

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Gardu Induk wates 150 KV

Gardu Induk Wates 150 kV yang berada di di Sringkel, Plumbon, Temon, Kulon Progo, D.I. Yogyakarta, dimana dilihat dari peralatanya, Gardu Induk Wates ini merupakan sebuah gardu Induk Pasangan Luar, Karena peralatan berada di luar ruangan atau terbuka. Gardu Induk Wates ini mempunyai besar tegangan 150/20 kV, dimana pembagiannya yaitu pada sisi primernya sebesar 150 kV sedangkan pada sisi sekunder sebesar 20 kV dimana pembagian besar tegangan ini akan disalurkan ke konsumen.

Pada Gardu Induk Wates 150 kV dilengkapi 2 transformator daya, dimana trafo I memiliki spesifikasi trafo dengan kapasitas 30 MVA dengan 4 buah penyulang sedangkan pada trafo II memiliki spesifikasi trafo dengan kapasitas 60 MVA dengan 6 buah penyulang.

Gardu Induk Wates 150 kV di trafo II dengan 6 penyulang dimana penyulang yang digunakan dalam pembahasan adalah penyulang WTS. 07 yang dioperasikan mempunyai sebuah koordinasi sistem proteksi terhadap relay yang digunakan, bermacam dan jenis relay yang terpasang tiap penyulang dan relay-relay yang terpasang di sebuah jaringan.

4.2 Transformator Daya

Pada Gardu Induk Wates 150 kV memiliki 2 Transformator dengan spesifikasi trafo dengan kapasitas yang berbeda, dimana trafo I dan II memiliki spesifikasi yang berbeda yang disesuaikan dengan kebutuhannya. dibawah ini merupakan spesifikasi trafo yang digunakan di Gardu induk wates 150kV antara lain:

1. Spesifikasi Transformator I-30 MVA

Merk : UNINDO

Type : TTUB

No Seri : A-0015262-02

Kapasitas : 30 MVA

Frekuensi : 50 Hz

Impedansi : 11,61%

Tegangan Primer : 150kV / 115,5 A

Tegangan Sekunder : 20kV / 866 A

Vector Grup : Yyn0

Transformator I yang dimiliki Gardu Induk Wates yang berkapasitas 30 MVA pada sisi primer yang bertegangan 150 kV dan pada sisi sekunder sebesar 20 kV ,memiliki arus nominal pada sisi primer yaitu 115,5 Ampere dan pada sisi sekunder 866 Ampere.

2. Spesifikasi Transformator II-60 MVA

Merk : CG PAUWELS

Type : ORF 60/275

No Seri : 33011140043

Nominal rating : 36/60 MVA

Frekuensi : 50 Hz

Short Circuit 150 kV : 31,5 kA

Short Circuit 20 kV : 16 kA

Impedansi :

Tap no. 1 : 12,8%

Tap no. 9 : 12,04%

Tap no. 17 : 11,601%

Tegangan Primer : 150 kV / 230,05 A

Tegangan Sekunder : 20 kV / 1732 A

Vector Grup : Ynyn0

Nilai Rn (Tahanan Pentanahan) : 0,3 Ohm

Transformator II yang ada di Gardu Induk Wates 150 kV adalah trafo dengan merk CG PAUWELS, dengan arus nominal sisi primer 230,5 A dan arus nominal pada sisi sekunder sebesar 1732 A. Kapasitas trafo II yang dimiliki sebesar 60 MVA dengan nilai impedansi sebesar 12,8% pada bagian tap no. 1, tap no. 9 sebesar 12,04% dan tap no. 17 sebesar 11,601%. Nilai arus hubung singkat pada sisi 150 kV adalah 31,5 kA sedangkan pada bagian sisi 20 kV adalah sebesar 16 kA. Data teknik transformator II di Gardu Induk Wates ini untuk perhitungan impedansi sumber, impedansi penyulang, arus hubung singkat dan penyetelan *setting* pada *relay* OCR.

4.3 Over Current Relay Pada Jaringan di Gardu Induk Wates 150 KV

Relay arus lebih atau *Over Current relay* adalah *relay* yang berfungsi sebagai pengaman peralatan dan juga memutus suatu jaringan ketika terjadi sebuah gangguan arus berlebih yang mana melebihi nilai yang *disetting* pada alat yang sudah ditetapkan sebelumnya.

Relay ini biasanya terhubung dengan CB (Circuit Breaker) maupun PMT (Sakelar Pemutus Tenaga), ketika terjadi sebuah gangguan kenaikan nilai arus yang melebihi nilai *setting* maka relay akan mengirimkan sinyal untuk CB agar CB bekerja untuk trip dan memutus arus abnormal yang telah terjadi.

Tabel 4. 1 Spesifikasi OCR (*Over Current relay*)

No	Proteksi	Merk	Type	Rasio CT
1	OCR dan GFR 20 kV	AREVA	MICOM P122	2000/1
2	OCR dan GFR Penyulang	SIEMENS	7SG11	800/5

Sistem Proteksi Trafo di Gardu Induk Wates 150 kV, terpasang beberapa pengaman relay OCR dengan merk dan type yang sama di, pada sisi 150kV relay yang dipasang adalah merk Areva dengan type Micom P122 dengan rasio CT 75 : 1, pada sisi incoming 20 kV memiliki rasio CT 800 : 1 dan pada sisi penyulang rasio CT yang dimiliki sebesar 400 : 5.

4.4 Data Setting Relay OCR di Gardu Induk Wates 150 KV

Setting relay dimana terdiri dari beberapa rasio trafo yang digunakan di masing-masing relay, pada *setting* nilai waktu dan nilai arus ($I>$) yang ditunjukkan pada tabel 4.2. Pada *setting relay* di sisi incoming atau sisi 20 kV adalah 1.04 Ampere dengan setting waktu sebesar 0.23 detik dan terakhir pada sisi penyulang *setting relay* arusnya 3 Ampere dengan waktu *setting* sebesar 0.627 detik.

Tabel 4. 2 Data Setting Relay di sisi *Incoming* Jaringan Gardu Induk Wates

Relay di Sisi Incoming 20 kV				
	Arus		Karakteristik	
Relay		CT	Inverse	
	(A)		I Set	Tms
OCR/ $I>$	2140	2000/1	1.04	0.23
GFR/ $I_{o>$	1200		0.35	0.43

Tabel 4. 3 Data Setting Relay di sisi Penyulang Jaringan Gardu Induk Wates

Relay di Sisi Penyulang				
	Arus		Karakteristik	
Relay		CT	Inverse	
	(A)		I Set	Tms
OCR/ I>	880	800/5	3	0.267
GFR/ Io>	430		1.5	0.35

4.5 Data Konduktor yang Digunakan pada Jaringan Penyulang Gardu Induk Wates 150 KV Trafo 2

Tabel 4. 4 Data Kabel Panjang Jenis Penghantar di Gardu Induk Wates, Penyulang Wates 1

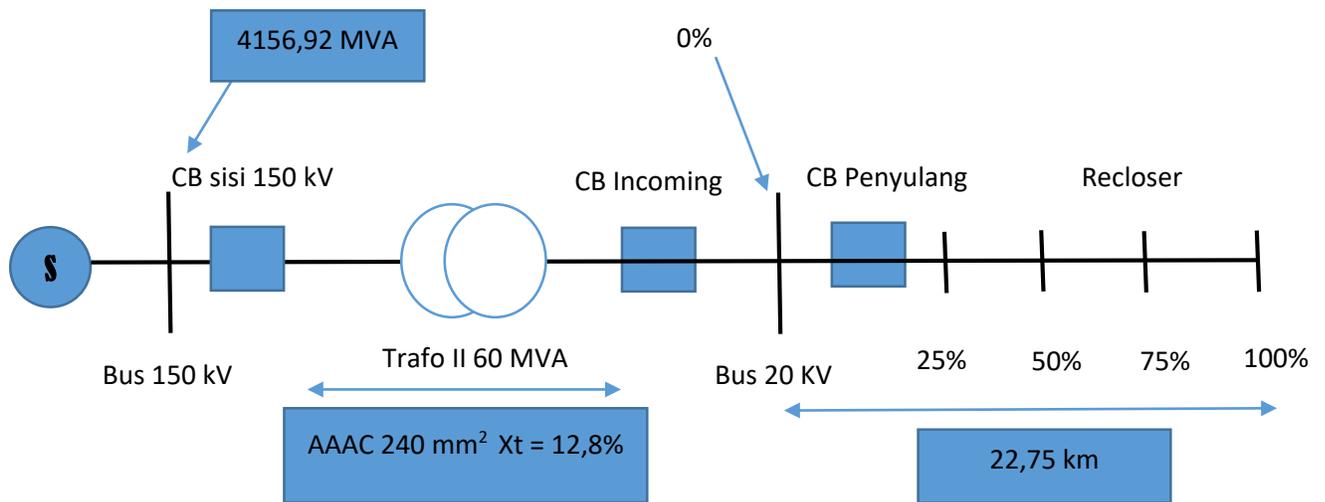
Jenis Konduktor	Diameter Konduktor	Panjang Jaringan
AAAC	240 mm ²	22,75 km

Pada penghantar di jaringan distribusi yang terletak pada bagian sisi penyulang WTS. 07 pada Trafo II di Gardu Induk Wates 150 kV adalah sebuah penghantar konduktor dengan jenis AAAC memiliki diameter sebesar 240 mm² dengan panjang yang sama yaitu 22,75 km.

Tabel 4. 5 Tabel Impedansi Jenis Penghantar di Gardu Induk Wates 150 kV

Jenis Konduktor	Diameter Konduktor	Urutan Positif/ Negatif	Urutan Nol
AAAC	240 mm ²	0,1344 + j 0,3158	0,2824 + j 1,6034

Data diatas adalah data penghantar yang digunakan sebagai perhitungan manual nanti, data yang diperlukan adalah data impedansi urutan positif/ negatif pada bagian konduktor 3 fasa dan nilai impedansi urutan nol antara fasa ke netral, data yang digunakan ini sebagai perhitungan untuk mengetahui kemungkinan terjadi sebuah arus gangguan ketika terjadi di jaringan pada jarak tertentu.



Gambar 4.3 Panjang dan jenis Saluran Jaringan di Gardu Induk Wates 150 kV

4.7 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Arus Lebih

Adapun beberapa gangguan hubung singkat Arus Lebih pada suatu jaringan dapat berupa :

1. Gangguan hubung singkat 3 fasa
2. Gangguan hubung singkat 2 fasa
3. Gangguan hubung singkat 1 fasa – ground

Pada perhitungan gangguan hubung singkat berdasarkan dari panjang penyulang, dimisalkan ketika terjadi gangguan hubung singkat terjadi pada bagian penyulang WTS.07 di area titik 25%, 50%, 75%, dan 100% dengan panjang penyulang 22,75 km.

4.7.1 Menghitung impedansi Sumber

Data hubung singkat di bagian Bus primer (150kV) Pada Gardu Induk Wates adalah sebesar 4156,92 MVA, dimana nilai ini didapat dari perhitungan di bawah ini:

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

Yaitu :

I_{sc} : Arus hubung singkat 20kV (kA)

V : Tegangan pad sisi primer (kV)

sehingga didapat perhitungan di bawah ini :

$$P_{sc} = \sqrt{3} \times 16 \text{ kA} \times 150 \text{ kV}$$

$$P_{sc} = 4156,92 \text{ MVA}$$

Dari perhitungan di atas didapat nilai impedansi sumber sebesar 8183,94 MVA, Selanjutnya dapat menghitung nilai Impedansi sumber (X_s) adalah :

$$X_s (\text{sisi } 150 \text{ kV}) = \frac{kV (\text{sisi primer trafo})^2}{MVA \text{ hubung singkat di sisi primer}}$$

$$X_s (\text{sisi } 150 \text{ kV}) = \frac{150^2}{4156,92}$$

$$X_s (\text{sisi } 150 \text{ kV}) = 5,41 \Omega$$

Sedangkan untuk mengetahui nilai impedansi sisi sekunder, di bagian bus 20 kV yaitu:

$$X_s (\text{sisi } 20 \text{ kV}) = \frac{kV (\text{sisi sekunder trafo})^2}{kV (\text{sisi primer trafo})^2} \times X_s (\text{Primer})$$

$$X_s (\text{sisi } 20 \text{ kV}) = \frac{(20 \text{ kV})^2}{(150 \text{ kV})^2} \times 5,41 \Omega$$

$$X_s (\text{sisi } 20 \text{ kV}) = 0,097 \Omega$$

4.7.2 Menghitung Reaktansi Pada Trafo 2

Untuk mendapatkan nilai reaktansi pada trafo II yaitu 60 MVA, di Gardu Induk Wates 150 kV nilai Impedansi trafo II yaitu sebesar 12,8 %, maka agar mendapatkan nilai reaktansi trafo urutan positif dan negatif serta nilai reaktansi urutan nol dalam satuan ohm, sehingga pertama melakukan perhitungan besar nilai ohm dalam skala 100% terlebih dahulu.

