

## **BAB IV**

### **PERHITUNGAN DAN ANALISIS DATA**

Dalam bab IV ini akan membahas mengenai perhitungan manual *setting relay* jarak berdasar data yang telah didapatkan selama melakukan penelitian di GI Bantul 150 KV, kemudian setelah didapatkan hasil dari perhitungan hasil tersebut akan dibandingkan dengan nilai *setting relay* jarak yang telah ada di GI Bantul untuk mendapatkan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

#### **4.1 Data penelitian**

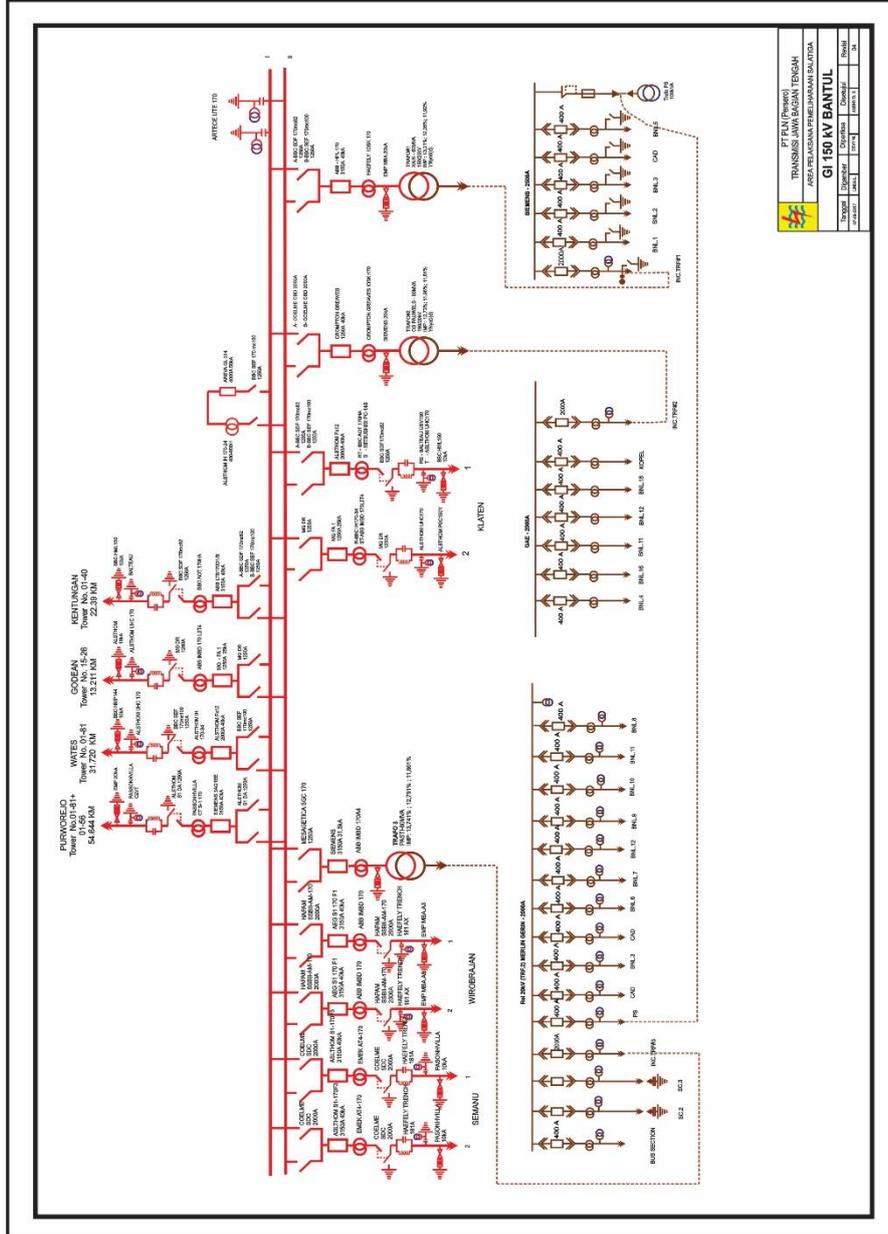
Perhitungan *setting relay* jarak membutuhkan nilai impedansi dari saluran, nilai rasio dari CT (*Current Transformator*), nilai rasio dari PT (*Potential Transformator*), panjang saluran transmisi, besaran arus dan tegangan yang digunakan. Dibawah ini adalah data yang telah didapat selama penelitian di PT. PLN Persero Gardu Induk Bantul 150KV.

