

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Data dan Spesifikasi Peralatan

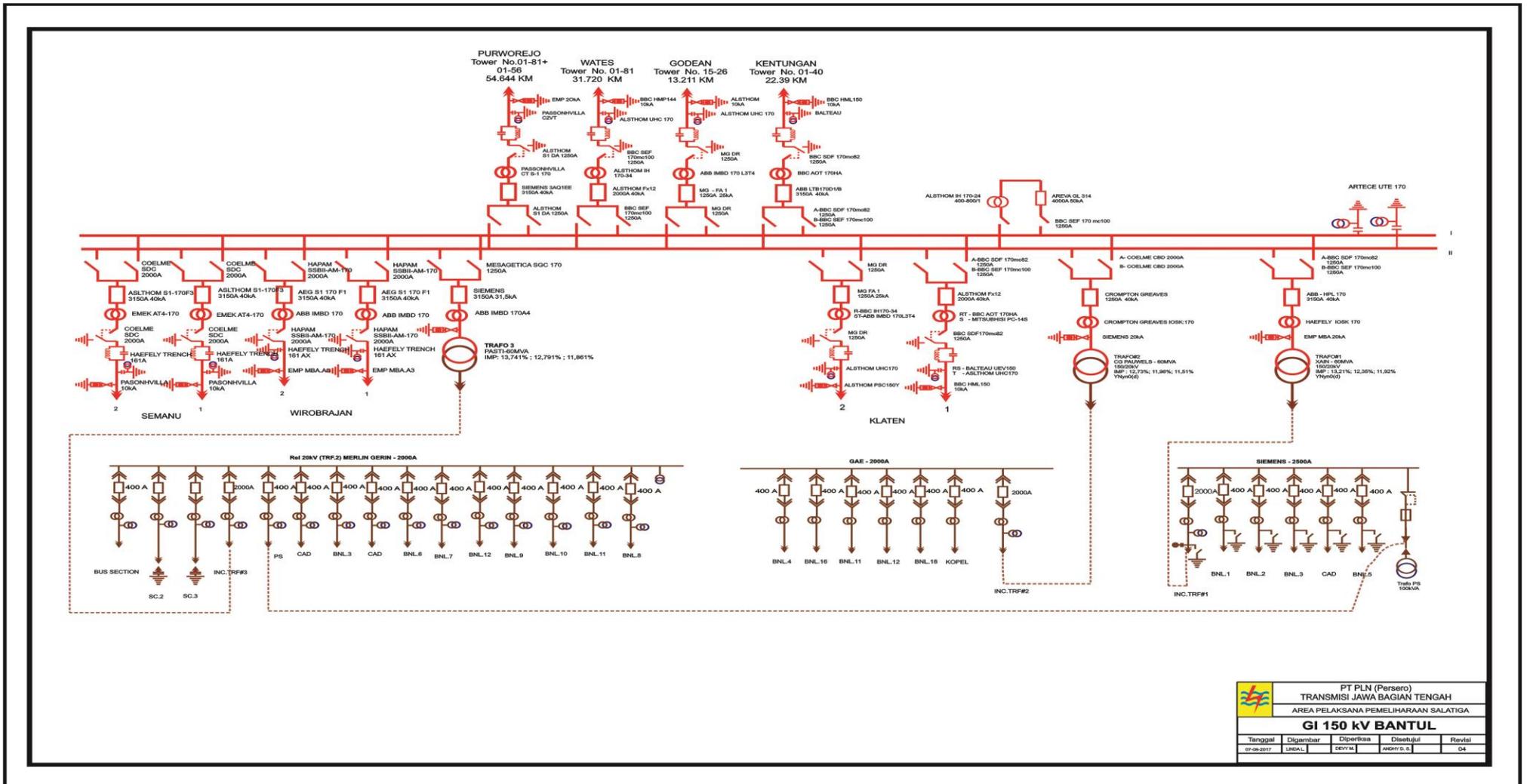
4.1.1 *Single Line Diagram* Gardu Induk Bantul

Gardu Induk Bantul 150 kV terletak di Jl. Parangtritis, gardu induk bantul merupakan salah satu gardu induk pasangan luar dengan tegangan 150/20 kV dimana tegangan sisi primer sebesar 150 kV dan tegangan sisi sekunder sebesar 20 kV.

Dapat dilihat pada gambar 4.1 merupakan *single line diagram* yang ada di Gardu Induk Bantul 150 kV. Pada gardu induk bantul 150 kV terdapat 3 (tiga) buah *transformator* daya yang beroperasi yaitu Transformator 1 (TF 1), Transformator 2 (TF 2) dan Transformator 3 (TF 3) dengan kapasitas setiap transformator sebesar 60 MVA.

Transformator-transformator tersebut terdiri dari beberapa penyulang dimana transformator 1 memiliki 5 (lima) penyulang yaitu BNL 1, BNL 2, BNL 3, BNL 5, dan BNL 17. Selanjutnya transformator 2 terdiri dari 5 (lima) penyulang yaitu BNL 4, BNL 16, BNL 11, BNL 12, dan BNL 18. Transformator3 memiliki penyulang terbanyak yaitu 8 (delapan) diantaranya: BNL 3, BNL 6, BNL 7, BNL 12, BNL 9, BNL 10, BNL 11, dan BNL8.

Untuk menjamin agar setiap energi listrik yang didistribusikan tidak mengalami gangguan maka diperlukan koordinasi rele yang baik disisi 150 kV, disisi *incoming*, serta disetiap penyulangannya.



Gambar 4.1 Single Line Diagram Gardu Induk Bantul.

(Sumber: Gardu Induk Bantul 150 kV)

4.1.2 Data dan Spesifikasi Transformator

Pada Gardu Induk Bantul 150 kV terdapat tiga (3) transformator yaitu transformator 1, transformator 2 dan transformator 3. Untuk penyulang yang digunakan adalah BNL 1 dimana penyulang BNL 1 terdapat di transformator 1 maka didapat data dan spesifikasi dari transformator 1 adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data dan Spesifikasi Transformator 1 Gardu Induk Bantul 150 kV.

Data dan Spesifikasi Transformator 1 Gardu Induk Bantul 150 kV	
<i>Name</i>	Trafo 1
<i>Merk/Type</i>	Xian /SFZ-6000/150
<i>Installation</i>	<i>Out-Door</i>
<i>Nominal Rating MVA</i>	36/60
<i>Frequency Hertz</i>	50
Tegangan Primer	150 kV
Tegangan Sekunder	20 Kv
<i>Short Circuit 150 kV</i>	40 kA
<i>Short Circuit 20 kV</i>	16 kA
<i>Nominal Current</i>	1732 A
<i>Impedance</i>	12,35 %
<i>Vector Group</i>	<i>YN-yno (d11)</i>
<i>Rn (Tahanan pentanahan)</i>	0,3 <i>Ohm</i>

Dari tabel diatas Transformator 1 yang ada pada Gardu Induk Bantul merupakan transformator instalasi luar dengan merk Xian memiliki kapasitas sebesar 60 MVA, beroperasi pada frekuensi 50 Hertz (Hz) bertegangan 150/20 kV. Transformator 1 ini memiliki arus hubung singkat 150 kV sebesar 40 kA, arus hubung singkat 20 kV sebesar 16 kA, dengan arus nominalnya 1732 A. Selain itu, impedansi yang dimiliki transformator 1 sebesar 12,35% dengan tahanan pentanahan sebesar 0,3 *Ohm*.

4.1.3 Data Rele OCR dan GFR

Tabel 4.2 Data Rele dan OCR Gardu Induk 150 kV Bantul.

Jenis Rele	Rele <i>Incoming</i>			Rele Penyulang		
	Merk	Inominal	Rasio CT	Merk	Inominal	Rasio CT
OCR	SEG MRI3-11E1D	5 A	2000/5	SIEMENS	5 A	800/5
GFR	SEG MRI3-11E1D	5 A	2000/5	SIEMENS	5 A	800/5

Rele OCR (*Over Current Relay*) merupakan rele yang berfungsi untuk merasakan kenaikan arus yang melebihi batas yang ditetapkan (*setting*) sehingga memerintahkan PMT (CB) untuk *men-trip* (memutus) jaringan yang ada. Sedangkan rele GFR (*Ground Fault Relay*) merupakan rele yang akan *men-trip* (memutus) saat terjadi gangguan hubung singkat ke tanah (fasa ke tanah). Pada Gardu Induk Bantul rele OCR dan GFR yang digunakan pada sisi *incoming* bermerk SEG MRI3-11E1D dengan arus nominal 5 *Ampere* dengan perbandingan rasio 2000/5 sedangkan rele OCR dan GFR untuk sisi penyulang bermerk SIEMENS dengan arus nominal 5 A dan perbandingan rasio 800/5.

4.1.4 Setting Rele OCR dan GFR

Tabel 4.3 *Setting* Rele OCR dan GFR.