Besar nilai Ohm di 100 % yaitu :

$$X_t \text{ (pada nilai 100\%)} = \frac{(kV \text{ sisi Bus})^2}{MVA \text{ Trafo}}$$

$$X_t \text{ (pada nilai 100\%)} = \frac{20^2}{60 \text{ MVA}} = 6,66 \Omega$$

Selanjutnya nilai reaktansi trafo tenaga yaitu :

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

$$X_t = 12,8\% \times 6,66 = 0,852 \Omega$$

Nilai reaktansi urutan nilai nol (X_{t0})

Karena transformator daya di Gardu Induk Wates menggunakan hubungna YN yn0, sehingga nilai X_{t0} memiliki nilai kisaran 9 sampai dengan 14. X_{t1} . Maka dalam perhitungan menggunakan nilai X_{t0} lebih kurang 10. X_{t1} . Sehingga didapat nilai reaktansi urutan nol perhitungan dibawah ini :

$$X_{t0} = 10 \times 0,852 = 8,52 \Omega$$

4.7.3 Menghitung Impedansi Pada Penyulang

Dari penelitian di Gardu Induk Wates 150 kV di dapatkan data penghantar menggunakan kabel dengan jenis AAAC dimana terdapat dua kabel berbeda diameter tetapi sejenis. Diameter kabel AAAC yang di gunakan adalah 240mm^2 dan 120mm^2 yang sudah tercantum dalam tabel kabel (hal 4. 3 dan 4. 4). Panjang penghantar yang digunakan di Gardu Induk wates 150 kV ini adalah 22,75 km, dengan menggunakan jenis penghantar $240 \text{ mm}^2 = 22,75 \text{ km}$.

$$Z_1 = Z_2 \text{ (AAAC } 240 \text{ mm}^2 \text{)}$$

$$Z_1 \& Z_2 = (0,1344 + j 0,315) \Omega/\text{km} \times 22,75 \text{ km}$$

$$Z_1 \& Z_2 = 3,0576 + j 7,1662 \Omega$$

Selanjutnya untuk nilai Z_0 adalah sebagai berikut :

$$Z_0 \text{ (AAAC } 240 \text{ mm}^2 \text{)} = (0,2824 + j 1,6034) \Omega/\text{km} \times 22,75 \text{ km}$$

$$Z_0 = 6,4246 + j 36,4773 \ \Omega$$

Sehingga dari perhitungan yang dilakukan diatas maka nilai pada penyulang untuk lokasi gangguan dengan jarak 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% panjang 22,75 km pada penyulang WTS. 07 dapat dilihat perhitungan dibawah ini :

- Urutan Positif

Tabel 4. 6 Tabel Nilai Impedansi pada Penyulang Urutan Positif dan Negatif

Panjang Jaringan	Jarak (km)	Perhitungan	Impedansi penyulang Z1 dan Z2
0%	0	0%(3,0576+ j 7,1662)	0
25%	5,687	25%(3,0576+ j 7,1662)	0,7644 + j 1,7915 Ohm
50%	11,375	50%(3,0576+ j 7,1662)	1,5288 + j 3,5831 Ohm
75%	17,062	75%(3,0576+ j 7,1662)	2,2932 + j 5,37465 Ohm
100%	22,75	100%(3,0576+ j 7,1662)	3,0576+ j 7,1662 Ohm

- Urutan Nol

Tabel 4. 7 Tabel Nilai Impedansi pada Penyulang Urutan Nol

Panjang Jaringan	Jarak (km)	Perhitungan	Impedansi penyulang Z0
0%	0	0%(6,4246 + j 36,4773)	0
25%	5,687	25%(6,4246 + j 36,4773)	1,60615 + j 9,1193 Ohm
50%	11,375	50%(6,4246 + j 36,4773)	3,2123 + j 18,2386 Ohm
75%	17,062	75%(6,4246 + j 36,4773)	4,8194 + j 27,3579 Ohm
100%	22,75	100%(6,4246 + j 36,4773)	6,4246 + j 36,4773 Ohm

4.7.4 Menghitung Impedansi Ekuivalen Jaringan

Untuk mendapatkan nilai Impedansi jaringan maka dilakukan perhitungan Z_{1eq}
 $= Z_{2eq}$ dibawah ini :

$$\begin{aligned}
Z_{1eq} &= Z_{2eq} = Z_{is} \text{ (pada sisi 20 kV)} + Z_{iT} + Z_1 \text{ Penyulang} \\
&= j 0,097 + j 0,852 + Z_1 \text{ Penyulang} \\
&= j 0,949 + Z_1 \text{ Penyulang}
\end{aligned}$$

Karena diibaratkan area lokasi gangguan terjadi pada titik 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% di penyulang WTS. 07 dengan jarak 22,75 km, sehingga Z_{1eq} (Z_{2eq}) dari perhitungan didapatkan nilai dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4. 8 Tabel Nilai Impedansi Ekuivalen Z_{1eq} dan Z_{2eq}

Panjang Jaringan	Perhitungan	Impedansi penyulang Z_1 dan Z_2
0%	$0 + j 0,949$	$0 + j 0,949 \text{ Ohm}$
25%	$0,7644 + j 1,7915 + j 0,949$	$0,7644 + j 2,740 \text{ Ohm}$
50%	$1,5288 + j 3,5831 + j 0,949$	$1,5288 + j 4,5321 \text{ Ohm}$
75%	$2,2932 + j 5,37465 + j 0,949$	$2,2932 + j 6,3236 \text{ Ohm}$
100%	$3,0576 + j 7,1662 + j 0,949$	$3,0576 + j 8,1152 \text{ Ohm}$

Selanjutnya melakukan perhitungan mencari nilai Z_{0eq} dengan rumus di bawah ini :

$$\begin{aligned}
Z_{0eq} &= Z_{0t} + 3 R_n + Z_0 \text{ Penyulang} \\
&= j 8,52 + (3 \times 0,3) + Z_0 \text{ Penyulang} \\
&= 0,9 + j 8,52 + Z_0 \text{ Penyulang}
\end{aligned}$$

Karena diibaratkan area lokasi gangguan terjadi pada titik 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% di penyulang WTS. 07 dengan jarak 22,75 km, sehingga Z_{1eq} (Z_{2eq}) dari perhitungan didapatkan nilai dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4. 9 Tabel Nilai Impedansi Ekuivalen Z_0

Panjang Jaringan	Perhitungan	Impedansi penyulang Z_0
0%	$0 + 0,9 + j 8,52$	$0,9 + j 8,52 \text{ Ohm}$
25%	$1,60615 + j 9,1193 + 0,9 + j 8,52$	$2,506 + j 17,639 \text{ Ohm}$

50%	$3,2123 + j 18,2386 + 0,9 + j 8,52$	$4,1123 + j 26,7586 \text{ Ohm}$
75%	$4,8194 + j 27,3579 + 0,9 + j 8,52$	$5,7194 + j 35,8779 \text{ Ohm}$
100%	$6,4246 + j 36,4773 + 0,9 + j 8,52$	$7,3246 + j 44,9973 \text{ Ohm}$

4.7.5 Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat

Dari perhitungan yang dilakukan tadi dan mendapatkan nilai impedansi ekivalen berdasarkan titik lokasi gangguan yang terjadi, kemudian melakukan perhitungan untuk mencari nilai arus gangguan hubung singkat yang dapat terjadi dimana menggunakan rumus dasar yaitu ($I = V/Z$), namun kita perlu mengetahui nilai impedansi ekivalen mana yang akan dimasukkan dalam rumus untuk melakukan perhitungan. Perlu dilakukan analisis gangguan hubung singkatnya diantaranya :

- Dimana letak terjadi gangguan hubung singkatnya
- Jenis gangguan hubung singkat
- Diman terjadi gangguan arus lebih bisa 3 fasa atau 2 fasa

a. Gangguan Arus Hubung Singkat 3 Fasa

Dalam mencari nilai gangguan arus hubung singkat 3 fasa maka melakukan perhitung dengan rumus dibawah ini :

$$I = V / Z$$

Yaitu :

I : Nilai Arus Gangguan hubung Singkat 3 fasa

V : Nilai Tegangan Fasa-Netral Di Sistem 20 kV (V_{ph}) = $20\text{kV} / \sqrt{3}$

Z : Nilai Impedansi Urutan Positif (Z_{1eq})

Setelah didapat rumus diatas selanjutnya melakukan perhitungan nilai arus hubung singkat 3 fasa dibawah ini :

$$I (3 \text{ fasa}) = V_{ph} / Z_{1eq}$$

$$I(3 \text{ fasa}) = (20\text{kV} / \sqrt{3}) / Z_{1eq}$$

Tabel 4. 10 Tabel Nilai Arus Hubung Singkat 3 Fasa Pada Penyulang WTS. 07

Panjang Jaringan	Perhitungan	Arus gangguan 3 fasa
0	$11547 : \sqrt{0^2 + 0,949^2}$	12167,5 Ampere
25%	$11547 : \sqrt{0,7644^2 + 2,740^2}$	4059,2 Ampere
50%	$11547 : \sqrt{1,5288^2 + 4,5321^2}$	2414,3 Ampere
75%	$11547 : \sqrt{2,2932^2 + 6,3236^2}$	1716,7 Ampere
100%	$11547 : \sqrt{3,0576^2 + 8,1152^2}$	1331,5 Ampere

b. Gangguan Arus Hubung Singkat 2 Fasa

Selanjutnya melakukan perhitungan pada arus gangguan hubung singkat 2 fasa dimana perhitungan dilakukan dengan menggunakan rumus dasar dibawah ini :

$$I = V / Z$$

Yaitu :

I : Nilai Arus Gangguan hubung Singkat 2 fasa

V : Nilai Tegangan Fasa – Fasa di Sistem 20 kV (V_{ph}) = 20.000 V

Z : Nilai Jumlah Impedansi Urutan Positif (Z_{1eq}) dan Urutan Negatif (Z_{2eq})

Setelah didapat rumus diatas selanjutnya melakukan perhitungan nilai arus hubung singkat 2 fasa dibawah ini :

$$I(2 \text{ fasa}) = V_{ph} / Z_{1eq} + Z_{2eq}$$

$$I(2 \text{ fasa}) = 20 \text{ kV} / Z_{1eq} + Z_{2eq}$$

$$I(2 \text{ fasa}) = \frac{20000 \text{ V}}{Z_{1eq} + Z_{2eq}}$$

Dari rumus perhitungan diatas dapat dilihat hasil perhitungan dimana sesuai titik lokasi gangguan dari arus gangguan hubung singkat 2 fasa dibawah ini :

Tabel 4. 11 Tabel Nilai Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa pada Penyulang WTS. 07

Panjang Jaringan	Perhitungan	Arus gangguan 2 fasa
0	$20000 : 2 \sqrt{0^2 + 0,949^2}$	10537,4 Ampere
25%	$20000 : 2 \sqrt{0,7644^2 + 2,740^2}$	3515,3 Ampere
50%	$20000 : 2 \sqrt{1,5288^2 + 4,5321^2}$	2090,7 Ampere
75%	$20000 : 2 \sqrt{2,2932^2 + 6,3236^2}$	1486,7 Ampere
100%	$20000 : 2 \sqrt{3,0576^2 + 8,1152^2}$	1153,14 Ampere

c. Gangguan Arus Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Selanjutnya pada arus hubung singkat 1 fasa ke tanah (*Ground*) dengan melakukan perhitungan dengan rumus dasar, untuk mendapatkan nilai arus hubung singkat 1 fasa ke tanah menggunakan rumus di bawah ini :

$$I = V / Z$$

Yaitu :

I : Nilai Arus Urutan Nol atau (I_0)

V : Nilai Tegangan Fasa – Netral di Sistem 20 kV (V_{ph}) = $20 \text{ kV} / \sqrt{3}$

Z : Nilai Jumlah Impedansi Urutan Positif (Z_{1eq}) dan Urutan Negatif (Z_{2eq})

dan nilai impedansi urutan nol (Z_{0eq})

