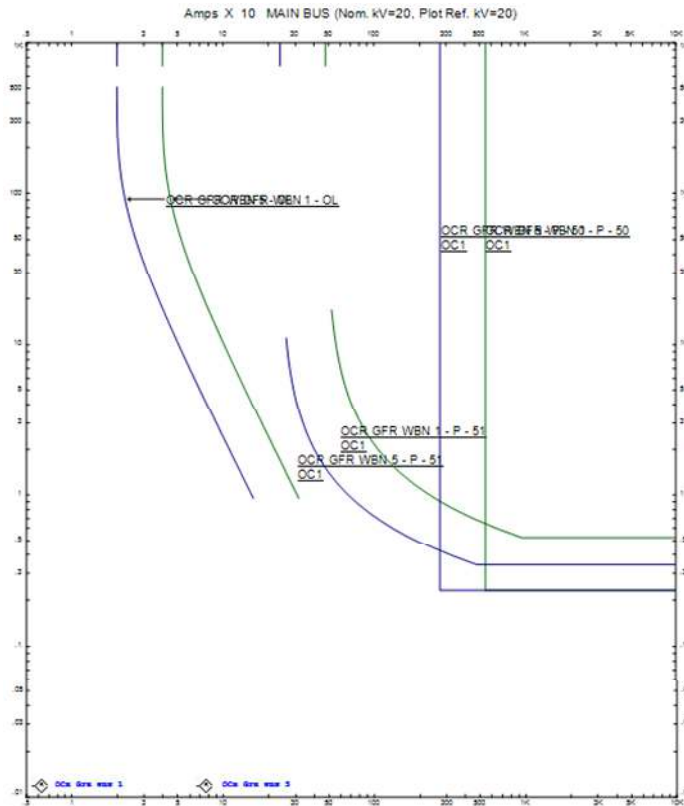
Gambar 33. Re-setting OCR dan GFR WBN 4



Gambar 34. Re-setting OCR dan GFR WBN 4

Setelah melakukan re-setting *relay* OCR dan GFR pada penyulang WBN 1 dan WBN 4 selanjutnya kita lihat kurva trip apakah sudah

tidak terjadi *sympathetic trip* pada sistem jaringan penyulang 20 kV pada GI 150 kV Wirobrajan :



Gambar 35. Kurva Trip WBN 1 dan WBN 4 setelah re-setting