Jenis Rele	<i>Setting</i>	Sisi <i>Incoming</i>	Sisi Penyulang
OCR (<i>Standard Inverse</i>)	TMS	0,25	0,25
	t (detik)	0,5	0,3
GFR (<i>Standard Inverse</i>)	TMS	0,4	0,3
	t (detik)	0,5	0,3

Pada Gardu Induk 150 kV Bantul rele OCR dan GFR yang digunakan memiliki karakteristik *standard inverse*, dengan nilai TMS dan t (*time*) disetiap sisi berbeda. Sisi *incoming* rele OCR memiliki nilai TMS sebesar 0,25 dengan t

(*time*) 0,5 detik, sedangkan rele GFR nilai TMS sebesar 0,4 dengan t 0,5 detik. Sisi penyulang, rele OCR memiliki nilai TMS sebesar 0,25 dengan t 0,3 detik, sedangkan rele GFR nilai TMSnya sebesar 0,3 dengan t 0,3 detik..

4.1.5 Data Penghantar Penyulang BNL 1 Transformator 1

Tabel 4.4 Data Penghantar Penyulang BNL 1.

Jenis Penghantar	Diameter Penghantar	Panjang Jaringan
AAAC (A3C)	240 mm ²	5,7 Km

Berdasarkan tabel, penyulang BNL 1 menggunakan penghantar berjenis AAAC, berdiameter 240 mm² untuk penghantar fase dan fase-netralnya dengan panjang jaringan terjauh yaitu 5,7 Km (*Kilo meter*).

Tabel 4.5 Impedansi Urutan Positif/Negatif dan Nol berdasarkan SPLN.

Jenis Penghantar	Diameter Penghantar	Impedansi Urutan Positif/Negatif	Impedansi Urutan Nol
AAAC (A3C)	240 mm ²	0,1344+j 0,3158	0,2824+j 1,6033

Berdasarkan Standar Perusahaan Umum Listrik Negara (SPLN) 1985 halaman 64 menyebutkan bahwa penghantar AAAC dengan diameter 240 mm² memiliki impedansi urutan positif/negatif sebesar 0,1344+j 0,3158 dan urutan nol sebesar 0,2824+j 1,6033.

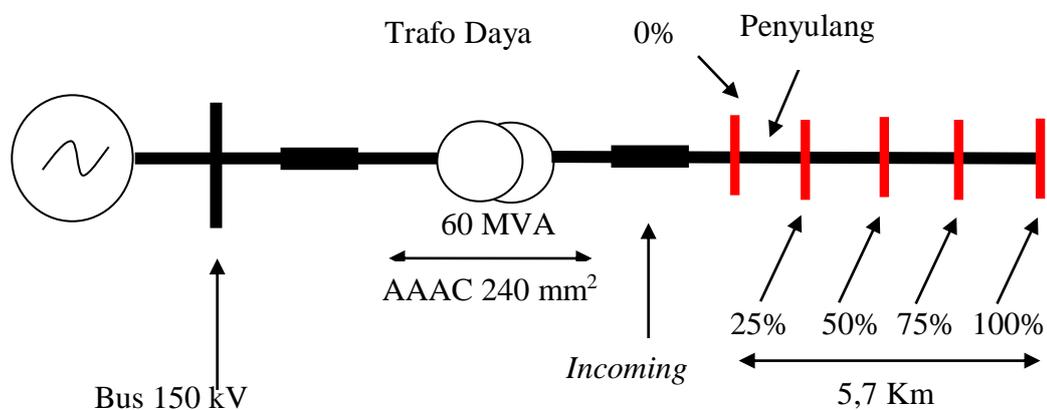
4.2 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Arus hubung singkat dalam sistem distribusi tenaga listrik dikelompokkan menjadi tiga yaitu antara lain: arus hubung singkat 3 fasa, arus hubung singkat 2 fasa dan arus hubung singkat 1 fasa ke tanah.

Untuk mengetahui besarnya nilai arus gangguan hubung singkat tiap fasa maka perlu dilakukan perhitungan dari data yang sudah ada. Adapun perhitungan atau data yang diperlukan ialah:

1. Menghitung impedansi sumber.
2. Menghitung reaktansi transformator.
3. Menghitung impedansi penyulang.
4. Menghitung imedansi ekuivalen jaringan.

Untuk gangguan arus hubung singkat yang dilakukan sepanjang panjang jaringan dan diasumsikan titik-titik gangguan yang terjadi adalah pada lokasi 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% seperti berikut ini:



4.2.1 Menghitung Impedansi Sumber

Besarnya nilai impedansi sumber dapat diuraikan melalui rumus dibawah ini:

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

Dimana:

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

V : Tegangan sisi primer (kV)

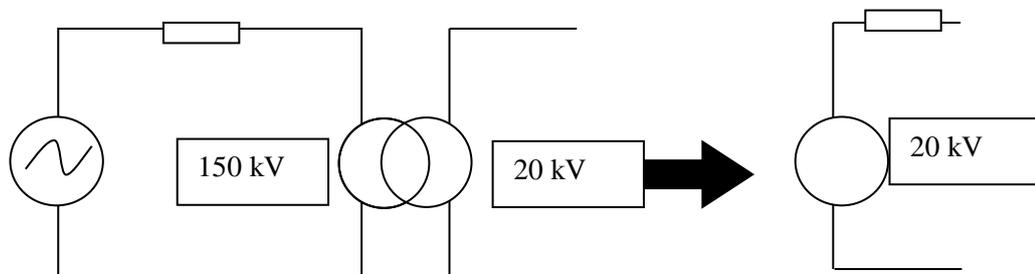
Maka:

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

Dari nilai diatas, besarnya impedansi sumber (X_s) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} X_{s(150 \text{ kV})} &= \frac{kV(\text{sisi primer})^2}{MVA_{\text{hubung singkat}}} \\ &= \frac{150^2}{4156,92} = 5,41 \Omega \end{aligned}$$

Karena yang dibutuhkan adalah nilai sisi 20 kV maka hasil impedansi sumber tersebut dikonversi ke sisi 20 kV dengan cara:



Gambar 4.2 Konversi Impedansi 150 kV ke 20 kV.

$$MVA_{150 \text{ kV}} = MVA_{20 \text{ kV}}$$

$$\frac{kV1^2}{Z1} = \frac{kV2^2}{Z2}$$

$$Z2 = \frac{kV2^2}{kV1^2} \times Z1$$

Sehingga:

$$X_{s(20 \text{ kV})} = \frac{kV(\text{sisi sekunder})^2}{kV(\text{sisi primer})^2} \times X_{s(150 \text{ kV})}$$

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

$$= 0,097 \Omega$$

4.2.2 Menghitung Reaktansi Transformator

Dari data dan spesifikasi alat sebelumnya, transformator 1 pada gardu induk bantul 150 kV memiliki nilai impedansi sebesar 12,35%, dengan menggunakan nilai impedansi tersebut dapat dicari besarnya nilai reaktansi urutan positif dan negatif serta reaktansi urutan nol. Namun, sebelum itu perlu diketahui terlebih dahulu nilai ohm pada 100% nya.

$$X_{t(\text{ada } 100\%)} = \frac{kV(\text{sisisekunder})^2}{MVA \text{ Transformator}}$$

$$= \frac{20^2}{60} = 6,67 \Omega$$

Maka besarnya nilai reaktansi urutan positif dan negatif serta reaktansi urutan nol adalah sebagai berikut:

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

$$X_t = \text{Impedansi} \times X_{t(100\%)}$$

$$= 12,35\% \times 6,67 \Omega = 0,8237 \Omega$$

- Reaktansi urutan nol (X_{t0})

Berdasarkan data dan spesifikasi alat, transformator 1 memiliki *vector group* YN yn0 (d11). Artinya, dalam transformator tersebut tidak terdapat belitan delta didalamnya sehingga reaktansi urutan nol diasumsikan berkisar antara 9 s.d 14 x X_{t1} . Kemudian diambil nilai sebesar 10 x X_{t1} . Maka $X_{t0} = 10 \times 0,8237 \Omega = 8,237 \Omega$

4.2.3 Menghitung Impedansi Penyulang

Dari tabel 4.3, penyulang BNL 1 gardu induk bantul 150 kV menggunakan 1 (satu) jenis penghantar yaitu AAAC dengan diameter 240 mm² dengan panjang jaringan sejauh 5,7 Km, maka:

$$Z_1=Z_2(\text{AAAC } 240) = \text{Impedansi urutan positif/negatif} \times \text{panjang jaringan}$$

$$Z_1=Z_2 = (0,1344 + j 0,3158) \Omega/\text{Km} \times 5,7 \text{ Km}$$

$$Z_1\&Z_2 = 0,766 + j 1,80 \Omega$$

Sedangkan nilai Z_0 nya adalah sebagai berikut:

Z_0 (AAAC 240 mm²)= Impedansi urutan nol x panjang jaringan

$$Z_0 = (0,2824 + j 1,6033) \Omega/\text{Km} \times 5,7 \text{ Km}$$

$$Z_0 = 1,609 + j 9,1388 \Omega$$

Dari nilai-nilai diatas diasumsikan titik-titik gangguan yang terjadi adalah 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% dari panjang jaringan maka dapat diketahui besarnya impedansi penyulang yaitu:

- Impedansi penyulang urutan positif dan negatif

Tabel 4.6 Impedansi Penyulang Urutan Positif dan Negatif.

Panjang jaringan %	Jarak (Km)	Prhitungan	Impedansi penyulang Z_1 & Z_2
0	0	0% x (0,766 + j 1,80)	0
25	1,425	25% x (0,766 + j 1,80)	0,1915 + j 0,45 Ω
50	2,85	50% x (0,766 + j 1,80)	0,383 + j 0,9 Ω
75	4,275	75 % x (0,766 + j 1,80)	0,5745 + j 1,35 Ω
100	5,7	100% x (0,766 + j 1,80)	0,766 + j 1,8 Ω

- Impedansi penyulang urutan nol

Tabel 4.7 Impedansi Penyulang Urutan Nol.