Setelah didapat rumus diatas selanjutnya melakukan perhitungan nilai arus hubung singkat 1 fasa ke tanah (*ground*) dengan rumus dibawah ini :

$$I (1 \text{ fasa}) = 3 \times V_{ph} / Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}$$

$$I (1 \text{ fasa}) = 3 \times (20.000 / \sqrt{3}) / Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}$$

$$I(1 \text{ fasa}) = 34641,01 / 2 \times Z_{1eq} + Z_{0eq}$$

Dari rumus perhitungan diatas dapat dilihat hasil perhitungan dimana sesuai titik lokasi gangguan dari arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah (*ground*) dibawah ini :

Tabel 4. 12 Tabel Nilai Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah (*Ground*)

Panjang Jaringan	Perhitungan	Arus gangguan 1 fasa ke tanah
0	$34641,016 : 2 \sqrt{0^2 + 0,949^2 + \sqrt{0,9^2 + 8,52^2}}$	3060,7 Ampere
25%	$34641,016 : 2 \sqrt{0,7644^2 + 2,740^2 + \sqrt{2,506^2 + 17,6393^2}}$	1275,7 Ampere
50%	$34641,016 : 2 \sqrt{1,5288^2 + 4,5321^2 + \sqrt{4,1123^2 + 26,7586^2}}$	805,75 Ampere
75%	$34641,016 : 2 \sqrt{2,2932^2 + 6,3236^2 + \sqrt{5,7194^2 + 35,8779^2}}$	588,8 Ampere
100%	$34641,016 : 2 \sqrt{3,0576^2 + 8,1152^2 + \sqrt{7,3246^2 + 44,9973^2}}$	463,9 Ampere

Dari semua perhitungan diatas pada bagian penyulang WTS. 07 dengan jarak 22,75 km didapat hasil yaitu perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa, arus gangguan hubung singkat 2 fasa dan arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah (Ground), selanjunya dapat digunakan sebagai penentu nilai *setting relay* arus lebih. Sehingga dapat dibuat perbandingan nilai besar arus gangguan sesuai dengan titik lokasi gangguan yang terjadi pada bagian penyulang WTS. 07 dalam skala persen (%) pada tabel dibawah ini :

Tabel 4. 13 Tabel Semua Nilai Gangguan Arus Hubung Singkat 3 fasa, 2 fasa, dan 1 fasa ke tanah

Panjang Jaringan %	Jarak (km)	Arus Gangguan 3 fasa	Arus Gangguan 2 fasa	Arus Gangguan 1 fasa ke tanah
0	0	12818,6 Ampere	11101,24 Ampere	3309,98 Ampere
25	5,687	4125,82 Ampere	3572,07 Ampere	1461,56 Ampere

50	11,375	2437,43 Ampere	2110,87 Ampere	932,60 Ampere
75	17,062	1728,26 Ampere	1496,72 Ampere	684,50 Ampere
100	22,75	1338,46 Ampere	1159,14 Ampere	540,61 Ampere

Dapat dilihat pada tabel diatas diketahui bahwa nilai arus gangguan hubung singkat dipengaruhi oleh jarak atau titik gangguan yang terjadi, dengan jarak pada penyulang WTS. 07 yaitu dengan jarak 22,75 km yaitu didapat hasil dari perhitungan diketahui jika semakin jauh jarak titik gangguan yang terjadi maka arus gangguan yang terjadi nilainya semakin kecil, dapat dilihat misalkan jarak 50% dengan jarak 100% maka nilai arus gangguan hubung singkat lebih kecil di jarak 100% begitu seterusnya maka semakin panjang jaraknya maka akan hilang nilai arus hubung singkatnya . Jika dilihat dari gangguan per fasanya maka bisa dilihat pada tabel diatas yaitu nilai arus ganggun hubung singkat pada 3 fasa memiliki nilai arus gangguan lebih besar dari nilai arus gangguan 2 fasa dan arus gangguan 1 fasa ke tanah (*ground*).

4.8 Penentuan Nilai Setting Relay Arus Lebih

Pada penyulang WTS. 07 di trafo II 60 MVA pada Gardu Induk Wates 150 kV dimana arus CT yang terpasang memiliki rasio 800 : 5 Ampere, dimana pada penyulang memiliki arus maksimum sebesar 6 Ampere dan *relay* gangguan arus lebih dengan karakteristik standar *inverse*.

4.8.1 Nilai Setting Relay OCR di sisi penyulang 20 kV

- Nilai *Setting relay* arus lebih

Pada *Setting relay* yang terdapat pada penyulang itu sesuai dengan arus beban di Gardu Induk Wates 150 kV, untuk nilai setting *relay inverse* pada penyulang 20 kV WTS. 07 adalah 1,05 sampai 1,1 x I_{maks} . Adapun syarat lainnya yang digunakan untuk

nilai *setting* waktu minimum dari relay arus lebih (disetting nilainya 0,3 detik), nilai tersebut dibuat agar ketika terjadi gangguan arus hubung singkat maka *relay* tidak sampai trip lagi karena disebabkan arus *inrush* dari trafo ke trafo distribusi dimana yang tersambung langsung di jaringan distribusi, disaat PMT pada penyulang tersebut dimasukkan.

Nilai Setting Arus

$I_{\text{beban}} : 480 \text{ Ampere}$

Raiso CT : $800 / 5 \text{ Ampere}$

$I_{\text{set}} (\text{Primer}) : 1,1 \times I_{\text{beban}}$

: $1,1 \times 480 \text{ Ampere}$

: 528 Ampere

Dari perhitungan di atas di dapat nilai *setting* pada sisi primer sebesar 528 Ampere, kemudian nilai yang akan dimasukkan pada setting relay merupakan nilai sekundernya, oleh sebab itu menggunakan perhitungan nilai rasio tarfo arus pada penyulang.

Untuk mendapatkan nilai arus pada sisi sekunder adalah dengan cara dibawah ini :

$I_{\text{set}} (\text{Sekunder}) : I_{\text{set}} (\text{Primer}) \times I / \text{ratio CT Ampere}$

: $528 \text{ Ampere} \times (5 / 800) \text{ Ampere}$

: $3,3 \text{ Ampere}$

- Nilai *Setting* TMS (*Time Multiplier Setting*)

Untuk menentukan nilai *setting* TMS *Relay* OCR pada sisi penyulang 20 kV transformator tenaga yaitu arus gangguan yang digunakan pada gangguan hubung singkat 3 fasa pada jarak 0% di panjang penyulang. Waktu kerja *relay* yang

ditetapkan adalah $t : 0,3$ detik, nilai setting ini diambil memiliki fungsi agar saat bekerja *relay* tidak sampai trip akibat adanya arus *inrush* antara trafo ke trafo distribusi dimana sudah saling tersambung pada jaringan distribusi, ketika PMT itu dimasukkan.

Dari data diatas dapat dilakukan perhitungan nilai TMS dibawah ini :

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

$$0,3 = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{I_{gangguan \ hubung \ singkat \ 3 \ fas}}{I_{set}}\right)^{0,22} - 1}$$

$$TMS = 0,3 : \frac{0,14}{\left(\frac{12818,6}{528}\right)^{0,02} - 1}$$

$$TMS = 0,1411 \text{ detik}$$

Tabel 4. 14 Tabel Nilai Setting Hasil dari perhitungan pada Sisi Penyulang

Relay Penyulang	Nilai Setting Hasil Hitung	
OCR	TMS	0,1411
	Rasio CT	800 / 5 Ampere
	t (s)	0,30 detik
	Iset Primer	528 Ampere
	Iset Sekunder	3,3 Ampere

4.8.2 Nilai Setting Relay OCR di sisi *incoming* 20kv

Selanjutnya pada bagian sisi *incoming* 20 kV trafo tenaga yaitu mencari nilai *setting relay* arus lebih dimana pada perhitungan menggunakan penentuan nilai *setting relay* pada bagian sisi penyulang, yaitu terlebih dahulu mengetahui nilai arus nominal trafo tenaga tersebut.

Data yang ada di gardu Induk Wates 150 kV sebagai berikut :

Kapasitas Transformator : 60 MVA

Tegangan : 150/20 kV

Impedansi : 11,61 %

CT/ Rasio : 2000/1 (Pada sisi *incoming* 20 kV)

Setting arus nominal trafo pada bagian sisi 20 kV adalah :

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

$$\begin{aligned} I_{\text{set}} (\text{primer}) &= 1,1 \times I_{\text{nominal}} \\ &= 1,1 \times 1732,05 \text{ Ampere} \\ &= 1905,2 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Nilai setting pada bagian sisi sekunder adalah :

$$\begin{aligned} I_{\text{set}} (\text{sekunder}) &= I_{\text{set}} (\text{primer}) \times \frac{1}{\text{Rasio CT}} \\ &= 1905,2 \times \frac{1}{2000/1} \\ &= 1905,2 \times \frac{1}{2000} = 0,952 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

- **Nilai Setting TMS (Time Multiplier Setting)**

Besarnya nilai arus gangguan yang akan digunakan untuk mencari besarnya nilai dari *setting* TMS *relay* OCR pada bagian sisi *incoming* 20 kV *transformator* tenaga adalah, pada gangguan arus hubung singkat 3 fasa di jarak 0% pada panjang penyulang. Sedangkan waktu kerja *relay incoming* diperoleh dari hasil perhitungan waktu kerja relay awal + 0,4 detik, sehingga nilai waktu kerja rele *incoming* yaitu :

$$t \text{ incoming} = 0,3 + 0,4 = 0,7 \text{ detik}$$

$$\begin{aligned} TMS &= \frac{t \times \left(\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} \\ &= \frac{(0,3+0,4) \times \left(\left(\frac{I_{\text{Gangguan hubung singkat 3 fasa}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} \\ &= \frac{0,7 \times \left(\left(\frac{12818,6}{1905,2} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} \\ &= 0,194 \text{ detik} \end{aligned}$$

Nilai t (s) bagian relay incoming adalah :

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

$$t = \frac{0,14 \times 0,194}{\left(\frac{12818,6}{1905,2} \right)^{0,02} - 1}$$

$$t = 0,69 \text{ detik}$$

Tabel 4. 15 Tabel Nilai Setting Hasil dari perhitungan pada Sisi *Incoming*

Relay Incoming	Nilai Setting Hasil Hitung	
OCR	TMS	0,194 detik
	Rasio CT	2000 / 1 Ampere
	t (s)	0,69 detik
	Iset Primer	1905,2 Ampere
	Iset Sekunder	0,952 Ampere

4.8.3 Pemeriksaan Waktu Kerja Relay

Pemeriksaan dilakukan untuk mengetahui nilai waktu kerja *relay*, dimana rele yang digunakan pada Gardu Induk wates 150 kV memiliki *standar invers* sehingga nilai besarnya arus dilakukan pemeriksaan pada setiap titik gangguan yaitu 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% sesuai dengan panjang jaringan penyulang 22,75 km dimana dapat dihitung dengan menggunakan rumus dibawah ini :

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

4.9 Waktu kerja Relay Pada gangguan 3 fasa

Tabel 4. 16 Tabel Pemeriksaan Waktu Kerja Rele antara sisi penyulang dan incoming

Pemeriksaan Waktu Kerja Rele pada Gangguan 3 Fasa		
Lokasi (%)	Sisi Penyulang 20 kV (s)	Sisi Incoming (s)
0	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1411}{\left(\frac{12818,6}{528}\right)^{0,02} - 1} = 0,29$	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,194}{\left(\frac{12818,6}{1905,2}\right)^{0,02} - 1} = 0,69$
25	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1411}{\left(\frac{4125,82}{528}\right)^{0,02} - 1} = 0,47$	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,194}{\left(\frac{7391,52}{1905,2}\right)^{0,02} - 1} = 0,98$

Tabel 4. 17 Tabel Pemeriksaan Waktu Kerja Rele antara sisi penyulang dan incoming (Lanjutan)

50	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1411}{\left(\frac{2437,43}{528}\right)^{0,02} - 1} = 0,63$	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,194}{\left(\frac{5239,8}{1905,2}\right)^{0,02} - 1} = 1,32$
75	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1411}{\left(\frac{1728,26}{528}\right)^{0,02} - 1} = 0,82$	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,194}{\left(\frac{4058,4}{1905,2}\right)^{0,02} - 1} = 1,78$

100	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1411}{\left(\frac{1338,46}{528}\right)^{0,02} - 1} = 1,05$	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,194}{\left(\frac{3421,8}{1905,2}\right)^{0,02} - 1} = 2,30$
-----	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabel dibawah ini adalah hasil rekapitulasi dari pemeriksaan waktu kerja rele pada gangguan 3 fasa pada bagian sisi *incoming* dan sisi penyulang 20 kV pada titik gangguan lokasi yaitu antara 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%.