Data yang didapat adalah sebagai berikut:

1. Data *singe line diagram* PLN Gardu Induk 150 KV Bantul – Wates.
2. Data spesifikasi kawat penghantar saluran transmisi.
3. Data panjang saluran transmisi.
4. Data *setting relay* jarak.
5. Data spesifikasi *relay jarak* yang digunakan.
6. Data rasio CT.
7. Data rasio PT.

Data – data diatas adalah data yang telah didapatkan selama penelitian untuk perhitungan *setting relay* jarak yang dipakai pada Gardu Induk Bantul . Data yang telah dihiitung kemudian akan dibandingkan dengan nilai *setting relay* yang terpasang pada tiap gardu dan dianalisa. Berikut adalah data lengkap yang telah didapatkan selama penelitian:

1. Data *single line diagram* PLN Gardu Induk 150 KV Bantul – Wates – Purworejo.



Gambar 4.1 *Single line diagram* GI Bantul 150 KV

*Single line diagram* diatas memperlihatkan bahwa Gardu Induk Bantul menghubungkan banyak gardu induk. Untuk *single line diagram* diatas terlihat GI Bantul terhubung dengan GI Purworejo dengan panjang 54,664 km, GI Bantul dengan GI Wates dengan panjang 31,784 km, GI Bantul dengan GI Godean dengan panjang 13,211 km, dan GI Bantul dengan GI Kentungan dengan panjang 22,390 km.

## 2. Data spesifikasi kawat penghantar saluran transmisi

Dari data yang telah didapat diketahui untuk jenis kawat penghantar yang digunakan pada saluran transmisi GI Bantul – GI Wates adalah jenis kawat penghantar berjeniskan ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*) 240/40 mm<sup>2</sup>. ACSR 240/40 mm<sup>2</sup> mempunyai spesifikasi seperti dibawah ini:

### a. Luas area kawat penghantar

- Total = 282 mm<sup>2</sup>
- Besi = 39,5 mm<sup>2</sup>
- Alumunium = 243 mm<sup>2</sup>

### b. Diameter kawat penghantar

- Inti = 8,04 mm<sup>2</sup>
- Total = 21,9 mm<sup>2</sup>

### c. Resitivitas pada suhu 20°C

- $\rho_{20^\circ\text{C}}$  = 0,1188  $\Omega/\text{km}$

### d. Jumlah pilin = 61

### e. Radius = 0,008740 m

### f. Faktor GMR = 0,772

### g. Panjang penghantar GI Bantul – GI Wates = 31,784 km

Kemudian untuk data kawat GSW (*Ground Steel Wire*) yang digunakan adalah GSW 50mm<sup>2</sup>. Dimana mempunyai spesifikasi seperti dibawah ini:

### a. Diameter = 9,6 mm

### b. Jumlah pilin = 7

### c. Resitivitas pada suhu 20°C = 12 $\mu\Omega\text{cm}$

### d. Radius = 0,0048 m

### e. Harga T<sub>o</sub> = 180°C

## 3. Data panjang saluran transmisi

- Panjang saluran transmisi GI Bantul – GI Wates = 31,784

#### 4. Data *setting relay* jarak

Dibawah ini adalah data *setting relay* jarak yang ada pada GI Bantul – GI Wates.

Jenis <i>relay</i>	:	<i>Distance relay</i>
Merek/Tipe <i>relay</i>	:	SIFANG/CSC-101
Lokasi	:	Bantul
Proteksi	:	Wates
L1, L2	:	31.784 , 23.009 Km
L3, L4	:	53.484 , 34.7652 Km
Z1	:	0.137 , 0.3966 $\Omega$ /km
Z11	:	0.137 , 0.3966 $\Omega$ /km
Z12	:	0.137 , 0.3966 $\Omega$ /km
Z0	:	0.287 + j 1.19 $\Omega$ /km
CT	:	600 / 1 Ampere
PT	:	150 KV / 100 Volt
In	:	1 A

#### 5. Data spesifikasi *relay* jarak yang digunakan

Spesifikasi *relay* jarak yang diunakan pada GI Bantul GI Wates adalah sebagai berikut:

- Merek = SIFANG
- Tipe = CSC – 101
- Tegangan kerja = 110 VDC

#### 6. Data rasio CT (*Current Transformator*)

Berikut adalah data rasio CT (*Current Transformator*) yang digunakan di GI Bantul dan GI Wates

$$\text{Rasio CT GI Bantul} = 600 / 1 \text{ A}$$

## 7. Data rasio PT (*Potential Transformator*)

Berikut adalah data rasio PT (*Potential Transformator*) yang digunakan di GI Bantul dan GI Wates

$$\text{Rasio PT GI Bantul} = 1500 / 1V$$

### 4.2 Perhitungan *Setting Relay* Jarak GI Bantul – Wates

Sebelum melakukan perhitungan *setting relay* jarak, terdapat hal – hal yang perlu dilakukan adalah menentukan nilai resistivitas dari kawat penghantar yang digunakan, nilai reaktansi dari kawat penghantar yang digunakan, induktansi dari kawat penghantar yang digunakan dan impedansi dari saluran GI Bantul – GI Wates. Setelah data diatas didapatkan maka perhitungan *setting relay* jarak baru dapat dilakukan.

#### 4.2.1 Menentukan nilai resistansi kawat penghantar

Kawat penghantar yang digunakan pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 KV GI Bantul adalah kawat penghantar dengan jenis ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*) 240/40 mm<sup>2</sup>. Untuk menentukan nilai resistivitas dari kawat penghantar, terdapat parameter yang harus digunakan. parameter berikut berupa tabel resistivitas, tabel koefisien temperatur dari bahan konduktor kawat penghantar, dan tabel konduktivitas, berikut tabelnya:

Tabel 4.1 Resistivitas( $\rho$ ) bahan konduktor

Material	Mikro – ohm – cm						
	$\rho_0$	$\rho_{20}$	$\rho_{25}$	$\rho_{50}$	$\rho_{75}$	$\rho_{80}$	$\rho_{100}$
Cu 100%	1,58	1,72	1,75	1,92	2,09	2,12	2,26
Cu 97,5%	1,63	1,77	1,80	1,97	2,14	2,18	2,31
Al 61%	2,60	2,83	2,89	3,17	3,46	3,51	3,74

Tabel 4.2 Harga – harga  $\alpha$  untuk bahan – bahan konduktor

Material	Koefisien temperatur dari tahanan $\times 10^{-3}$						
	$\alpha_0$	$\alpha_{20}$	$\alpha_{25}$	$\alpha_{50}$	$\alpha_{75}$	$\alpha_{80}$	$\alpha_{100}$
Cu 100%	4,27	3,93	3,83	3,52	3,25	3,18	2,99
Cu 97,5%	4,15	3,83	3,76	3,44	3,16	3,12	2,93
Al 61%	4,38	4,03	3,85	3,60	3,30	3,25	3,05

Tabel 4.3 Konduktivitas, resistivitas, dan temperatur pada suhu 20°C

Material	%Conductivity	$\rho_{20}^{\circ C}$		T
		Resistivity at 20°C		Temperature Constant
		$\Omega m \times 10^{-8}$	$\Omega\text{-cmil/ft}$	$^{\circ}C$
<i>Copper</i>				
<i>Annealed</i>	100%	1,72	10,37	234,5
<i>Hard-drawn</i>	97,3%	2,77	10,66	241,5
<i>Aluminium</i>				
<i>Hard-drawn</i>	61%	2,83	17	228,1
<i>Bras</i>	20-27%	6,4-8,4	38-51	480
<i>Iron</i>	17.2%	10	60	180
<i>Silver</i>	108%	1,59	9,6	243
<i>Sodium</i>	40%	4,3	26	207
<i>Steel</i>	2-14%	12-88	72-530	180-980

Dari tabel 4.1 diketahui bahwa untuk kawat penghantar jenis aluminium pada suhu 20°C mempunyai nilai resistivitas sebesar 2,83  $\mu\Omega\text{cm}$ .

$$2,83 \mu\Omega\text{cm} = 2,83 \times 10^{-11} \Omega/\text{km}$$

$$l = 1 \text{ km}$$

$$A = 240 \text{ mm}^2 = 2,40 \times 10^{-10}$$

Dari data diatas maka dapat dihitung:

$$R_{20} = 2,83 \times 10^{-11} \frac{1}{2,40 \times 10^{-10}} = 0,117916 \Omega/\text{km}$$

Karena kawat penghantar yang digunakan adalah 61 pilin, maka kawat penghantar dikalikan dengan 1,02. Sehingga:

$$R_{20} = 1,02 \times 0,117916 = 0,1202075 \text{ } \Omega/\text{km}$$

Setelah diketahui nilai resistansi pada 20°C, langkah selanjutnya mencari nilai R pada 50°C. Dimana untuk mencari nilai R<sub>50</sub> adalah dengan cara sebagai berikut:

Untuk nilai  $\alpha_{20}$  adalah  $4,03 \times 10^{-3}$ , sesuai dengan tabel koefisien temperatur tahanan pada 20°C dengan jenis konduktor Aluminium.

$$\alpha_{t_1} = \frac{1}{T_0 + t_1} \text{ atau } T_0 = \left( \frac{1}{\alpha_{t_1}} \right) - t_1$$

$$T_0 = \left( \frac{1}{\alpha_{t_1}} \right) - t_1 = \left( \frac{1}{4,03 \times 10^{-3}} \right) - 20 = 228,1389575$$

$$\begin{aligned} R_{50} &= R_{20} \frac{(T_0 + t_2)}{(T_0 + t_1)} \\ &= 0,1202075 \left( \frac{228,1389575 + 50}{228,1389575 + 20} \right) = 0,13481512 \text{ } \Omega/\text{km} \end{aligned}$$

Kemudian untuk nilai R pada 20°C GSW (*Ground Steel Wire*) 50 mm<sup>2</sup> adalah sebagai berikut:

$$R_{20} = 12 \times 10^{-11} \frac{1}{50 \times 10^{-12}} = 2,4 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$\begin{aligned} R_{50} &= R_{20} \frac{(T_0 + t_2)}{(T_0 + t_1)} = \\ &= 2,4 \left( \frac{180^\circ + 50^\circ}{180^\circ + 20^\circ} \right) \\ &= 2,76 \text{ } \Omega/\text{km} \end{aligned}$$

Jadi untuk nilai resistansi dari kawat penghantar ACSR 240/40 mm<sup>2</sup> adalah 0,13481512 Ω/km pada 50°C, dan untuk GSW adalah 2,76 Ω/km pada 50°C.

#### 4.2.2 Menentukan nilai induktansi kawat penghantar

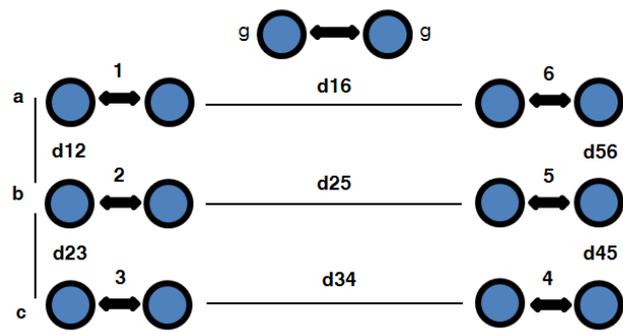
Untuk menghitung konduktansi kawat penghantar dengan jenis ACSR 240/40 mm<sup>2</sup> digunakan dua metode yaitu GMR (*Geometric Mean Radius*) dan GMD (*Geometric Mean Distance*).

Untuk saluran berjenis fasa tunggal yang menggunakan kabel berjumlah 2 berlaku:

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r'} \text{ H/m}$$

$$X = 2 \times \pi \times F \times L \Omega/\text{m}$$

Sedangkan untuk saluran ganda tiga fasa dengan kawat penghantar 2 bundle berlaku rumus seperti dibawah ini:



Gambar 4.2 Jarak kawat penghantar 2 bundle konduktor

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_{eq}}{D_{sl}} \text{ H/m} \text{ atau } L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{GMD}{GMR} \text{ H/m}$$

$$X = 2 \times \pi \times F \times L \Omega/\text{km}$$

Untuk metode GMD mempunyai ketentuan untuk menggunakan  $D_{ab}^p$ ,  $D_{bc}^p$ ,  $D_{ca}^p$ . Dimana subskrip memperlihatkan kuantitas-kuantitas ini sendiri, merupakan nilai-nilai dari GMD dengan  $D_{ab}^p$  adalah jarak antar kawat penghantar fasa a dan kawat penghantar fasa b, sehingga:

$$D_{ab}^p = D_{bc}^p = \sqrt[4]{(ab \times ab')^2}$$

$$D_{ca}^p = \sqrt[4]{(ac \times ca')^2}$$

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{ab}^p D_{bc}^p D_{ca}^p}, \text{ atau dengan rumus dibawah ini}$$

$$D_{eq} = \sqrt[12]{d_{12}d_{13}d_{15}d_{16}d_{23}d_{24}d_{26}d_{34}d_{35}d_{45}d_{46}d_{56}}$$