Panjang jaringan %	Jarak (Km)	Perhitungan	Impedansi penyulang Z_0
0	0	0% x (1,609 + j 9,1388)	0
25	1,425	25% x (1,609 + j 9,1388)	0,4022 + j 2,2847 Ω
50	2,85	50% x (1,609 + j 9,1388)	0,8045 + j 4,5694 Ω
75	4,275	75 % x (1,609 + j 9,1388)	1,2067 + j 6,8541 Ω
100	5,7	100% x (1,609 + j 9,1388)	1,609 + j 9,1388 Ω

4.2.4 Menghitung Impedansi Ekuivalen Jaringan

Perhitungan $Z_{1eq} = Z_{2eq}$ dengan rumus:

$$\begin{aligned} Z_{1eq} = Z_{2eq} &= Z_{is} \text{ (sisi 20 kV)} + Z_{iT} + Z_1 \text{ penyulang} \\ &= j 0,097 + j 0,8237 + Z_1 \text{ penyulang} \end{aligned}$$

$$= j 0,9207 + Z1 \text{ penyulang}$$

Maka Impedansi ekuivalen $Z1_{eq}$ dan $Z2_{eq}$ adalah:

Tabel 4.8 Impedansi ekuivalen $Z1_{eq}$ dan $Z2_{eq}$.

Panjang jaringan %	Perhitungan	Impedansi ekuivalen $Z1_{eq}$ dan $Z2_{eq}$
0	$0 + j 0,9207$	$0 + j 0,9207$
25	$0,1915 + j 0,45 + j 0,9207$	$0,1915 + j 1,3707$
50	$0,383 + j 0,9 + j 0,9207$	$0,383 + j 1,8207$
75	$0,5745 + j 1,35 + j 0,9207$	$0,5745 + j 2,2707$
100	$0,766 + j 1,8 + j 0,9207$	$0,766 + j 2,7207$

Perhitungan $Z0_{eq}$, besarnya nilai $Z0_{eq}$ dapat dicari dengan rumus berikut:

$$\begin{aligned} Z0_{eq} &= Z0_T + 3 \times R_n + Z0 \text{ penyulang} \\ &= j 8,237 + 3 \times 0,3 + Z0 \text{ penyulang} \\ &= j 8,237 + 0,9 + Z0 \text{ penyulang} \end{aligned}$$

Tabel 4.9 Impedansi ekuivalen $Z0_{eq}$.

Panjang jaringan %	Perhitungan	Impedansi ekuivalen $Z0_{eq}$
0	$0 + 0,9 + j 8,237$	$0,9 + j 8,237$
25	$0,4022 + j 2,2847 + 0,9 + j 8,237$	$1,3022 + j 10,5217$
50	$0,8045 + j 4,5694 + 0,9 + j 8,237$	$1,7045 + j 12,8064$
75	$1,2067 + j 6,8541 + 0,9 + j 8,237$	$2,1067 + j 15,0911$
100	$1,609 + j 9,1388 + 0,9 + j 8,237$	$2,509 + j 17,3758$

4.2.5 Menghitung Arus Hubung Singkat

1. Gangguan Arus Hubung Singkat 3 Fasa

Besarnya nilai arus hubung singkat 3 fasa dapat ditentukan dengan rumus:

$$I = V/Z$$

Dimana:

I = Arus gangguan hubung singkat

V = Tegangan fasa-netral sistem 20 kV (V_{ph}) = $\frac{20000}{\sqrt{3}}$

Z = Impedansi urutan positif ($Z1_{eq}$)

Sehingga, arus gangguan hubung singkat 3 fase adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 I_{3\text{fasa}} &= \frac{V_{ph}}{Z_{1eq}} \\
 &= \frac{20000/\sqrt{3}}{Z_{1eq}} \\
 &= \frac{11547}{Z_{1eq}}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.10 Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa.

Panjang jaringan %	Perhitungan	Arus gangguan hubung singkat 3 fasa
0	$\frac{11547}{0+j 0,9207} = \frac{11547}{\sqrt{0^2+0,9207^2}}$	12541,5
25	$\frac{11547}{0,1915+j 1,3707} = \frac{11547}{\sqrt{0,1915^2+1,3707^2}}$	7391,5
50	$\frac{11547}{0,383+j 1,8207} = \frac{11547}{\sqrt{0,383^2+1,8207^2}}$	5239,8
75	$\frac{11547}{0,5745+j 2,2707} = \frac{11547}{\sqrt{0,5745^2+2,2707^2}}$	4058,4
100	$\frac{11547}{0,766+j 2,7207} = \frac{11547}{\sqrt{0,766^2+2,7207^2}}$	3311,7

2. Gangguan Arus Hubung Singkat 2 Fasa

$$\begin{aligned}
 I_{2\text{fasa}} &= \frac{V_{ph-ph}}{Z_{1eq}+Z_{2eq}} \\
 &= \frac{20000}{2xZ_{1eq}}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.11 Gangguan Arus Hubung Singkat 2 Fasa.

Panjang jaringan %	Perhitungan	Arus gangguan hubung singkat 2 fasa
0	$\frac{20000}{2x(0+j 0,9207)} = \frac{20000}{2x\sqrt{0^2+0,9207^2}}$	10861,3
25	$\frac{20000}{2x(0,1915+j 1,3707)} = \frac{20000}{2x\sqrt{0,1915^2+1,3707^2}}$	6401,2

50	$\frac{20000}{2x(0,383+j1,8207)} = \frac{20000}{2x\sqrt{0,383^2+1,8207^2}}$	4537,8
75	$\frac{20000}{2x(0,5745+j2,2707)} = \frac{20000}{2x\sqrt{0,5745^2+2,2707^2}}$	3514,7
100	$\frac{20000}{2x(0,766+j2,7207)} = \frac{20000}{2x\sqrt{0,766^2+2,7207^2}}$	2868,1

3. Gangguan Arus Hubung Singkat 1 Fasa Tanah

$$\begin{aligned}
 I_{1\text{fasa tanah}} &= \frac{3xV_{ph}}{Z1eq+Z2eq+Z0eq} \\
 &= \frac{3x\frac{20000}{\sqrt{3}}}{2xZ1eq+Z0eq} \\
 &= \frac{34641,016}{2xZ1eq+Z0eq}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.12 Gangguan Arus Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah.

Panjang jaringan %	Perhitungan	Arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah
0	$\frac{34641,016}{2x(0+j0,9207) + (0,9+j8,237)}$	3155,4
25	$\frac{34641,016}{2x(0,1915+j1,3707) + (1,3022+j10,5217)}$	2317,4
50	$\frac{34641,016}{2x(0,383+j1,8207) + (1,7045+j12,8064)}$	1831,1
75	$\frac{34641,016}{2x(0,5745+j2,2707) + (2,1067+j15,0911)}$	1513,5
100	$\frac{34641,016}{2x(0,766+j2,7207) + (2,509+j17,378)}$	1289,7

Besarnya nilai gangguan arus hubung singkat 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa tanah dapat digunakan untuk mencari nilai dari *setting* rele yang digunakan baik itu rele arus lebih maupun rele gangguan tanah yang ada pada sisi *incoming* dan penyulang. Berikut adalah perbandingan nilai arus gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa tanah terhadap titik lokasi gangguan.

Tabel 4.13 Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa, 2 Fasa, dan 1 Fasa ke Tanah.

Panjang jaringan (%)	Jarak (Km)	Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa	Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa	Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Tanah
0	0	12541,5	10861,3	3155,4
25	1,425	7391,5	6401,2	2317,4
50	2,85	5239,8	4537,8	1831,1
75	4,275	4058,4	3514,7	1513,5
100	5,7	3311,7	2868,1	1289,7

Dari tabel 4.12 arus gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa tanah dapat diketahui bahwa besarnya arus gangguan hubung singkat berbanding terbalik dengan jarak atau panjang jaringan dimana semakin jauh jarak titik gangguan maka semakin kecil semakin kecil pula nilai arus gangguan hubung singkatnya. Sebagai contoh pada saat arus gangguan hubung singkat 3 fasa di titik 0% atau jarak 0 Km arus gangguannya sebesar 12541,5 A, kemudian pada titik 50% atau jarak 2,85 Km arus gangguan mengecil sebesar 5239,8 dan terus mengecil hingga titik 100%. Hal serupa terjadi pada arus gangguan hubung singkat 2 fasa dan 1 fasa tanah. Selain itu arus gangguan hubung singkat 3 fasa lebih besar dari arus gangguan hubung singkat 2 fasa dan begitu pula arus gangguan hubung singkat 1 fasa tanah.

4.3 Perhitungan Setting Rele Arus Lebih dan Gangguan Tanah

Diketahui pada penyulang BNL 1 Transformator 1 (trafo 1) Gardu Induk Bantul arus yang terpasang mempunyai rasio 800 : 5 A, dengan arus beban maksimum pada penyulang sebesar 5 A dan karakteristik *standard inverse*.