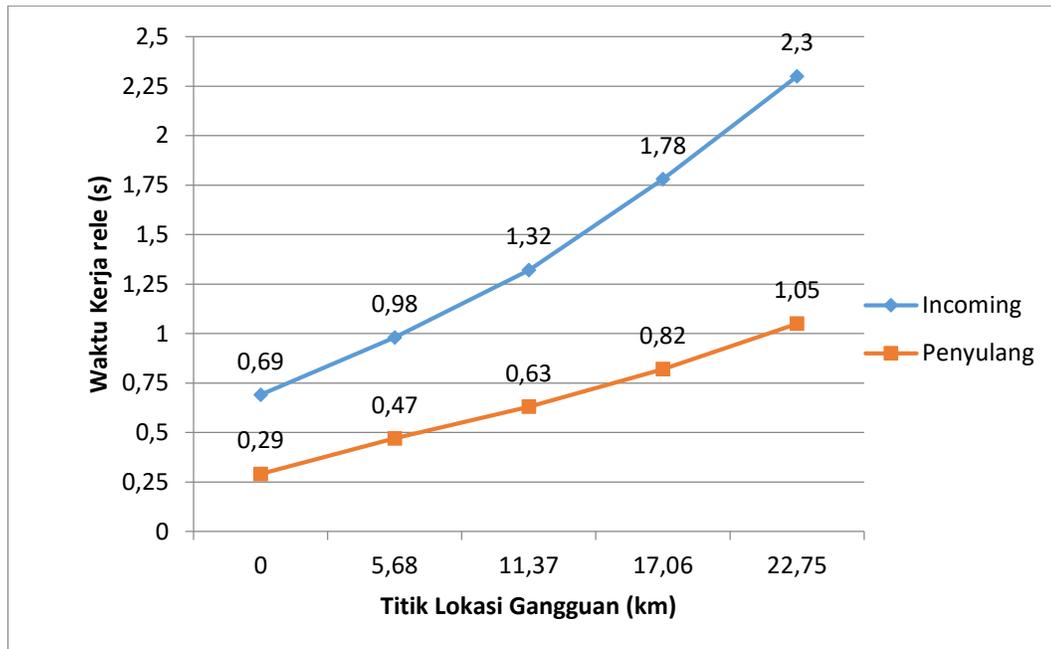
Tabel 4. 18 Tabel Pemeriksaan waktu kerja rele gangguan 3 fasa

Pemeriksaan Waktu Kerja Rele Gangguan 3 Fasa			
Lokasi Gangguan (%)	Waktu Kerja Rele <i>Incoming</i> (detik)	Waktu Kerja Rele Penyulang (detik)	Selisish Waktu (detik)
0	0,69	0,29	0,4
25	0,98	0,47	0,51
50	1,32	0,63	0,69
75	1,78	0,82	0,96
100	2,30	1,05	1,25

Dari hasil tabel diatas maka dapat diketahui bahwa waktu kerja rele pada bagian sisi penyulang 20 kV lebih cepat dari pada pada waktu kerja rele pada bagian *incoming* di setiap titik lokasi gangguan berdasarkan jaraknya. Ketika terjadi gangguan dilokasi 0% waktu kerja rele pada bagian penyulang 20 kV adalah sebesar 0,29 detik tetapi pada waktu kerja rele *incoming* adalah sebesar 0,69 detik dimana terdapat selisih waktu kerja rele pada penyulang dan *incoming* yaitu sebesar 0,4 detik. Dan pada keadaan lokasi gangguan selanjutnya dengan jarak yang lebih jauh yaitu 50% dimana pada bagian sisi penyulang waktu kerja rele 0,63 detik sedangkan pada bagisn sisi *incoming* nilai waktu kerja rele yaitu 1,32 detik dimana selisi antara keduanya yaitu sebesar 0,69 detik.

Sehingga dengan analisa diatas dapat diambil kesimpulan bahwa pada sisi penyulang adalah rele yang pertama kali merasakan jika terjadi gangguan atau kata lain rele pada penyulang merupakan rele utama sedangkan pada bagian sisi *incoming* hanya sebagai *back up* atau cadangan setelah rele pada sisi penyulang bekerja.

Dari data tabel diatas dan analisa dapat dibuat sebuah kurva berdasarkan waktu kerja gangguan dengan titik lokasi jarak gangguan.



Gambar 4. 2 Gambar Kurva Hubungan Titik Lokasi Gangguan dengan Waktu Kerja Rele Arus gangguan 3 Fasa

Dapat dilihat pada kurva diatas bahwa rele *incoming* adalah berwarna biru dan rele penyulang yaitu dengan warna merah, berdasarkan dengan kurva diatas dapat lihat adalah waktu kerja rele penyulang lebih cepat dari pada waktu kerja pada bagian rele *incoming*.

Dan pada waktu kerja untuk rele pada bagian sisi *incoming* maupun pada bagian sisi penyulang jika semakin jauh titik lokasi gangguan (0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%) maka didapat kesimpulan bahwa semakin jauh titik gangguan maka nilai *setting* rele arus lebih semakin lambat, sebaliknya jika semakin dekat titik gangguan maka semakin cepat *setting* rele arus lebih.

4.10 Waktu kerja Relay Pada gangguan 2 fasa

Tabel 4. 19 tabel Pemeriksaan Waktu Kerja rele pada Gangguan 2 Fasa

Pemeriksaan Waktu Kerja Rele pada Gangguan 2 Fasa		
Lokasi (%)	Sisi Penyulang 20 kV	Sisi <i>Incoming</i>
0	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1411}{\left(\frac{11101,24}{528}\right)^{0,02} - 1} = 0,31$	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,194}{\left(\frac{11101,24}{1905,2}\right)^{0,02} - 1} = 0,75$
25	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1411}{\left(\frac{3572,07}{528}\right)^{0,02} - 1} = 0,50$	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,194}{\left(\frac{6572,07}{1905,2}\right)^{0,02} - 1} = 1,08$
50	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1411}{\left(\frac{2110,87}{528}\right)^{0,02} - 1} = 0,70$	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,194}{\left(\frac{4110,87}{1905,2}\right)^{0,02} - 1} = 1,75$
75	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1411}{\left(\frac{1496,72}{528}\right)^{0,02} - 1} = 0,93$	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,194}{\left(\frac{3496,72}{1905,2}\right)^{0,02} - 1} = 2,22$
100	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1411}{\left(\frac{1159,14}{528}\right)^{0,02} - 1} = 1,24$	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,194}{\left(\frac{2859,14}{1905,2}\right)^{0,02} - 1} = 3,33$

Diatas adalah tabel pemeriksaan waktu kerja rele untuk arus gangguan 2 fasa, sama dengan arus gangguan 3 fasa, pada gangguan 2 fasa ini waktu kerja rele sisi penyulang lebih cepat dibandingkan rele sisi *incoming*.

Tabel 4. 20 Tabel Pemeriksaan Waktu Kerja Rele Gangguan 2 Fasa

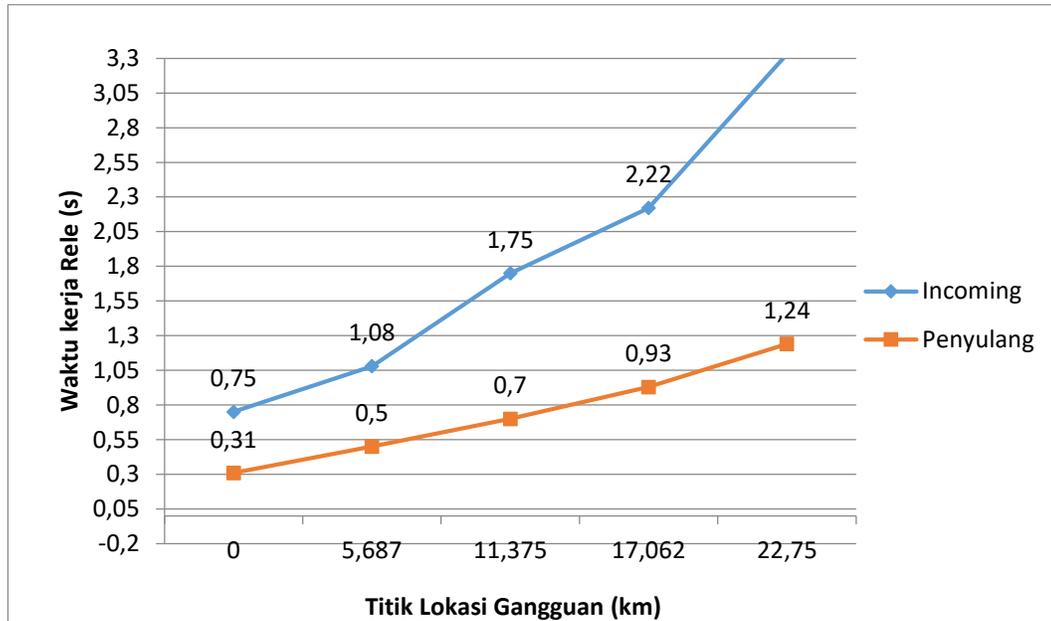
Pemeriksaan Waktu Kerja Rele Gangguan 2 Fasa			
Lokasi Gangguan (%)	Waktu Kerja Rele <i>Incoming</i> (detik)	Waktu Kerja Rele Penyulang (detik)	Selisish Waktu (detik)
0	0,75	0,31	0,44
25	1,08	0,50	0,58
50	1,75	0,70	1,05
75	2,22	0,93	1,29
100	3,33	1,24	2,09

Hal ini terlihat pada tabel, saat titik lokasi gangguan 0% waktu kerja rele penyulang 0,31 detik dan waktu kerja rele *incoming* 0,75 detik. Semakin jauh titik lokasi gangguan, saat titik lokasi gangguan 50% waktu kerja rele penyulang 0,7- detik dan waktu kerja rele *incoming* 1,75 detik,

Begitu seterusnya saat titik lokasi gangguan 75% waktu kerja rele penyulang 0,93 detik sedangkan waktu kerja rele *incoming* 2,22 detik dan begitu pula waktu kerja rele saat titik lokasi gangguan 100% akan lebih cepat waktu kerja rele penyulang dari pada *incoming*.

Waktu kerja rele penyulang lebih cepat dibandingkan rele *incoming* ini membuktikan bahwa rele penyulang merupakan rele yang pertama merasakan gangguan selanjutnya dibantu dengan rele *incoming* sebagai rele cadangan.

Dari tabel pemeriksaan waktu kerja rele gangguan 2 fasa maka dapat dibuat kurva hubungan antara waktu kerja rele dengan lokasi gangguan, bentuk kurva di bawah ini , diama kesimpulan yang dapat diambil dari kurva di bawah ini adalah semakin jauh titik gangguan maka semkin lama waktu kerja rele, kebalikanya jika semakin dekat titik gangguan maka semakin cepat waktu kerja rele arus lebih, dapat di lihat pada kurva dibawah ini.



Gambar 4. 3 Gambar Kurva Hubungan Titik Lokasi Gangguan dengan Waktu Kerja Rele Arus gangguan 2 Fasa

4.11 Perbandingan Setting Rele Terpasang dan Terhitung

Tabel 4. 21 Tabel Perbandingan nilai *setting* rele terpasang dengan yang terhitung

Nama Rele		Rele Terpasang		Rele Terhitung	
		Sisi <i>Incoming</i>	Sisi Penyulang	Sisi <i>Incoming</i>	Sisi Penyulang
OCR	TMS	0,23	0,267	0,194	0,141
	Rasio CT	2000/1	800/5	2000/1	800/5
	t	0,7 (detik)	0,3 (detik)	0,69 (detik)	0,29 (detik)

Dapat dilihat pada tabel diatas adalah hasil dari perbandingan setting rele yang terpasang dengan rele yang terhitung secara manual, Nilai *setting* yang terpasang dengan yang terhitung memiliki sedikit perbedaan yaitu nilai TMS dan t (*time*) pada bagian rele OCR di sisi *incoming* yang terpasang sebesar 0,23 dan 0,7 detik tetapi pada nilai *setting* pada sisi *incoming* di perhitungan manual di dapatkan nilai 0,194 dan 0,69 detik dengan nilai tersebut memiliki selisih sebesar 0,036 dan 0,01 detik. Pada bagian rele sisi penyulang juga terdapat perbedaan pada nilai setting TMS dan t (*time*) dimana

pada nilai *setting* rele terpasang sebesar 0,267 dan 0,3 detik , sedangkan pada bagian sisi penyulang nilai *setting* dengan perhitungan manual sebesar 0,141 dan 0,29 detik, nilai *setting* pada bagian t (*time*) dan TMS pada bagian sisi penyulang memiliki selisih pada nilai TMS sebesar 0,126 detik dan t sebesar 0,01 detik.