Sedangkan untuk GMR (*Geometric Mean Radius*) merupakan hasil dari perkalian faktor GMR dengan nilai radius dari luas kawat penghantar, dengan rumus seperti dibawah ini:

$$Radius = \sqrt[2]{\frac{L}{\pi}}$$

Jadi  $GMR = k \times r$

Dimana :

$k$  = faktor GMR

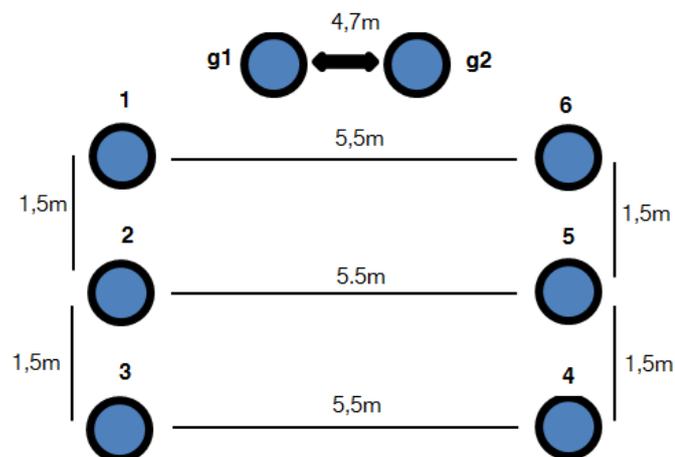
$r$  = radius konduktor

Untuk nilai faktor GMR dapat dilihat pada table 4.4 ini

Tabel 4.4 Faktor GMR

Lapisan kawat	Jumlah pilin ( <i>strands</i> )	Faktor GMR ( $k$ )
	1 ( <i>solid</i> )	0,7788
1	7	0,7256
2	19	0,7577
3	37	0,7678
4	61	0,772
5	91	0,774
6	127	0,776
7	169	0,776

Untuk jarak antar kawat fasa GI Bantul – GI Wates dapat dilihat pada gambar 4.3:



Gambar 4.3 Jarak antar kawat konduktor

Untuk data detail jarak antar kawat fasanya dapat dilihat pada table 4.5 :

Tabel 4.5 Tabel jarak antar kawat penghantar

No	Jarak antar konduktor	Panjang (m)	keterangan
1	1-2	1,5	D <sub>12</sub>
2	1-3	3	D <sub>13</sub>
3	1-4	6,26	D <sub>14</sub>
4	1-5	5,70	D <sub>15</sub>
5	1-6	5,5	D <sub>16</sub>
6	2-3	1,5	D <sub>23</sub>
7	2-4	5,70	D <sub>24</sub>
8	2-5	5,5	D <sub>25</sub>
9	2-6	5,70	D <sub>26</sub>
10	3-4	5,5	D <sub>34</sub>
11	3-5	5,70	D <sub>35</sub>
12	3-6	6,26	D <sub>36</sub>
13	4-5	1,5	D <sub>45</sub>
14	4-6	3	D <sub>46</sub>
15	5-6	1,5	D <sub>56</sub>
16	g1 – g2	4,7	D <sub>g12</sub>

Dengan data yang ada diatas maka dapat dihitung untung nilai GMD sebagai berikut:

Jarak antar konduktor:

$$D_{12} = D_{23} = D_{45} = D_{56} = 1,5 \text{ m}$$

$$D_{13} = D_{46} = 3 \text{ m}$$

$$D_{15} = D_{24} = D_{26} = D_{35} = 5,70087 \text{ m}$$

$$D_{16} = D_{34} = 5,5 \text{ m}$$

Jadi nilai untuk  $D_{eq}$  adalah:

$$\begin{aligned} D_{eq} &= \sqrt[12]{1,5^4 \times 3^2 \times 5,70087^4 \times 5,5^2} \\ &= 3,262807533 \text{ m} \end{aligned}$$