4.3.1 Setting Rele Sisi Penyulang 20 kV

Besarnya nilai *setting* rele di sisi penyulang ditentukan oleh arus beban maksimum serta rasio pada penyulang. Rele dengan karakteristik *standard inverse* biasanya disetting sebesar 1,05 sampai dengan $1,1 \times I_{load\ maks.}$ Persyaratan lain

adalah *setting* waktu kerja sisi hilir (waktu minimum rele) sebesar 0,3 detik, hal ini dimaksudkan agar rele tidak akan *trip* akibat adanya arus *inrush* dari transformator-transformator distribusi yang terkoneksi di jaringan distribusi pada saat PMT penyulang tersebut dimasukkan.

1. Nilai *Setting* Rele Arus Lebih

-Setelan Arus

Diketahui:

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

$$\text{Rasio CT} = 800 : 5 \text{ Ampere}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{set (primer)}} &= 1,1 \times I_{\text{beban}} \\ &= 1,1 \times 480 \text{ A} \\ &= 528 \text{ A} \end{aligned}$$

Nilai tersebut adalah nilai pada sisi primer, sedangkan nilai *setting* pada sisi sekundernya dapat dicari dengan cara berikut:

$$\begin{aligned} I_{\text{set (sekunder)}} &= I_{\text{set (primer)}} \times \frac{1}{\text{Rasio CT}} \\ &= 528 \text{ A} \times \frac{1}{800/5} \text{ A} \\ &= 528 \text{ A} \times \frac{5}{800} \text{ A} \\ &= 3,3 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

-Setelan TMS (*Time Multilexer Setting*)

Arus gangguan hubung singkat 3 fasa sisi penyulang yang diambil adalah pada titik lokasi gangguan 0% panjang saluran dengan waktu ketetapan t sebesar 0,3 detik. Maka, setelah diketahui nilai ketetapan $t=0,3$ detik dapat diketahui nilai TMS sebagai berikut:

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

$$\begin{aligned}
 TMS &= \frac{t \times \left(\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} \\
 &= \frac{0,3 \times \left(\left(\frac{I_{Gangguan\ hubung\ singkat\ 3\ fasa}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} \\
 &= \frac{0,3 \times \left(\left(\frac{12541,5}{528} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}
 \end{aligned}$$

$$TMS = 0,1401$$

2. Rele Gangguan Tanah

-Setelan Arus

Untuk mencari nilai *setting* primer rele gangguan tanah dengan cara 10% x arus gangguan 1 fasa ke tanah terkecil. Dimana arus gangguan terkecil terletak di lokasi gangguan 100% maka:

$$\begin{aligned}
 I_{set\ (primer)} &= 10\% \times \text{Arus Gangguan 1 Fasa Tanah (titik 100\%)} \\
 &= 10\% \times 1289,7\ \text{A} \\
 &= 128,97\ \text{A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{set\ (sekunder)} &= I_{set\ (primer)} \times \frac{1}{Rasio\ CT} \\
 &= 128,97\ \text{A} \times \frac{1}{800/5} \\
 &= 128,97\ \text{A} \times \frac{5}{800} \\
 &= 0,806\ \text{A}
 \end{aligned}$$

-Setelan TMS (*Time Multilexer Setting*)

Sama dengan sebelumnya waktu ketetapan *t* yang digunakan sebesar 0,3 detik sehingga besarnya nilai TMS:

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

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

$$= \frac{0,3 \times \left(\left(\frac{I_{\text{Gangguan hubung singkat 1 fasa tanah}}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1\right)}{0,14}$$

$$= \frac{0,3 \times \left(\left(\frac{3155,4}{128,97}\right)^{0,02} - 1\right)}{0,14}$$

$$TMS = 0,1415$$

Tabel 4.14 *Setting* OCR dan GFR terhitung sisi penyulang.

Rele Penyulang	<i>Setting</i> Hasil Perhitungan	
OCR	TMS	0,1401
	Rasio CT	800/5
	t (s)	0,29
	I set primer	528 A
	I set sekunder	3,3 A
GFR	TMS	0,1415
	Rasio CT	800/5
	t (s)	0,29
	I set primer	128,97 A
	I set sekunder	0,806 A

4.3.2 *Setting* Rele Sisi *Incoming* 20 kV

Berbeda dengan sisi penyulang, pada sisi *incoming* 20 kV diperlukan nilai arus nominal dalam menentukan *setting* relenya.

Data yang diperoleh:

Kapasitas transformator	:60 MVA
Tegangan transformator	:150/20 kV
Impedansi	:12,35%
CT/Rasio	:2000/5 A

1. *Setting* Rele Arus Lebih

-Setelan Arus

Arus nominal trafo pada sisi 20 kV

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

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

Nilai I sekunder adalah:

$$\begin{aligned} I_{\text{set (sekunder)}} &= I_{\text{set (primer)}} \times \frac{1}{\text{Rasio CT}} \\ &= 1905,2 \times \frac{1}{2000/5} \\ &= 1905,2 \times \frac{5}{2000} \\ &= 4,763 \text{ A} \end{aligned}$$

-Setelan TMS (*Time Multilexer Setting*)

Perbedaan yang signifikan antara penentuan *setting* rele sisi penyulang dengan *incoming* adalah pada setelan TMSnya dimana untuk sisi *incoming* waktu kerja rele yang digunakan waktu kerja sisi penyulang (awal)+0,4 detik, sehingga besarnya nilai waktu kerja rele *incoming* adalah:

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

$$\begin{aligned} \text{TMS} &= \frac{t \times \left(\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} \\ &= \frac{0,3 \times \left(\left(\frac{I_{\text{Gangguan hubung singkat 3 fasa}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} \\ &= \frac{0,7 \times \left(\left(\frac{12541,5}{1905,3} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} \\ &= 0,192 \end{aligned}$$

2. Rele Gangguan Tanah

-Setelan Arus

Agar rele gangguan tanah sisi *incoming* lebih peka atau cepat merasakan gangguan sesuai dengan sifatnya sebagai *backup* setelah rele sisi penyulang maka dalam menentukan *setting* nya dibuat lebih kecil yaitu 8% x arus gangguan 1 fasa ke tanah terkecil yaitu pada lokasi 100% .

$$\begin{aligned} I_{\text{set (primer)}} &= 8\% \times \text{gangguan } 100\% \text{ panjang penyulang} \\ &= 8\% \times 1289,7 \text{ A} \\ &= 103,176 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{set (sekunder)}} &= I_{\text{set (primer)}} \times \frac{1}{\text{Rasio CT}} \\ &= 103,176 \text{ A} \times \frac{1}{800/5} \text{ A} \\ &= 103,176 \text{ A} \times \frac{5}{800} \text{ A} \\ &= 0,648 \text{ A} \end{aligned}$$

-Setelan TMS (*Time Multilexer Setting*)

Nilai waktu kerja rele yang digunakan sisi *incoming* sebesar waktu kerja rele penyulang (awal atau hilir)+0,4 detik, sehingga:

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

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

$$\begin{aligned} TMS &= \frac{t \times \left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \\ &= \frac{0,7 \times \left(\frac{I_{\text{Gangguan hubung singkat 1 fasa tanah}}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \\ &= \frac{0,7 \times \left(\frac{3155,4}{103,176}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \\ &= 0,354 \end{aligned}$$

Tabel 4.15 *Setting* OCR dan GFR terhitung sisi *incoming*.

<i>Rele Incoming</i>	<i>Setting Hasil Perhitungan</i>	
OCR	TMS	0,192
	Rasio CT	2000/5
	t (s)	0,69
	I set primer	1905,2 A
	I set sekunder	4,763 A
GFR	TMS	0,345
	Rasio CT	800/5
	t (s)	0,69
	I set primer	103,176 A
	I set sekunder	0,648 A

4.4 Pemeriksaan Waktu Kerja Rele

Rele yang digunakan memiliki karakteristik *standard inverse* maka besarnya nilai pemeriksaan waktu kerja rele disetiap titik lokasi gangguan 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% dapat diuraikan dengan rumus:

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

1. Pemeriksaan Waktu Kerja Rele pada Gangguan 3 Fasa

Tabel 4.16 Pemeriksaan Waktu Kerja Rele pada Gangguan 3 Fasa.

Pemeriksaan Waktu Kerja Rele pada Gangguan 3 Fasa		
Lokasi (%)	Sisi Penyulang (s)	Sisi Incoming (s)
0	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1401}{\left(\frac{12541,5}{528}\right)^{0,02} - 1} = 0,29$	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,192}{\left(\frac{12541,5}{1905,2}\right)^{0,02} - 1} = 0,69$
25	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1401}{\left(\frac{7391,5}{528}\right)^{0,02} - 1} = 0,36$	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,192}{\left(\frac{7391,5}{1905,2}\right)^{0,02} - 1} = 0,97$
50	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1401}{\left(\frac{5239,8}{528}\right)^{0,02} - 1} = 0,41$	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,192}{\left(\frac{5239,8}{1905,2}\right)^{0,02} - 1} = 1,315$
75	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1401}{\left(\frac{4058,4}{528}\right)^{0,02} - 1} = 0,47$	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,192}{\left(\frac{4058,4}{1905,2}\right)^{0,02} - 1} = 1,76$
100	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1401}{\left(\frac{3311,7}{528}\right)^{0,02} - 1} = 0,52$	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,192}{\left(\frac{3311,7}{1905,2}\right)^{0,02} - 1} = 2,41$

Tabel berikut merupakan rekapitulasi dari pemeriksaan waktu kerja rele pada gangguan 3 fasa baik sisi *incoming* maupun sisi penyulang di titik gangguan lokasi 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%.