4.12 Simulasi Gangguan Menggunakan Software ETAP 12.6

Untuk simulasi sendiri terletak hanya pada bagian sisi jaringan penyulang 20kV dan pada sisi jaringan incoming 20 kV. Dari simulasi gangguan ini maka akan terlihat rele yang bekerja tersebut apakah layak dan mampu mengamankan jaringan dari gangguan dengan baik atautkah masih belum maksimal dalam mengamankan saat terjadi gangguan.

Selanjutnya untuk simulasi gangguan pada koordinasi proteksi disisi penyulang 20 kV menggunakan sebuah software etap 12.6, dimana pada simulasi gangguan hubung singkat pada software etap dengan menggunakan fitur star protective device coordination dan short circuit analysis, dimana pada percobaanya dengan memberikan gangguan (*fault insersion*) pada bagian bus ataupun pada bagian sisi jaringan mana yang akan diketahui rele yang bekerja dengan baik.

Untuk mengetahui apakah rele yang terpasang pada Gardu Induk Wates 150kV sudah bekerja dengan baik atau belum, dengan mensimulasikan dan membandingkan setting rele yang terpasang dengan setting rele yang terhitung secara manual tersebut. Dibawah ini adalah langkah –langkah menggunakan software Etap 12.6 dan *setting* pada komponen yang digunakan sebagai berikut :



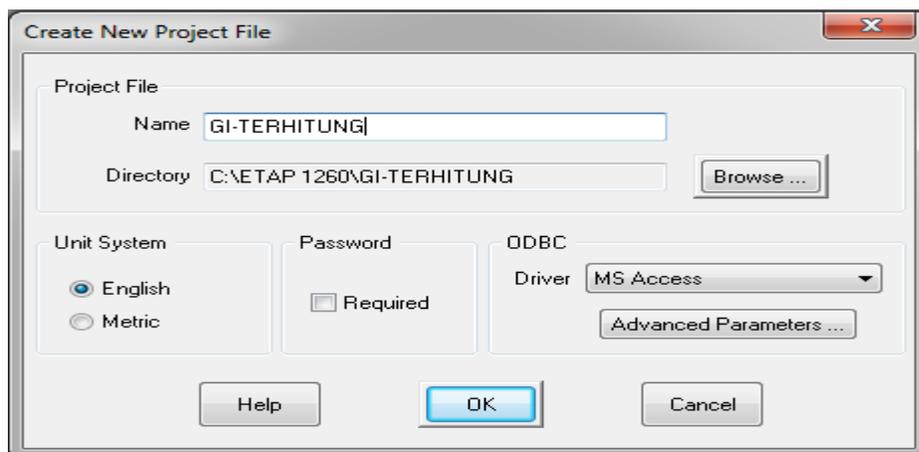
Gambar 4. 4 Gambar Step 1 Simulasi Etap 12.6

1. Pada langkah pertama adalah membuka *software* Etap 12.6 terlebih dahulu



Gambar 4. 5 Gambar Step 2 Simulasi Etap 12.6 File New Project

2. Langkah selanjutnya adalah memilih *new project* pada bagian *toolbar* di pilihan *file*

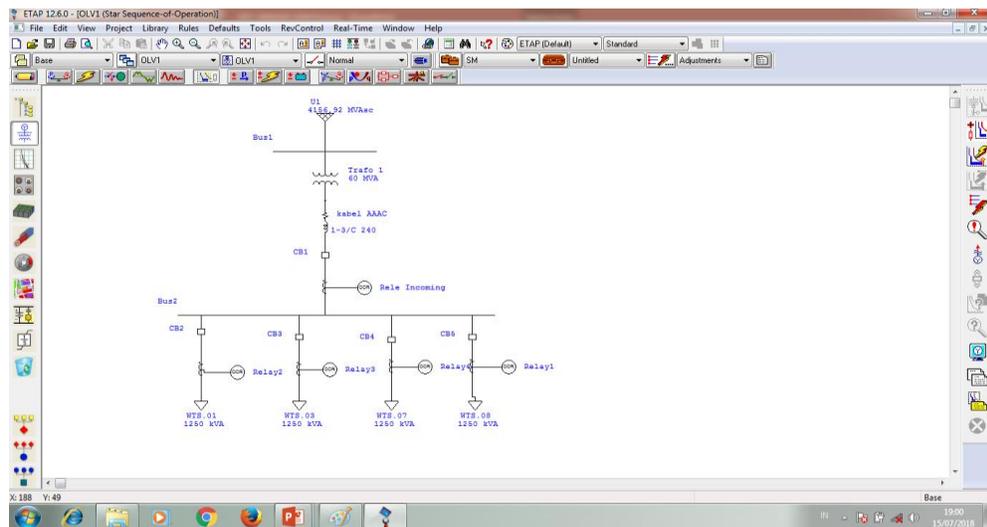


Gambar 4. 6 Gambar Step 3 Simulasi Etap 12.6 Pengisian Nama Project

- Langkah ketiga adalah mengisi pada kolom nama project, diisikan nama *project* yang akan digunakan untuk melakukan simulasi

Gambar 4. 7 Gambar Step 4 Simulasi Etap 12.6 Nama User

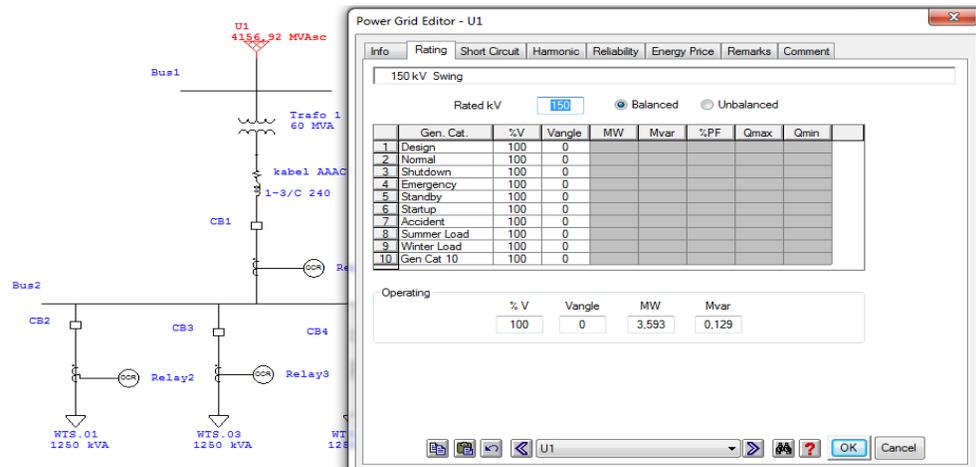
- Langkah keempat selanjutnya adalah mengisi pada kolom nama pengguna yang membuat *project* tersebut.



Gambar 4. 8 Gambar Step 5 Simulasi Etap 12.6 Perancangan *Single Line Diagram*

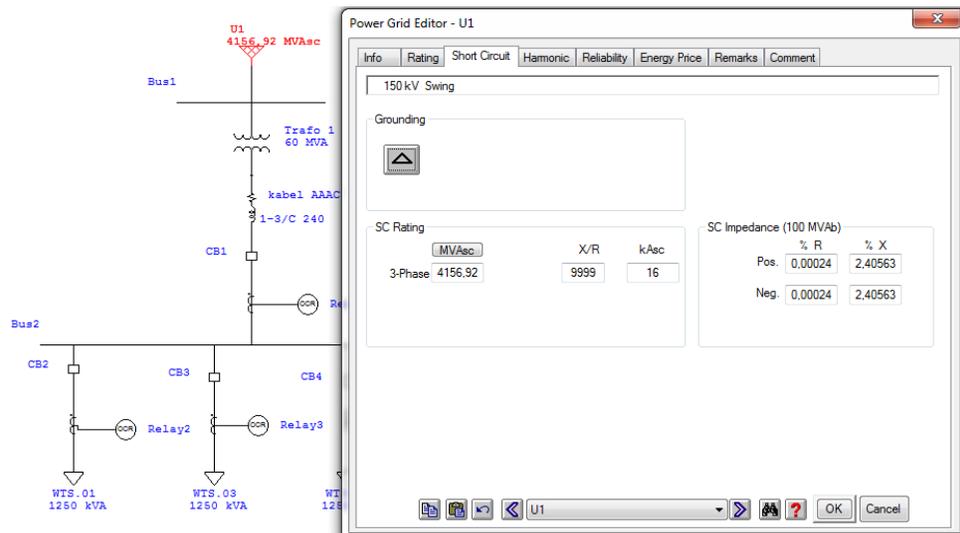
- Selanjutnya pada langkah kelima adalah membuat rangkaian sesuai dengan *single line diagram* yang ada pada gardu induk wates , seperti trafo, bus,

kabel, rele OCR (*Over Current Relay*), CT (*Current Transformer*), dan *Load Flow* yang sudah di rangkai sebelum melakukan *setting* pada tiap komponen.



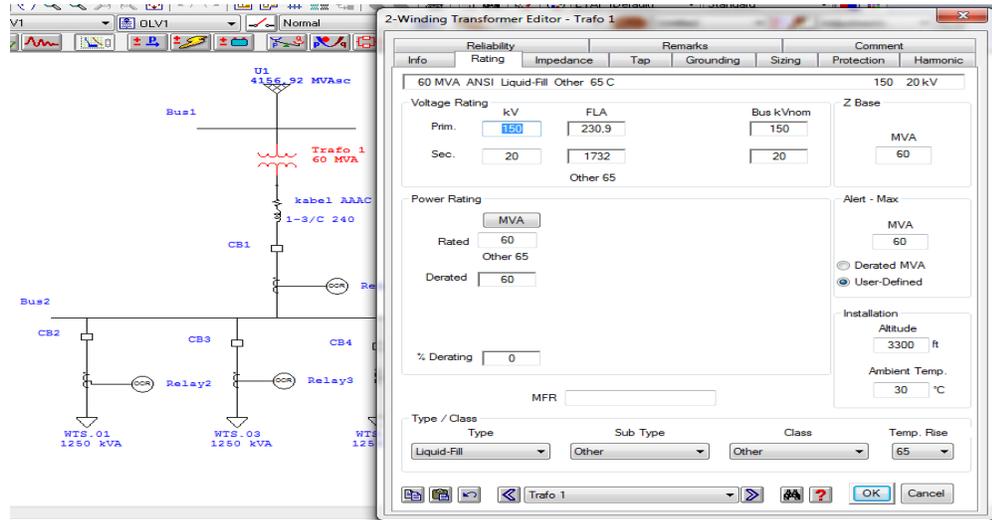
Gambar 4. 9 Gambar Step 6 Simulasi Etap 12.6 *Setting Power Grid*

6. Selanjutnya langkah keenam adalah melakukan *setting* pada nilai sumber yaitu 150kV



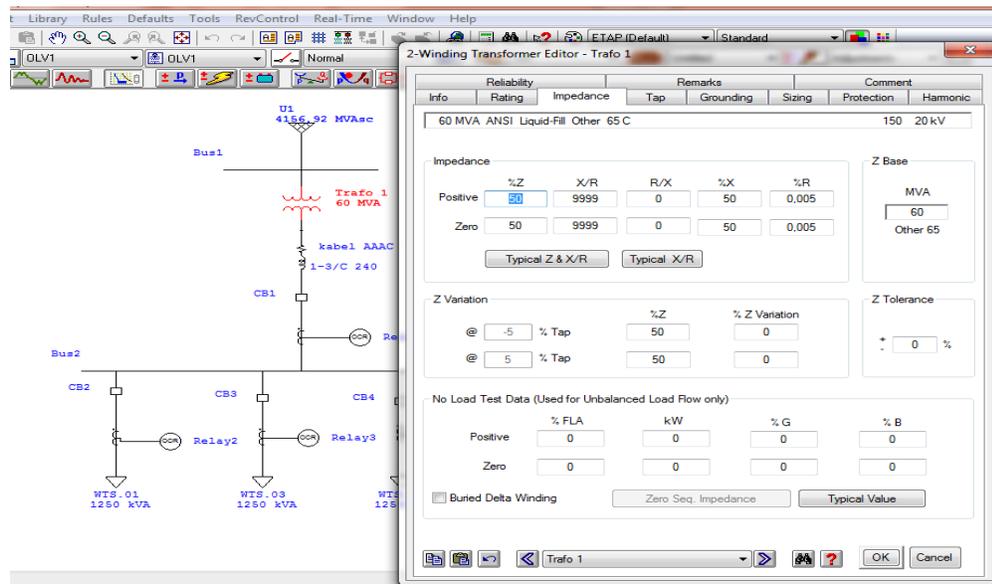
Gambar 4. 10 Gambar Step 7 Simulasi Etap 12.6 *Setting Power Grid*

7. Langkah ketujuh adalah melakukan *setting* pada nilai sumber beban yaitu 4156,92 MVA dengan mengisi nilai sumber beban pada kolom.