Untuk nilai GMR adalah perkalian dari faktor GMR dengan radius, sehingga

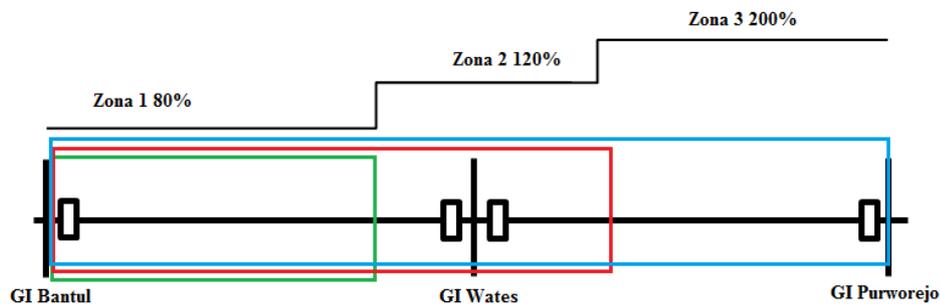
$$\begin{aligned} GMR &= 0,772 \times 8,47 \times 10^{-3} \\ &= 6,74728 \times 10^{-3} \text{ m} \end{aligned}$$

Setelah diketahui nilai dari GMD dan GMR, selanjutnya adalah mencari nilai  $L$ (induktansi), dimana untuk mencari nilai  $L$ (induktansi) menggunakan rumus dibawah ini:

$$\begin{aligned} L &= 2 \times 10^{-7} \ln \frac{GMD}{GMR} \\ &= 2 \times 10^{-7} \ln \frac{3,2628}{6,74728 \times 10^{-3}} \\ &= 2 \times 10^{-7} \ln 483,5726396 \\ &= 1,23624 \times 10^{-6} \text{ H/m perfasa} = 1,23624 \times 10^{-3} \text{ H/km perfasa} \\ XL &= 2 \times \pi \times F \times L \Omega/\text{km perfasa} \\ &= 2 \times \pi \times 50 \times 1,23624 \times 10^{-3} \\ &= 0,38837 \Omega/\text{km perfasa} \end{aligned}$$

#### 4.2.3 Perhitungan *setting relay* jarak GI Bantul – GI Wates

Perhitungan *setting relay* jarak GI bantul – GI Wates terbagi menjadi 3 zona, yaitu zona 1 mencakup proteksi sejauh 80% dari saluran transmisi, zona 2 mencakup proteksi sejauh 120 % dari saluran transmisi, dan zona 3 mencakup proteksi sejauh 200% dari saluran transmisi. berikut adalah gambar lengkap zona proteksi *relay jarak* GI Bantul – GI Wates.



Gambar 4.4 Zona proteksi *relay jarak* GI Bantul – GI Wates

Dibawah ini adalah data parameter untuk *relay* jarak merek SIFANG CSC – 101 GI Bantul – GI Wates yang dipakai:

Tabel 4.6 Parameter *relay* jarak GI Bantul – GI Wates

Keterangan	Parameter	Nilai
GI Bantul – GI Wates	Panjang L1	31,784 Km
	R11	0,137 $\Omega$
	X11	0,3966 $\Omega$ / Km
	Impedansi urutan positif	5,55 $\Omega$ , 71,01 <sup>o</sup>
GI Wates – GI Purworejo	Panjang L2	23,009 Km
	R11	0,137 $\Omega$
	X11	0,3966 $\Omega$ / Km
GI Wates – GI Purworejo	Panjang L3	53,484 Km
	R11	0,137 $\Omega$
	X11	0,3966 $\Omega$ / Km
Trafo GI Wates	Impedansi trafo	92,483 $\Omega$
Rasio CT dan PT	CT	600 A / 1A
	PT	1500 / 1 V
	Resistansi kaki tower	8 $\Omega$
	RarcPP	0,304 $\Omega$
	RarcPE	0,212 $\Omega$

- a. Untuk zona 1 dengan cakupan proteksi sepanjang 80% dari saluran transmisi. perhitungan *setting*-nya seperti dibawah in:

Dengan data yang didapat :

- L1 = 31, 784 km
- R1 PE = 4,678  $\Omega$
- X1 PE = 4,205  $\Omega$
- RarcPE = 0,212  $\Omega$
- R kaki tower = 8  $\Omega$

R1 PE dapat dicari dengan rumus dibawah ini:

Impedansi saluran (RL1)

$$\begin{aligned}RL1 &= L1 \times R \\ &= 31,784 \times 0,1348 \Omega \\ &= 4,28448 \Omega\end{aligned}$$

Maka RE Z1 adalah:

$$R1 PEp = [(0,8 \times RL1) + RacrPE + Rkaki tower]$$

$$R1 PEp = [(0,8 \times 4,28448) + 0,212 + 8]$$

$$R1 PEp = [3,42758 + 0,212 + 8]$$

$$R1 PEp = 11,63958 \Omega$$

R1 PE sekunder (R1 PEs)

$$\begin{aligned}(R1 PEs) &= 11,63958 \times \frac{CT}{PT} \\ &= 11,63958 \times \frac{600}{1500} \\ &= \underline{\underline{4,65583 \Omega}}\end{aligned}$$