Tabel 4.17 Pemeriksaan Waktu Kerja Rele Gangguan 3 Fasa.

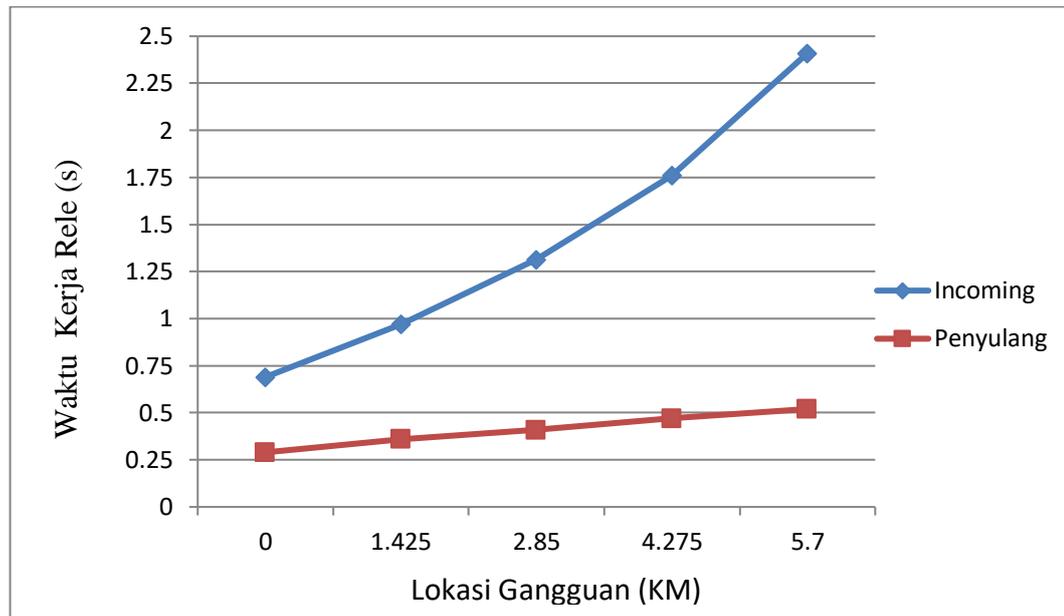
Pemeriksaan Waktu Kerja Rele Gangguan 3 Fasa			
Lokasi Gangguan (%)	Waktu Kerja Rele <i>Incoming</i> (detik)	Waktu Kerja Rele Penyulang (detik)	Selisish Waktu (detik)
0	0,69	0,29	0,4
25	0,97	0,36	0,61
50	1,31	0,41	0,9
75	1,76	0,47	1,29
100	2,41	0,52	1,89

Dapat dilihat bahwa waktu kerja rele sisi penyulang lebih cepat dari pada waktu kerja rele sisi *incoming* pada setiap titik lokasi gangguan. Saat gangguan berada di lokasi 0% waktu kerja rele penyulang 0,29 detik sedangkan waktu kerja rele *incoming* 0,69 detik sehingga selisinya 0,4 detik.

Begitu pula selanjutnya saat lokasi gangguan semakin jauh, saat lokasi gangguan 50% waktu kerja rele penyulang 0,41 detik dan rele *incoming* 1,31 detik sehingga memiliki perbedaan waktu 0,9.

Artinya rele sisi penyulang adalah rele yang pertama kali merasakan gangguan atau merupakan rele utama sedangkan rele *incoming* sebagai rele cadangan yang merasakan setelah rele penyulang.

Berdasarkan tabel diatas dapat dibuat kurva hubungan lokasi gangguan terhadap waktu kerja rele.



Gambar 4.3 Kurva Hubungan Lokasi Gangguan dengan Waktu Kerja Rele Arus Gangguan 3 fasa.

Dari kurva hubungan diatas dapat dilihat bahwa rele *incoming* diberi tanda berwarna biru dan rele penyulang ditandai warna merah, berdasarkan kurva itu pula dapat diketahui bahwa waktu kerja rele penyulang lebih cepat dari pada rele *incoming*.

Selain itu, waktu kerja untuk rele sisi *incoming* maupun penyulang semakin jauh titik lokasi gangguan (0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%) maka semakin besar atau lama pula waktu kerja relenya sehingga grafik yang terbentuk adalah dari kiri bawah menuju kanan atas.

2. Pemeriksaan Waktu Kerja Rele pada Gangguan 2 Fasa

Tabel 4.18 Pemeriksaan Waktu Kerja Rele pada Gangguan 2 Fasa.

Pemeriksaan Waktu Kerja Rele pada Gangguan 2 Fasa		
Lokasi (%)	Sisi Penyulang	Sisi Incoming
0	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1401}{\left(\frac{10861,3}{528}\right)^{0,02} - 1} = 0,31$	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,192}{\left(\frac{10861,3}{1905,2}\right)^{0,02} - 1} = 0,75$
25	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1401}{\left(\frac{6401,2}{528}\right)^{0,02} - 1} = 0,38$	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,192}{\left(\frac{6401,2}{1905,2}\right)^{0,02} - 1} = 1,095$
50	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1401}{\left(\frac{4537,8}{528}\right)^{0,02} - 1} = 0,44$	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,192}{\left(\frac{4537,8}{1905,2}\right)^{0,02} - 1} = 1,535$
75	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1401}{\left(\frac{3514,7}{528}\right)^{0,02} - 1} = 0,507$	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,192}{\left(\frac{3514,7}{1905,2}\right)^{0,02} - 1} = 2,181$
100	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1401}{\left(\frac{2868,1}{528}\right)^{0,02} - 1} = 0,567$	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,192}{\left(\frac{2868,1}{1905,2}\right)^{0,02} - 1} = 3,272$

Tabel 4.19 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	1,09	0,38	0,71
50	1,53	0,44	1,09
75	2,18	0,507	1,68
100	3,27	0,56	2,71

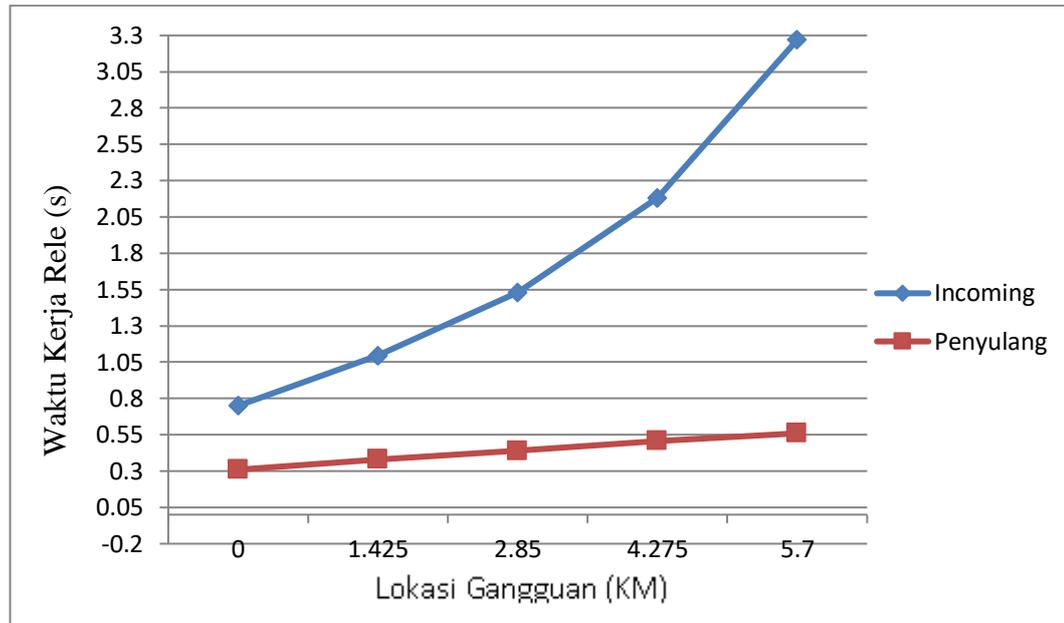
Diatas adalah tabel pemeriksaan waktu kerja rele untuk arus gangguan 2 fasa, sama dengan arus gangguan 3 fasa, pada gangguan 2 fasa ini waktu kerja rele sisi penyulang lebih cepat dibandingkan rele sisi *incoming*.

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 0,44 detik dan waktu kerja rele *incoming* 1,53 detik,

Begitu seterusnya saat titik lokasi gangguan 75% waktu kerja rele penyulang 0,507 detik sedangkan waktu kerja rele *incoming* 2,18 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 kurvanya sebagai berikut:



Gambar 4.4 Kurva Hubungan Lokasi Gangguan dengan Waktu Kerja Rele Arus Gangguan 2 Fasa.

Dari kurva hubungan lokasi gangguan dengan waktu kerja rele arus gangguan 2 fasa diatas dapat dilihat bahwa lokasi gangguan berbanding lurus dengan waktu kerja kedua rele, artinya semakin jauh titik lokasi gangguan yang terjadi maka semakin lama atau tinggi pula waktu kerjanya.