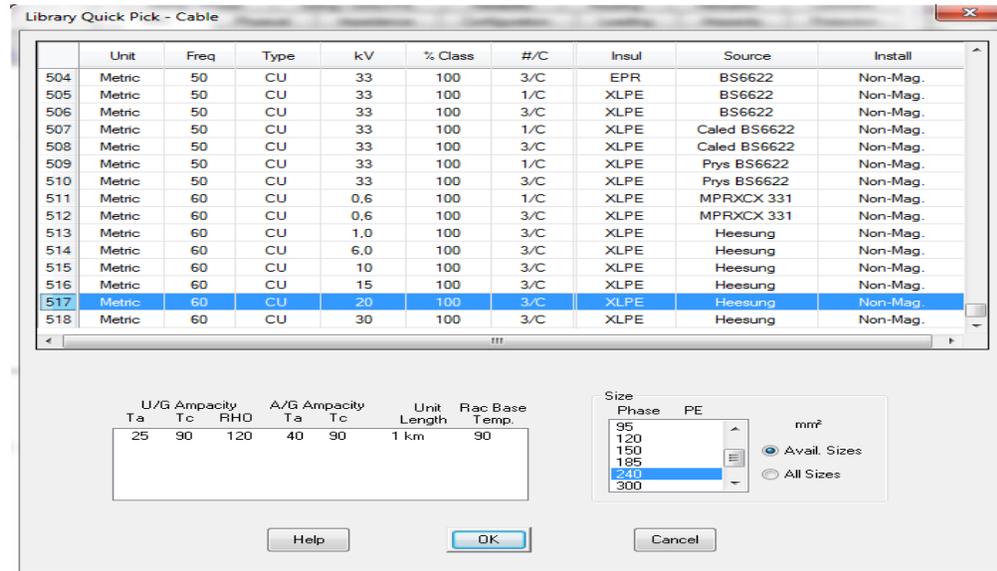
Gambar 4. 11 Gambar Step 8 Simulasi Etap 12.6 Setting Transformator Daya

8. Selanjutnya melakukan *setting* pada *transformator* dengan mengisi nilai kapasitas trafo 60 MVA sesuai dengan data yang ada pada gardu induk



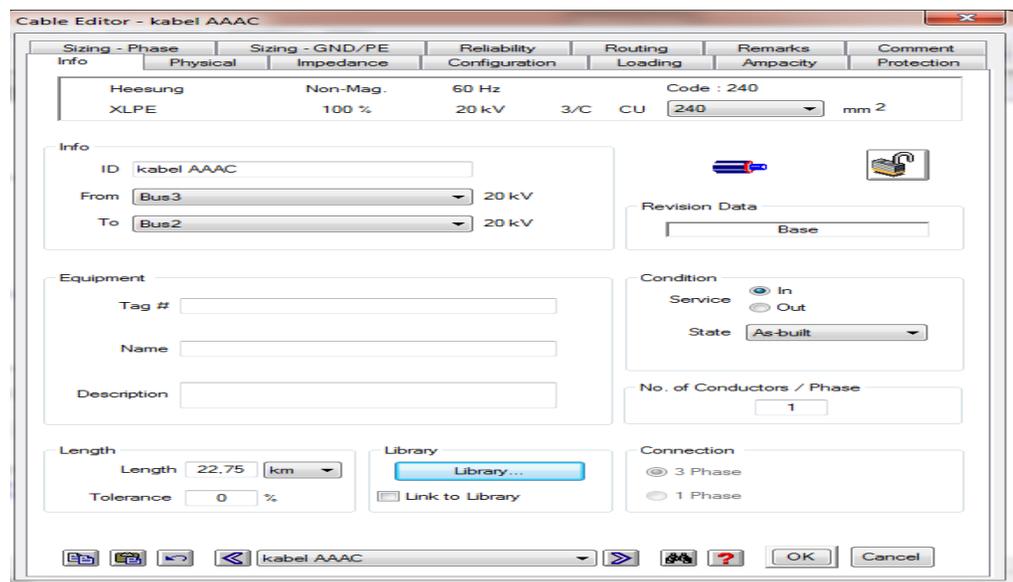
Gambar 4. 12 Gambar Step 9 Simulasi Etap 12.6 Setting Transformator Daya

9. Kemudian mengisi nilai *setting impedance* sesuai dengan data gardu induk nilai *positive* dan *zero* yaitu 50%.



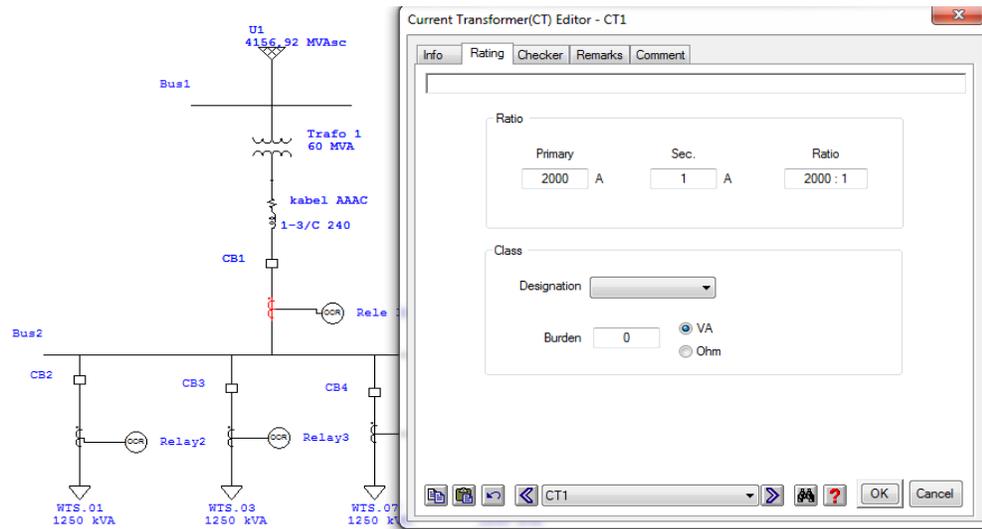
Gambar 4. 13 Gambar Step 10 Simulasi Etap 12.6 *Setting Data Kabel*

10. Langkah selanjutnya adalah memilih spesifikasi penghantar kabel yang digunakan pada gardu induk wates 150 kv jenis AAAC dengan penampang 240 mm².



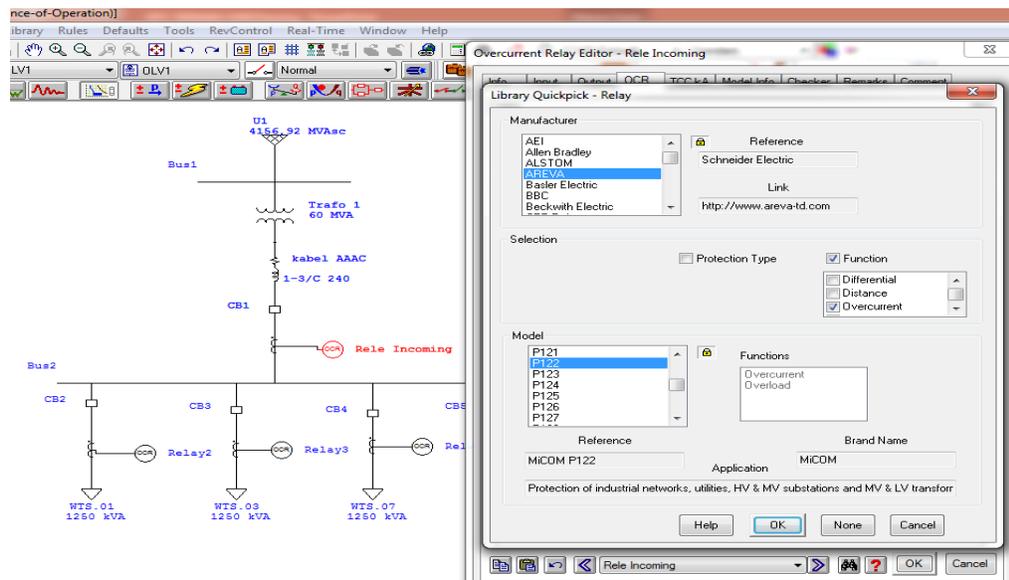
Gambar 4. 14 Gambar Step 11 Simulasi Etap 12.6 *Setting Panjang Kabel*

11. Kemudian mengisi pada kolom panjang penghantar yaitu sepanjang 22,75 km sesuai dengan data gardu induk wates 150 kV.



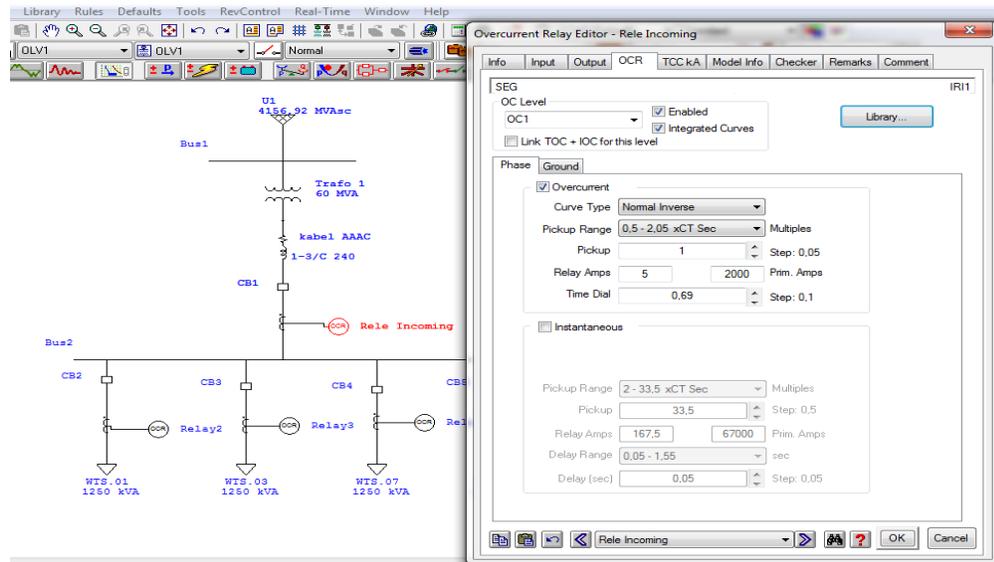
Gambar 4. 15 Gambar Step 12 Simulasi Etap 12.6 Setting Current Transformer

12. Selanjutnya adalah melakukan *setting* pada **current transformer** yaitu memasukkan nilai *setting ratio* yaitu 2000 : 1.