Dengan waktu kerja *relay* 0 detik

X1 PE dapat dicari dengan rumus dibawah ini:

$$\begin{aligned}XL1 &= L1 \times XL \\ &= 31,784 \times 0,38837 \Omega / Km \\ &= 12,34395 \Omega\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}XZ1p &= 0,8 \times XL1 \\ &= 0,8 \times 12,34395 \Omega \\ &= 9,87516 \Omega\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}XZ1s &= XZ1p \times \frac{CT}{PT} \\ &= 9,87516 \times \frac{600}{1500} \\ &= 9,87516 \times 0,4 \\ &= 3,95006 \Omega\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
X Z_{1set} &= X Z_{1s} + (X Z_{1s} \times 0,042) \\
&= 3,95006 + (3,95006 \times 0,042) \\
&= 3,95006 + 0,16590 \\
&= \underline{\underline{4,11596 \Omega}}
\end{aligned}$$

- b. Untuk zona 2 dengan cakupan proteksi sepanjang 120% dari saluran transmisi. perhitungan *setting*-nya seperti dibawah ini:

Dengan data yang didapat:

- L2 = 23,009 km
- R2 PE = 8,685  $\Omega$
- X2 PE = 6,64  $\Omega$
- RarcPE = 0,212  $\Omega$
- R kaki tower = 8  $\Omega$
- R trafo = 92,483  $\Omega$
- Faktor infeed = 1

Impedansi saluran (RL2)

$$\begin{aligned}
RL2 &= L2 \times R \\
&= 23,009 \times 0,1348 \\
&= 3,10161 \Omega
\end{aligned}$$

R2 PE dapat dicari dengan rumus dibawah ini:

$$\begin{aligned}
R2 PE_p &= 0,8 \times (RL1 + 0,8 \times RL_{21} \times infeed) + RarcPE + 2 \times R \\
&\quad \text{kaki Tower} \\
&= 0,8 \times (4,28448 + 0,8 \times 3,10161) + 0,212 + 2 \times 8 \\
&= 0,8 \times (4,28448 + 2,48128) + 0,212 + 16 \\
&= 0,8 \times (6,76576) + 0,212 + 16 \\
&= 5,41260 + 0,212 + 16 \\
&= 21,62461 \Omega
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R2 \text{ PEs} &= R_E \text{ Pep} \times \frac{CT}{PT} \\
&= 21,62461 \times \frac{600}{1500} \\
&= \underline{\underline{8,64984 \Omega}}
\end{aligned}$$

Dengan waktu kerja *relay* 0,4 - 0,8

X2 PE dapat dicari dengan rumus dibawah ini:

$$\begin{aligned}
XL2 &= L2 \times XL \\
&= 23,009 \times 0,38837 \Omega / \text{Km} \\
&= 8,93600 \Omega
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
XZ2_{\min} &= 1,2 \times XL1 \\
&= 1,2 \times 12,34395 \Omega \\
&= 14,81274 \Omega
\end{aligned}$$

Dari tabel parameter telah diketahui impedansi trafo GI Wates sebesar 92,483Ω.

$$XT1 = 92,483 \text{ dirubah menjadi imajiner} = 92,483j$$

$$\begin{aligned}
XZ2_{\max} &= 0,8 (XL1 + 0,8 \times XL2 \times \text{infeed}) \\
&= 0,8 (12,34395 + 0,8 \times 8,93600 \times 1) \\
&= 0,8 (12,34395 + 7,1488) \\
&= 15,5942 \Omega
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
XZ2_{\text{trf}} &= 0,8 (XL1 + 0,5 \times XT1j) \\
&= 0,8 (12,34395 + 0,5 \times 92,483j) \\
&= 0,8 (12,34395 + 46,2415j) \\
&= 9,87516 + 36,9932j \\
&= 38,28858 \Omega, 75,05^\circ
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
XZ2_B &= XL1 + 0,8 \times XL2 \\
&= 12,34395 + 0,8 \times 8,93600 \\
&= 12,34395 + 7,1488 \\
&= 19,49275 \Omega
\end{aligned}$$

Dengan nilai

$$XZ2_{\min} = 14,81274 \Omega$$

$$XZ2_{\max} = 15,5942 \Omega$$

$$XZ2_{\text{trf}} = 38,28858 \Omega, 75,05^\circ$$

$$XZ2_B = 19,49275 \Omega$$

Dari data diatas maka dipilihlah nilai Z2 yang paling besar, tetapi tidak boleh melebihi nilai impedansi  $XZ2_{\text{trf}}$  dan  $XZ2_B$ . Untuk itu dipilihlah nilai dari  $XZ2_{\max}$ .