Sehingga bentuk kurva yang ada dari kiri bawah ke kanan atas karena semakin tinggi waktunya. Untuk waktu kerja rele penyulang, dari kurva sedikit mendatar hal ini karena waktu kerja rele penyulang meningkat sedikit tidak terlalu besar saat semakin jauh titik lokasi gangguan.

3. Pemeriksaan Waktu Kerja Rele pada Gangguan 1 Fasa ke Tanah

Tabel 4.20 Pemeriksaan Waktu Kerja Rele pada Gangguan 1 Fasa ke Tanah.

Pemeriksaan Waktu Kerja Rele pada Gangguan 1 Fasa ke Tanah		
Lokasi (%)	Sisi Penyulang	Sisi Incoming
0	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1415}{\left(\frac{3155,4}{128,97}\right)^{0,02} - 1} = 0,29$	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,345}{\left(\frac{3155,4}{103,176}\right)^{0,02} - 1} = 0,68$
25	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1415}{\left(\frac{2317,4}{128,97}\right)^{0,02} - 1} = 0,33$	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,345}{\left(\frac{2317,4}{103,176}\right)^{0,02} - 1} = 0,752$
50	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1415}{\left(\frac{1831,1}{128,97}\right)^{0,02} - 1} = 0,363$	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,345}{\left(\frac{1831,1}{103,176}\right)^{0,02} - 1} = 0,815$
75	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1415}{\left(\frac{1513,5}{128,97}\right)^{0,02} - 1} = 0,392$	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,345}{\left(\frac{1513,5}{103,176}\right)^{0,02} - 1} = 0,875$
100	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,1415}{\left(\frac{1289,7}{128,97}\right)^{0,02} - 1} = 0,42$	$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,345}{\left(\frac{1289,7}{103,176}\right)^{0,02} - 1} = 0,932$

Tabel 4.21 Pemeriksaan Waktu Kerja Rele Gangguan 1 Fasa ke Tanah.

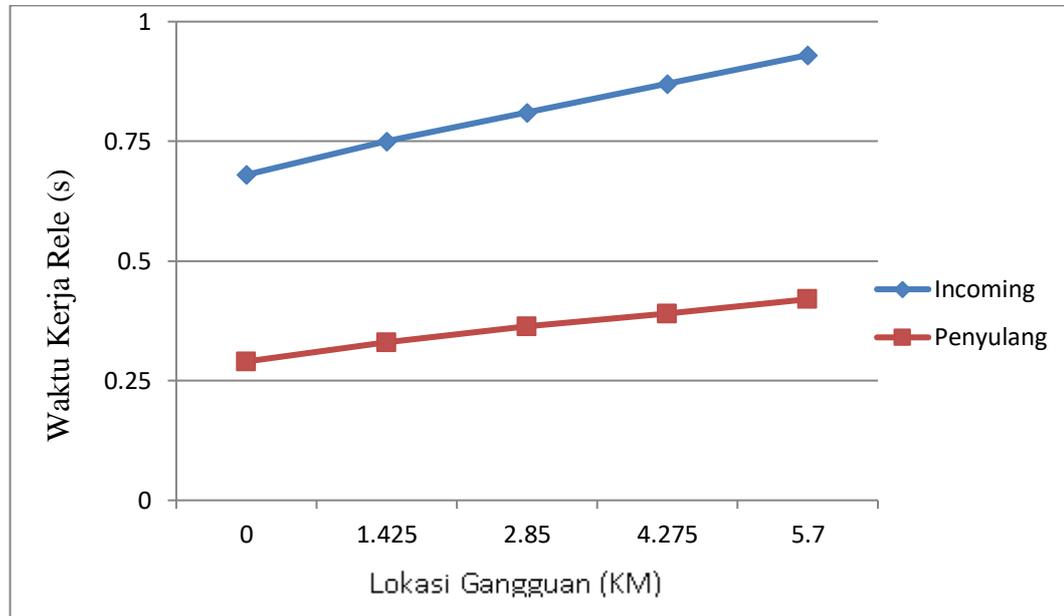
Pemeriksaan Waktu Kerja Rele Gangguan 1 Fasa ke Tanah			
Lokasi Gangguan (%)	Waktu Kerja Rele <i>Incoming</i> (detik)	Waktu Kerja Rele Penyulang (detik)	Selisish Waktu (detik)
0	0,68	0,29	0,39
25	0,75	0,33	0,42
50	0,81	0,36	0,45
75	0,87	0,39	0,48
100	0,93	0,42	0,51

Dari tabel 4.21 Pemeriksaan waktu kerja rele gangguan 1 fasa ke tanah dapat diketahui bahwa waktu kerja rele penyulang lebih cepat dibandingkan waktu kerja rele *incoming* hal ini karena rele penyulang merupakan rele utama yang merasakan gangguan sedangkan rele *incoming* merupakan rele cadangan.

Dapat diperhatikan saat titik lokasi gangguan 0% waktu kerja rele sisi penyulang 0,29 detik dan sisi *incoming* 0,68 detik. Semakin jauh titik lokasi gangguan yang ada maka waktu kerja rele untuk kedua sisi semakin lama atau terus naik hingga pada saat titik lokasi gangguan 100% waktu kerja rele sisi penyulang 0,42 detik dan sisi *incoming* 0,93 detik.

Selisih waktu antara waktu kerja rele penyulang dengan waktu kerja rele *incoming* saat gangguan 1 fasa tanah tidak terlalu jauh sekitar 0,40 detik. Dari tabel diatas pula dapat dibuat kurva hubungan antara lokasi gangguan dengan waktu kerja rele baik itu rele sisi penyulang maupun rele sisi *incoming* pada saat gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah.

Adapun kurvanya adalah sebagai berikut ini:



Gambar 4.5 Kurva Hubungan Lokasi Gangguan dengan Waktu Kerja Rele Arus Gangguan 1 Fasa ke Tanah.

Dari kurva diatas dapat diketahui bahwa waktu kerja rele terhadap titik lokasi gangguan berbanding lurus dimana semakin panjang titik lokasi gangguan yang terjadi maka semakin lama pula waktu kerja rele aktif.

Dapat dilihat dari kurvanya yang berbentuk garis miring dari kiri bawah ke kanan atas karena waktu kerja rele yang semakin lama. Berbeda dengan kurva-lurva sebelumnya, dimana selisih waktu kerja rele di arus gangguan 1 fasa ke tanah (kurva ini) memiliki selisih waktu kerja yang paling sedikit diantara 2 kurva lainnya.

Hal ini dikarenakan hubung singkat 1 fase ke tanah harus cepat diatasi, oleh karena itu waktu kerja rele dikedua sisi tidak memiliki selisih yang signifikan.

4.5 Perbandingan *Setting* Rele OCR dan GFR Terpasang dengan Terhitung

Tabel 4.22 Perbandingan *Setting* Rele Terpasang dan Terhitung.

Nama Rele		Rele Terpasang		Rele Terhitung	
		Sisi <i>Incoming</i>	Sisi Penyulang	Sisi <i>Incoming</i>	Sisi Penyulang
OCR	TMS	0,25	0,25	0,192	0,1401
	Rasio CT	800/5	800/5	800/5	800/5
	T	0,5 (detik)	0,3 (detik)	0,69 (detik)	0,29 (detik)
GFR	TMS	0,4	0,3	0,345	0,1415
	Rasio CT	2000/5	800/5	2000/5	800/5
	T	0,5 (detik)	0,3 (detik)	0,5 (detik)	0,29 (detik)

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa nilai-nilai yang terpasang dengan yang terhitung memiliki sedikit perbedaan, dimana nilai TMS dan t (*time*) pada OCR sisi *incoming* terpasang sebesar 0,25 dan 0,5 detik sedangkan yang terhitung sebesar 0,192 dan 0,69 detik sehingga TMS dan t (*time*) memiliki selisih sekitar 0,058 dan 0,19. Begitu pula OCR pada sisi penyulang, TMS dan t (*time*) terpasang sebesar 0,25 dan 0,3 detik, sedangkan terhitung sebesar 0,1401 dan 0,29 detik memiliki selisih 0,1099 dan 0,01 detik.

Selanjutnya GFR pada sisi *incoming*, TMS dan t (*time*) terpasang sebesar 0,4 dan 0,5 detik, sedangkan terhitung sebesar 0,345 dan 0,5 detik memiliki selisih 0,055 dan 0 detik. GFR pada sisi penyulang, TMS dan t (*time*) terpasang sebesar 0,3 dan 0,3 detik, sedangkan terhitung sebesar 0,1415 dan 0,29 detik memiliki selisih 0,1585 dan 0,01 detik. Jika diperhatikan selisih yang ada pada nilai TMS tidak terlalu besar dan begitu pula dengan nilai t (*time*) nya tidak memiliki selisih yang begitu jauh, karena nilai t (*time*) ini digunakan rele untuk mem-*pick up* atau aktif ketika ganggaun dirasakan. Sehingga berdasarkan tabel tersebut dapat dikatakan bahwa koordinasi proteksi rele yang ada masih cukup bagus dan *setting* rele yang terpasang di gardu induk sudah baik.