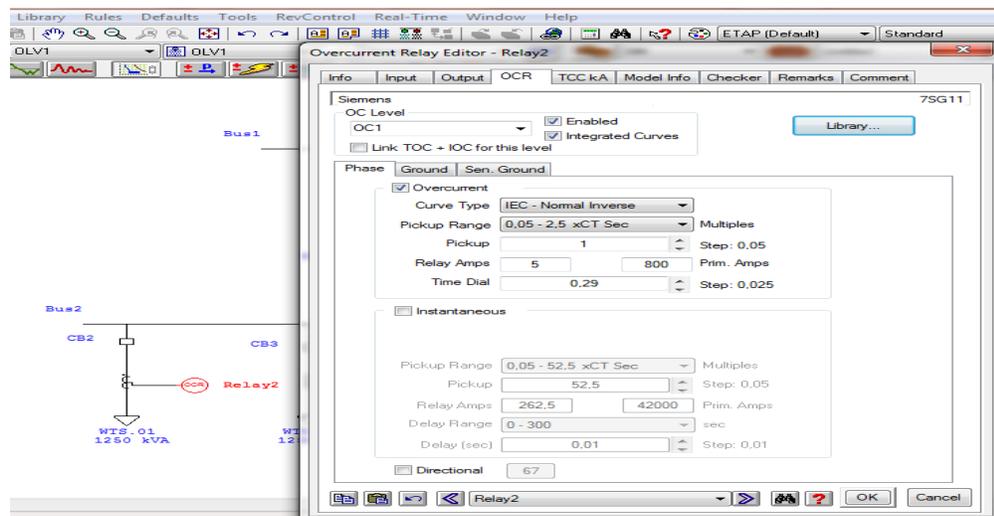
Gambar 4. 16 Gambar Step 13 Simulasi Etap 12.6 Setting OCR sisi Incoming

13. Selanjutnya adalah memilih jenis rele pada sisi *incoming* yaitu jenis AREVA dan model P122 rele yang digunakan pada GI Wates 150 kV



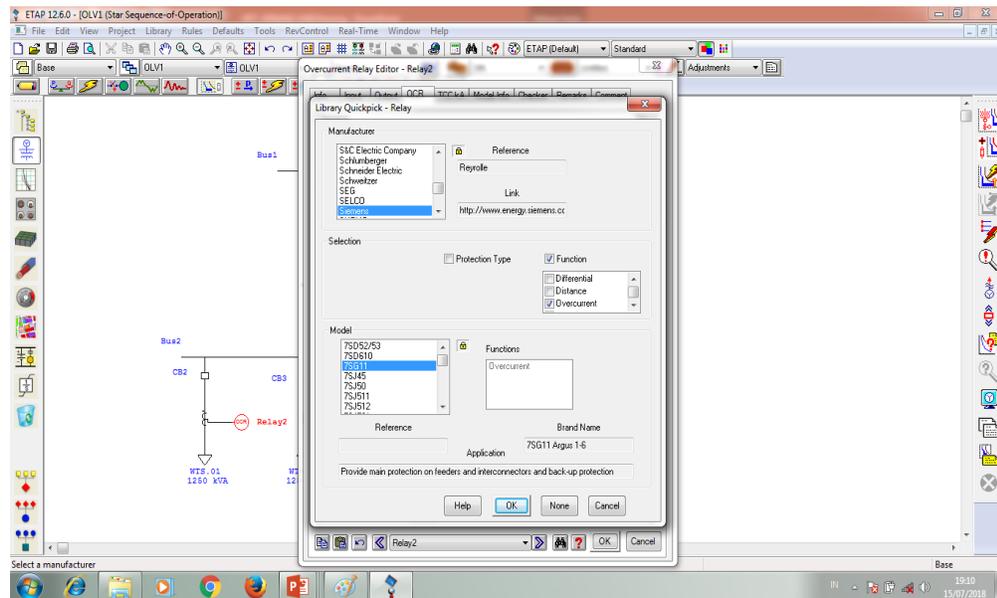
Gambar 4. 17 Gambar Step 14 Simulasi Etap 12.6 Setting OCR sisi Incoming

14. Selanjutnya *setting* pada rele sisi *incoming* yaitu setel time dial 0.69 detik yaitu sesuai dengan nilai *setting* yang sudah didapat pada perhitungan manual.



Gambar 4. 18 Gambar Step 15 Simulasi Etap 12.6 Setting OCR sisi Penyulang

15. Pada langkah selanjutnya adalah melakukan *setting* pada rele sisi penyulang yaitu nilai time dial 0.29 detik yang sudah didapat pada perhitungan manual.



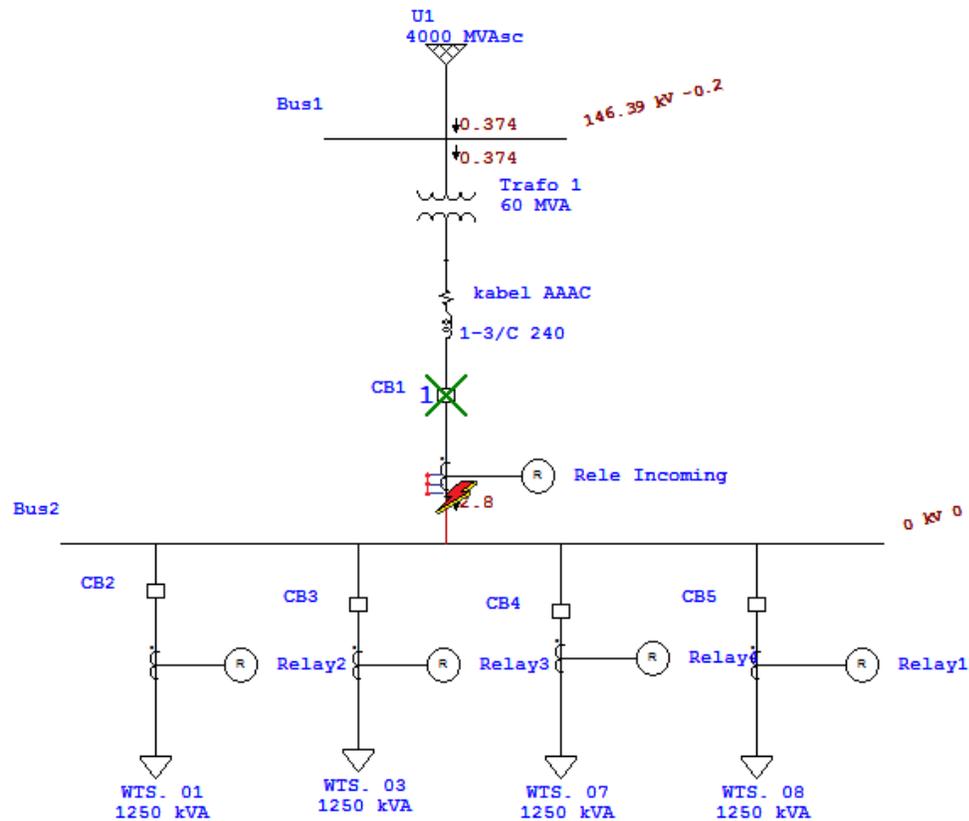
Gambar 4. 19 Gambar Step 16 Simulasi Etap 12.6 Setting OCR sisi Penyulang

16. Terakhir adalah melakukan setting pada rele penyulang yaitu memilih jenis rele SIEMENS dengan model SG711 sesuai data pada gardu induk Wates 150kv.

Setelah melakukan setting diatas selanjutnya adalah melakukan simulasi dan hasil dari simulasi yang sudah dilakukan dan dapat dilakukan analisis pada setiap simulasi dibawah ini. Selanjutnya untuk simulasi gangguan pada koordinasi proteksi disisi penyulang 20 kV menggunakan sebuah software etap 12.6, dimana pada simulasi gangguan hubung singkat pada software etap dengan menggunakan fitur star protective device coordination dan short circuit analysis, dimana pada percobaanya dengan memberikan gangguan (fault insersion) pada bagian bus ataupun pada bagian sisi jaringan mana yang akan diketahui rele yang bekerja dengan baik.

Untuk mengetahui apakah rele yang terpasang pada Gardu Induk Wates 150kV sudah bekerja dengan baik atau belum, dengan mensimulasikan dan membandingkan setting rele yang terpasang dengan setting rele yang terhitung secara manual tersebut.

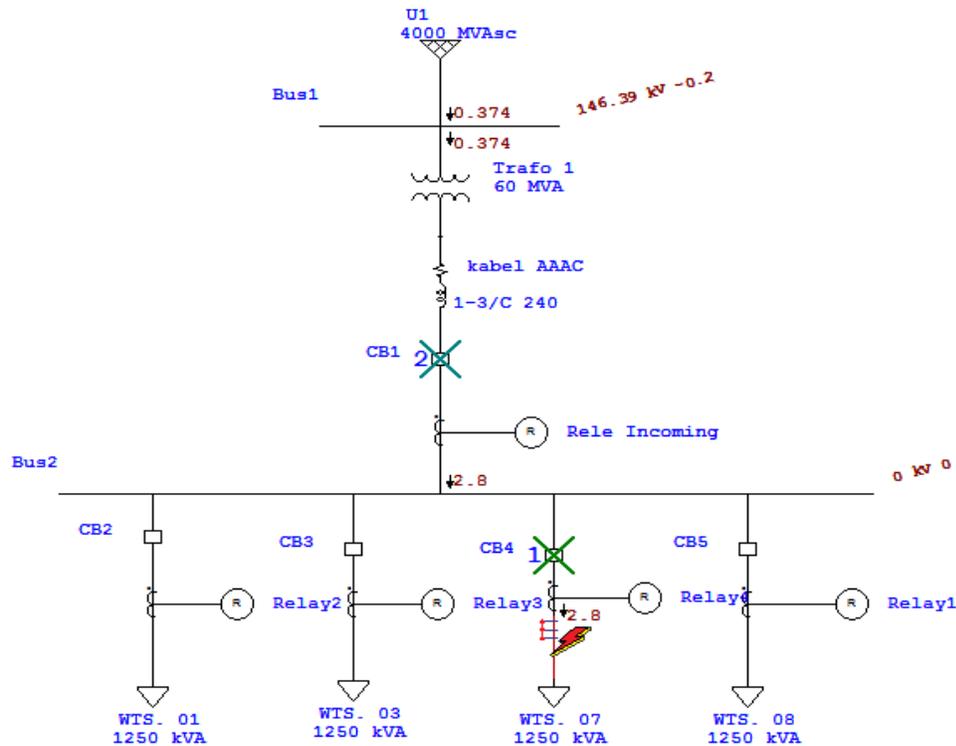
1. Simulasi Koordinasi Proteksi Sisi Incoming Terpasang di GI Wates 150 kV



Gambar 4. 20 Koordinasi Proteksi pada sisi Incoming Terpasang Di Gardu induk wates

Pada gambar simulasi di sisi incoming di atas, letak gangguan diberikan pada bagian sisi *incoming* yaitu pada jalur *bus 2* atau dibagian jaringan setelah dari komponen *transformator II* menuju area sisi penyulang. Pada koordinasi proteksi ini ketika diberikan sebuah gangguan yaitu yang bekerja adalah pada *relay incoming* itu disebabkan karena pada *relay incoming* adalah yang terdekat dengan terjadinya gangguan, ketika *relay incoming* ketika merasakan sebuah gangguan dimana gangguan tersebut melebihi dari nilai *setting* dari *relay incoming*, maka *relay incoming* akan memberikan perintah kepada CB 1 untuk melakukan trip, dimana pada kondisi CB 1 *close* (tertutup) karena ada gangguan dan dapat perintah untuk open dari *relay incoming* maka kondisi CB1 berubah menjadi *open* (terbuka) dengan waktu kerja rele 0,7 detik sehingga jaringan dapat diamankan.

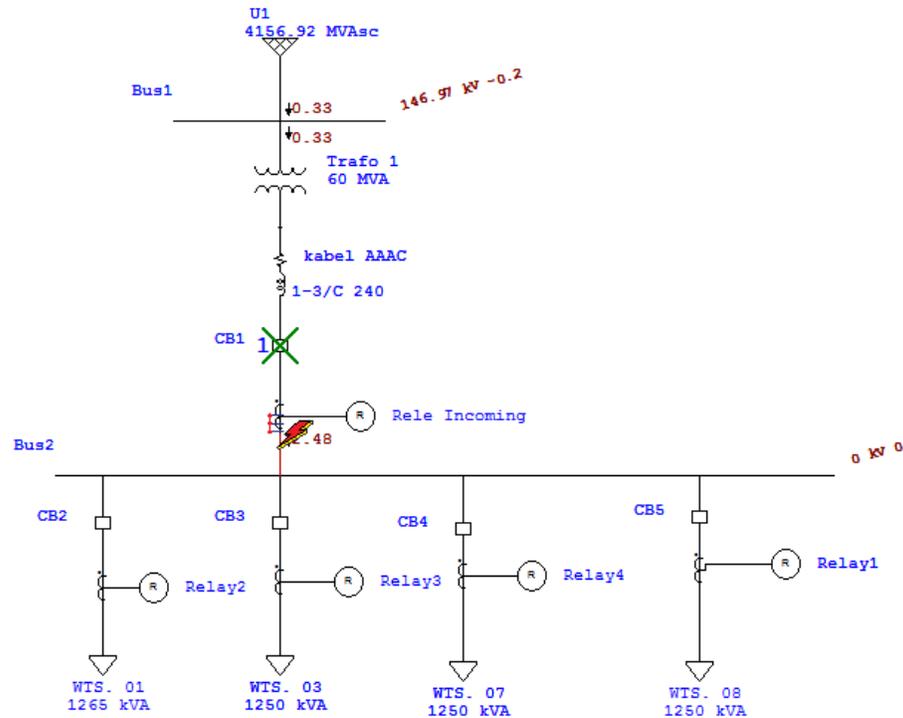
2. Simulasi Koordinasi Proteksi Sisi Penyulang Terpasang di GI Wates 150 kV.