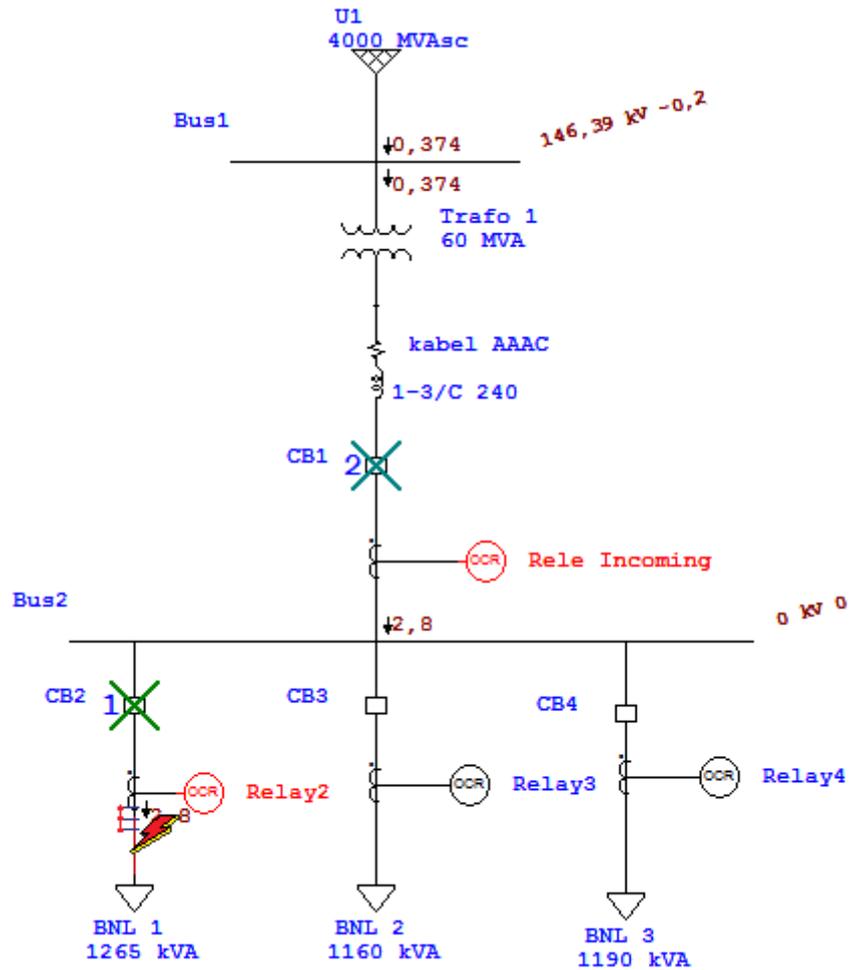
4.6 Simulasi Gangguan dengan Software Etap 12.6

Simulasi gangguan untuk kordinasi proteksi penyulang 20 kV dan proteksi pelanggan khusus tegangan menengah disini menggunakan *software etap* dengan seri 12.6, Untuk simulasi gangguan pada etap menggunakan fitur *star protective device coordination* dan *short circuit analysys*, dengan cara memberikan gangguan (*fault insertion*) pada *bus* atau jaringan yang hendak diketahui kinerja relenya.

Pada simulasi ini akan terdiri dari simulasi pada jaringan penyulang dan pada jaringan *incoming* 20 kV, dari simulasi gangguan tersebut akan dilihat bagaimana rele yang ada bekerja, apakah sudah bekerja dengan semestinya dan layak digunakan atau malah sebaliknya.

Adapun simulasi yang ada dengan membandingkan seting rele yang ada atau terpasang di Gardu Induk 150 kV Bantul dengan *setting* rele yang terhitung secara manual. Berikut ini adalah simulasi-simulasinya:

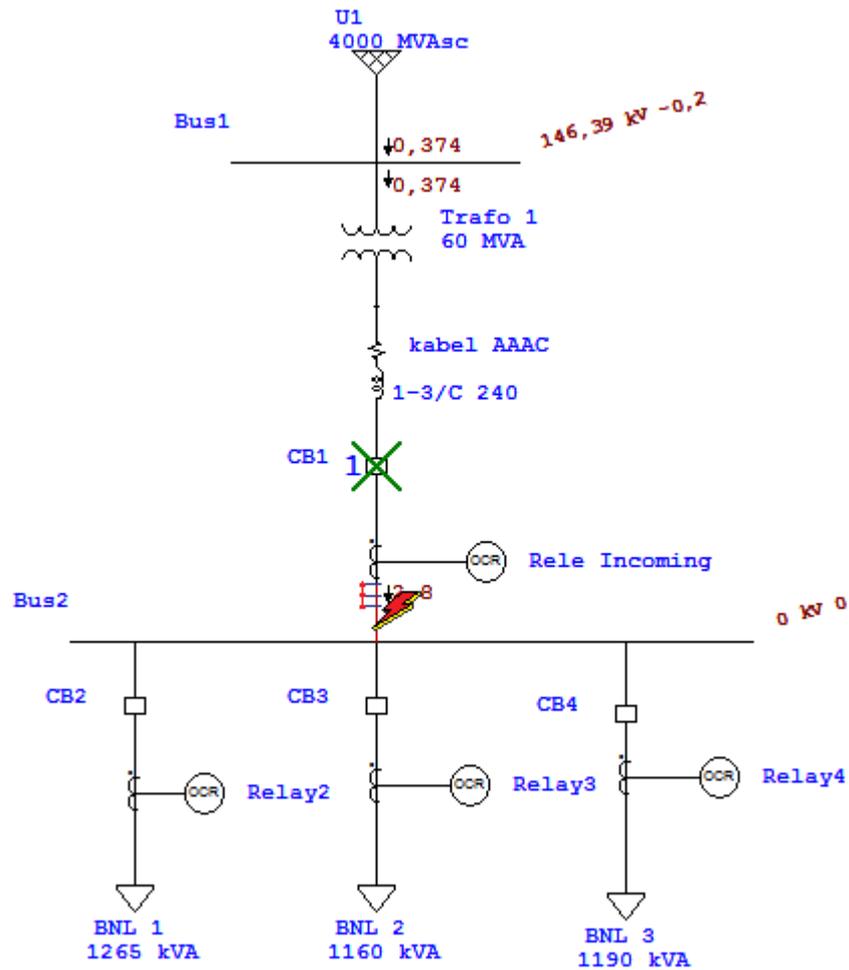
1. Simulasi Koordinasi Proteksi Sisi Penyulang (Terpasang di GI)



Gambar 4. 6 Simulasi Koordinasi Proteksi Sisi Penyulang (Terpasang di GI).

Dari gambar simulasi diatas, gangguan dilakukan pada jaringan penyulang (BNL 1), maka yang terjadi adalah rele 2 (*relay 2*) akan merasakan dan membaca besaran dari arus gangguan yang terjadi untuk kemudian memerintahkan CB 2 untuk bekerja jika arus gangguan melebihi batas *setting*. Saat arus gangguan melebihi batas *setting* maka, *relay 2* akan memerintahkan CB 2 yang merupakan CB (pemutus) yang berada terdekat dengan penyulang bekerja dari kondisi tertutup (*close*) menjadi terbuka (*open*) akibat adanya gangguan dengan waktu kerja rele 0,3 detik. Selanjutnya saat CB 2 tidak dapat mengatasi gangguan maka CB 1 akan bekerja dan men *trip* kan jaringan dengan waktu kerja rele 0,5 detik.

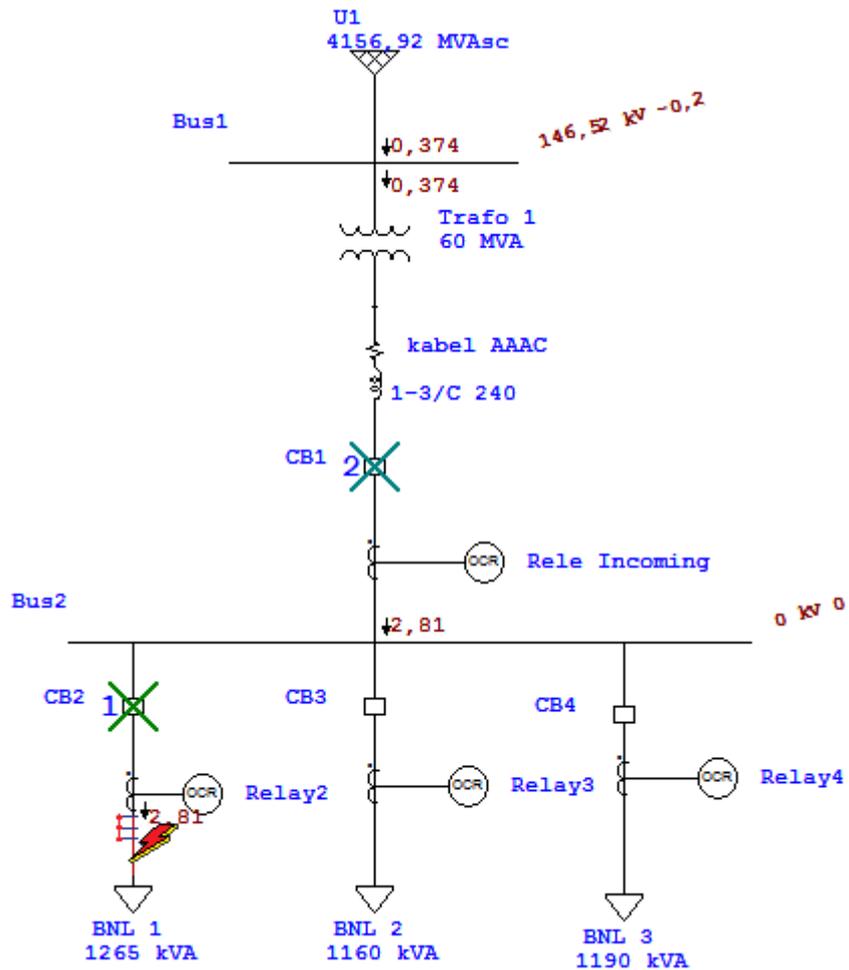
2. Simulasi Koordinasi Proteksi Sisi *Incoming* (Terpasang di GI)



Gambar 4.7 Simulasi Koordinasi Proteksi Sisi *Incoming* (Terpasang di GI).

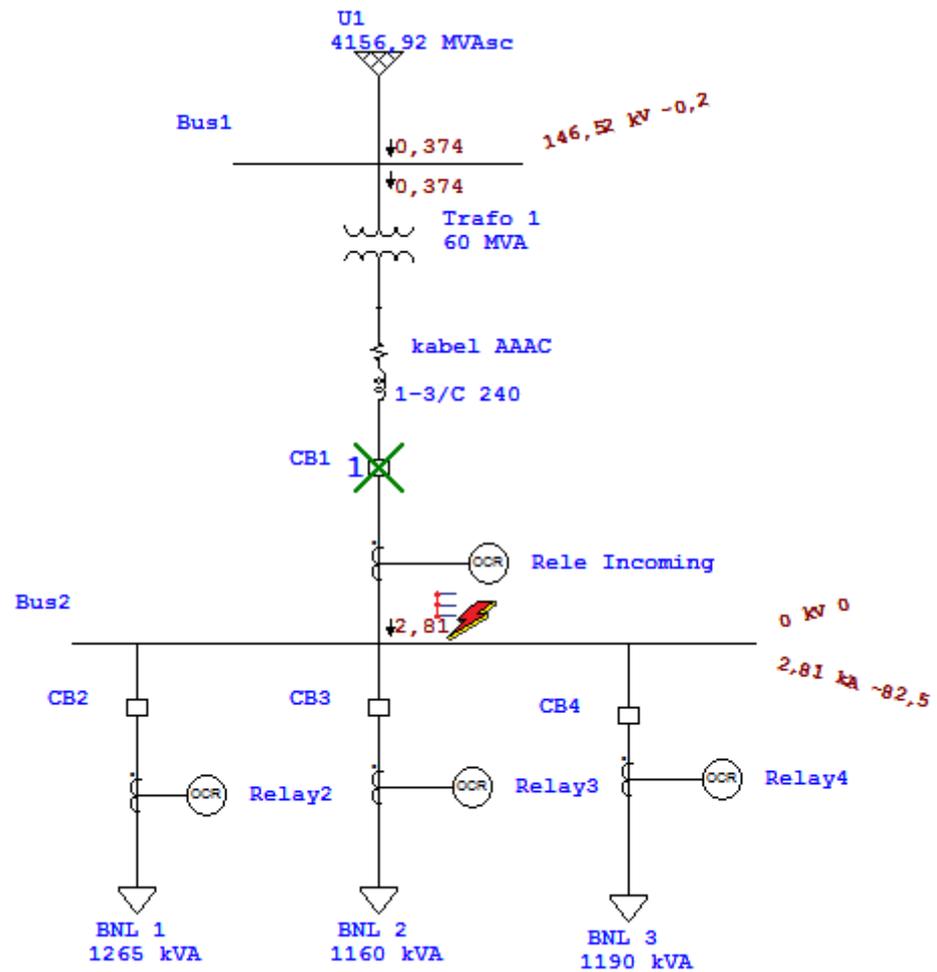
Berdasarkan gambar diatas, titik gangguan diasumsikan pada jaringan *bus* 2 atau jaringan setelah trafo 1 menuju penyulang. Ketika gangguan diberikan maka yang akan merasakan adalah *relay* 1 karena *relay* 1 merupakan pengaman terdekat saat gangguan terjadi. *Relay* 1 merasakan gangguan dan jika melebihi batas *setting* maka, *relay* 1 akan memerintahkan CB 1 untuk bekerja dari kondisi tertutup (*close*) menjadi konsisi terbuka (*open*) dengan waktu kerja rele 0,5 detik.

3. Simulasi Koordinasi Proteksi Sisi Penyulang (Terhitung Manual)



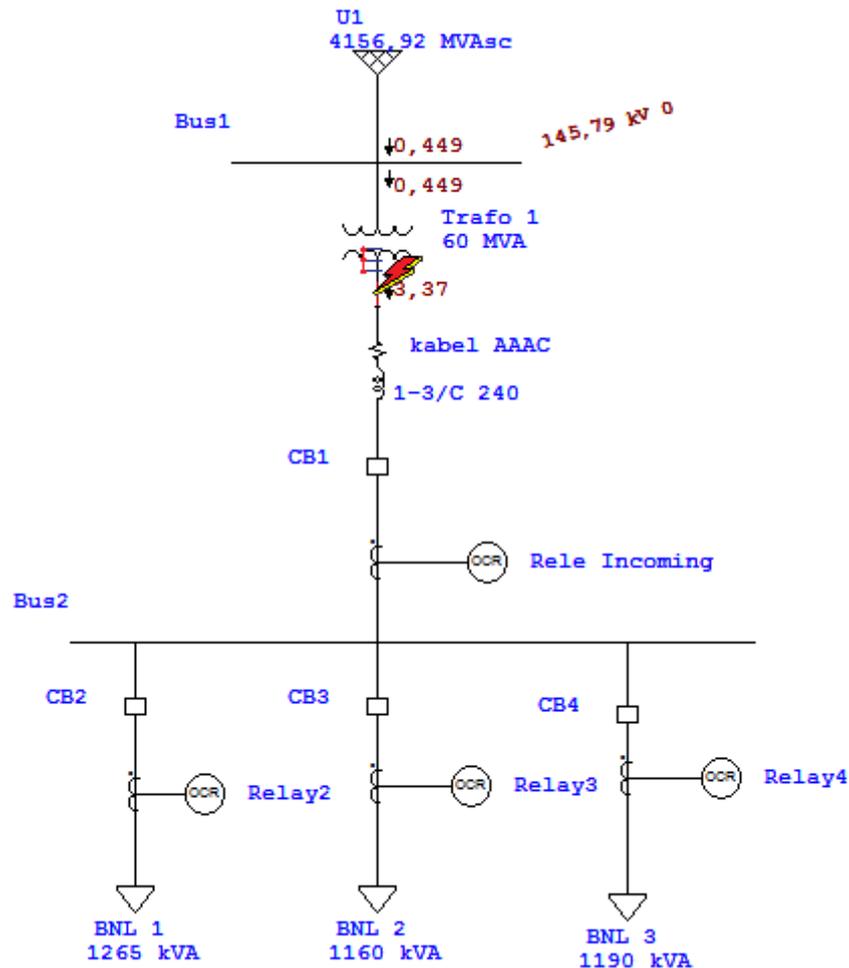
Gambar 4.8 Simulasi Koordinasi Proteksi Sisi Penyulang (Terhitung Manual).

Berdasarkan gambar diatas, simulasi dilakukan pada jaringan BNL 1 atau bus 2 atau sisi penyulang maka sama seperti sebelumnya relay 2 akan merasakan dan memerintahkan CB 2 untuk bekerja jika arus gangguan melebihi setting dengan waktu kerja 0,29 detik. Jika CB 2 tidak dapat bekerja maka relay 1 akan merasakan gangguan dan memerintahkan CB 1 untuk bekerja dari kondisi tertutup (*close*) menjadi kondisi terbuka (*open*) dalam waktu 0,69 detik.

4. Simulasi Koordinasi Proteksi Sisi *Incoming* (Terhitung Manual)Gambar 4.9 Simulasi Koordinasi Proteksi Sisi *Incoming* (Terhitung Manual).

Sama seperti sebelumnya saat gangguan diasumsikan pada jaringan *bus 2* yang dekat dengan *relay 1* maka, *relay 1* akan merasakan dan membaca gangguan. Jika nilai gangguan melebihi batas *setting* maka *relay 1* akan memerintahkan CB 1 untuk bekerja dari kondisi tertutup (*close*) menjadi kondisi terbuka (*open*) dengan waktu kerja 0,69 detik.

5. Simulasi Gangguan Pada Peralatan



Gambar 4.10 Simulasi Gangguan pada Peralatan.

Gangguan disimulasikan pada peralatan baik itu terhitung maupun terpasang di GI, dimana kondisi diatas gangguan di transformatornya. Maka yang terjadi adalah rele *incoming* atau penyulang tidak akan bekerja sehingga CB 1 dan CB 2 tidak pula memutus jaringan. Hal ini karena rele OCR dan GFR yang terpasang di *incoming* dan penyulang merupakan rele yang mendeteksi gangguan pada jaringan. Untuk mendeteksi gangguan di peralatan seperti kasus diatas menggunakan rele differensial yang akan bekerja jika terjadi ketidakseimbangan. Tetapi karena terdapat gangguan jaringan diatas *trip* tanpa memutus CB 1 dan 2.