Gambar 4. 21 Gambar Simulasi Koordinasi Proteksi sisi penyulang terpasang di Gardu Induk

Dari simulasi diatas dapat dilihat yaitu memberikan gangguan disisi penyulang WTS. 07, sehingga yang terjadi yaitu pada *Relay 4* akan merasakan sebuah gangguan dan membaca besarnya gangguan yang terjadi selanjutnya relay 4 tersebut akan memberikan perintah pada CB 4 untuk bekerja atau trip. Tetapi jika nilai gangguan yang terjadi melebihi dari jilai setting pada CB 4 maka selanjutnya *relay 4* tadi akan memberikan perintah kepada CB 1 atau CB pemutus dimana yang telah diletakkan dekat dengan sisi penyulang dimana CB 1 tadi dalam kondisi awalnya *close* menjadi *open* terbuka sehingga CB 1 tersebut trip memutuskan tegangan. Karena terjadi gangguan saat CB 4 tadi waktu kerja rele 0,3 detik dan CB 4 tidak mampu mengatasi gangguan yang terjadi maka CB 1 akan bekerja untuk trip (pemutus) kan jaringan karena CB 1 disetting dalam waktu kerja rele sebesar 0,5 detik lebih lama dari setting CB 4.

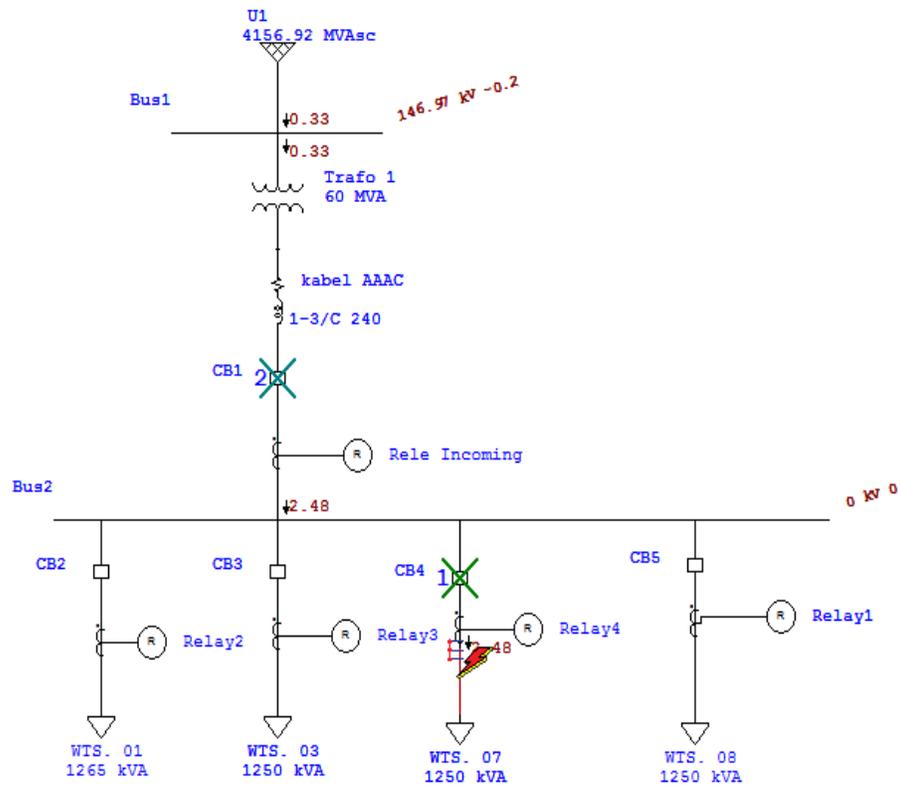
3. Simulasi Koordinasi Proteksi Sisi *Incoming* Terhitung di GI Wates 150kV.



Gambar 4. 22 Gambar Simulasi Koordinasi Poteksi sisi *Incoming* Terhitung di Gardu Induk

Dari gambar simulasi di atas dimana diberikan gangguan pada bagian sisi *incoming*, diibaratkan terjadi gangguan pada jaringan bus 2 dimana terjadi dekat dengan rele *incoming* sehingga rele *incoming* yang dekat dan merasakan terjadinya gangguan. Sehingga rele *incoming* membaca apakah gangguan yang terjadi melebihi nilai *setting* atau tidak, jika melebihi batas nilai *setting* maka rele *incoming* akan memerintahkn CB 1 untuk melakukan *trip* (pemutus) diaman dalam kondisi awal CB 1 adalah *close* (tertutup) menjad open (terbuka) untuk mengamankan jaringan dimana *setting* nilai wktu kerja relay *incoming* adalah sebesar 0,69 detik.

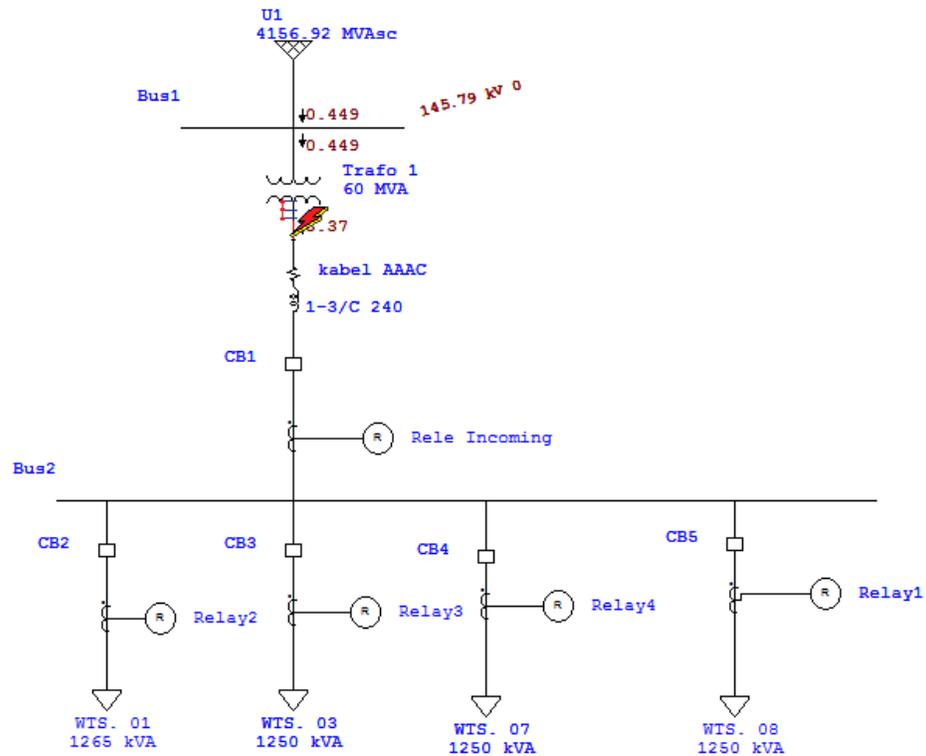
4. Simulasi Koordinasi Proteksi Sisi Penyulang Terhitung di GI Wates 150kV



Gambar 4. 23 Gambar Simulasi Koordinasi Proteksi sisi Penyulang Terhitung di GI Wates 150kV

Dari gambar simulasi di atas dimana dengan memberikan gangguan pada bagian sisi penyulang jaringan WTS. 07. Ketika terjadi gangguan pada penyulang WTS. 07 maka pada relay 4 yang pertama kali akan merasakan dan membaca besar gangguan yang terjadi, ketika nilai gangguan melebihi nilai setting waktu 0,29 detik, maka relay 4 akan memberikan sinyal ke CB 4 untuk bekerja. Jika CB 4 tidak bisa bekerja untuk trip selanjutnya rele incoming yang merasakan terjadinya gangguan dan memprosesnya untuk selanjutnya mengirimkan ke CB 1 untuk bekerja mengamankan dimana nilai setting waktu rele incoming sebesar 0,69 detik untuk mengamankan, dimana kondisi CB 1 awalnya *close* (tertutup) setelah bekerja menjadi *open* (terbuka) atau *trip* (pemutus).

5. Simulasi Koordinasi Proteksi Gangguan Pada Peralatan GI Wates 150kV.



Gambar 4. 24 Gambar Simulasi Koordinasi Proteksi Pada Peralatan di GI Wates 150 kV

Simulasi di atas adalah ketika terjadi gangguan pada peralatan di garu induk dalam kondisi terhitung maupun yang terpasang. Simulasi diatas terjadi gangguan pada *transformator* maka yang terjadi adalah *relay* pada bagian sisi *incoming* ataupun pada bagian sisi penyulang tidak bekerja, karena gangguan yang terjadi pada bagian peralatan yaitu trafo, sedangkan rele OCR yang terpasang dan yang terhitung pada sisi incoming dan penyulang tersebut hanya mendeteksi gangguan pada bagian jaringan. Sehingga CB 4 dan CB 1 tidak akan bekerja memutus gangguan atau trip. Untuk pengaman peralatan saat terjadi gangguan seperti pada simulasi di atas yaitu trafo maka menggunakan sebuah rele *differensial* dimana rele ini akan bekerja saat terjadi ketidakseimbangan dari peralatan trafo tersebut. Karena jika terjadi gangguan jaringan diatas terjadi trip maka tidak akan memutus CB 4 dan CB 1.

4.13 Tabel Kondisi Relay OCR Saat Normal Dan Saat Terjadi Gangguan.

4.13.1 Kondisi Relay OCR saat dalam keadaan normal baik yang terpasang maupun yang terhitung.

Tabel 4. 22 Tabel Kondisi Relay OCR Pada Kondisi Normal

Proteksi	Kondisi Jaringan	Kondisi Relay				
		Rele Incoming	Relay 2	Relay 3	Relay 4	Relay 5
Terpasang di GI dan Terhitung	Normal	NC	NC	NC	NC	NC
		NC	NC	NC	NC	NC
		NC	NC	NC	NC	NC
		NC	NC	NC	NC	NC
		NC	NC	NC	NC	NC
		NC	NC	NC	NC	NC

4.13.2 Kondisi Relay OCR saat terjadi gangguan baik yang terpasang maupun yang terhitung.

Tabel 4. 23 Tabel Kondisi Relay Saat Terjadi Gangguan

Proteksi	Kondisi Gangguan	Kondisi Relay OCR				
		Rele Incoming	Relay 2	Relay 3	Relay 4	Relay 5
Terpasang di GI dan Terhitung	di incoming	NO	NC	NC	NC	NC
	di Penyulang WTS.01	NO	NO	NC	NC	NC
	di Penyulang WTS.03	NO	NC	NO	NC	NC
	di Penyulang WTS.07	NO	NC	NC	NO	NC
	di Penyulang WTS.08	NO	NC	NC	NC	NO
	di Trafo	NC	NC	NC	NC	NC

Keterangan :

- NO = Normali Open (Relay Terputus)
- NC = Normali Close (Relay Terhubung)

Pada Tabel diatas yaitu kondisi *relay* OCR dimana saat terjadi gangguan pada sisi *incoming*, sisi penyulang dan juga pada sisi komponen trafo. Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa ketika relay pada kondisi normal yaitu *relay* dalam kondisi NC (*Normali Close*) atau dalam keadaan terhubung, tetapi ketika terjadi gangguan relay OCR

merasakan dan harus bekerja mengamankan sehingga relay berubah kondisi yaitu dari kondisi NC menjadi NO (*Normali Open*) atau jaringan terputus, sehingga dapat mengamankan peralatan lainnya. Pada saat terjadi gangguan pada bagian peralatan trafo maka relay yang bekerja adalah rele *differensial* yang ada pada trafo itu sendiri, bukan tugas dari rele OCR.