Maka untuk nilai  $XZ2_p$  adalah:

$$\begin{aligned} XZ2_p &= XZ2_{\max} \\ &= 15,5942 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} XZ2_s &= XZ2_p \times \frac{CT}{PT} \\ &= 15,5942 \times \frac{600}{1500} \\ &= 6,23768 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} XZ2_{\text{set}} &= XZ2_s + (XZ2_s \times 0,042) \\ &= 6,23768 + (6,23768 \times 0,042) \\ &= 6,23768 + 0,26198 \\ &= \underline{\underline{6,49966 \Omega}} \end{aligned}$$

c. Untuk zona 3 dengan cakupan proteksi sepanjang 200% dari saluran transmisi. perhitungan *setting*-nya seperti dibawah ini:

- L3 = 53,484 Km
- R3 PE = 11,515  $\Omega$
- X3 PE = 12,761  $\Omega$
- RarcPE = 0,212  $\Omega$
- R kaki tower = 8  $\Omega$
- R trafo = 92,483  $\Omega$
- Faktor infeed = 1

Impedansi saluran (RL3)

$$\begin{aligned} \text{RL3} &= L3 \times R \\ &= 53,484 \times 0,1348 \Omega \\ &= 7,20964 \Omega \end{aligned}$$

R3 PE dapat dicari dengan rumus dibawah ini:

$$\begin{aligned} \text{R3 PEp} &= 1,2 \times (\text{RL2} + \text{RL3} \times \text{infeed}) + \text{RarcPE} + 2 \times \text{R kaki} \\ &\quad \text{tower} \\ &= 1,2 \times (3,10161 + 7,20964 \times 1) + 0,212 + 2 \times 8 \\ &= 1,2 \times (10,31125) + 0,212 + 16 \\ &= 12,3735 + 0,212 + 16 \\ &= 28,5855 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{R3PEs} &= 28,5855 \times \frac{CT}{PT} \\ &= 28,5855 \times \frac{600}{1500} \\ &= \underline{\underline{11,4342 \Omega}} \end{aligned}$$

Dengan waktu kerja *relay* 1,2 detik

X3PE dapat dicari dengan rumus dibawah ini:

$$\begin{aligned} \text{XL3} &= L3 \times XL \\ &= 53,484 \times 0,38837 \Omega / \text{km} \\ &= 20,77158 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{XL4} &= L4 \times XL \\ &= 34,7652 \times 0,38837 \Omega / \text{km} \\ &= 13,50176 \Omega \end{aligned}$$

Dari tabel parameter telah diketahui impedansi trafo GI Wates sebesar 92,483Ω.

$$\text{XT1} = 92,483 \text{ dirubah menjadi imajiner} = 92,483j$$

$$\begin{aligned} \text{XZ3} &= 1,2 \times (\text{XL1} + \text{XL3}) \\ &= 1,2 \times (12,34395 + 20,77158) \\ &= 1,2 \times 33,11553 \\ &= 39,73863 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
XZ3_{\min} &= 0,8 \times (XL1 + 1,2 \times XL3 \times \text{infeed}) \\
&= 0,8 \times (12,34395 + 1,2 \times 20,77158 \times 1) \\
&= 0,8 \times (12,34395 + 24,92589) \\
&= 0,8 \times (37,26984) \\
&= 29,81587 \Omega
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
XZ3_{\max} &= 0,8 \times [XL1 + \text{infeed} \times \{0,8 \times (XL3 + 0,8 \times XL4)\}] \\
&= 0,8 \times [12,34395 + 1 \times \{0,8 \times (20,77158 + 0,8 \times \\
&\quad 13,50176)\}] \\
&= 0,8 \times [12,34395 + 1 \times \{0,8 \times (31,57298)\}] \\
&= 0,8 \times [12,34395 + 1 \times 25,25838] \\
&= 0,8 \times 37,60234 \\
&= 30,08187 \Omega
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
XZ3_{\text{trf}} &= 0,8 \times (XL1 + 0,8 \times XT1) \\
&= 0,8 \times (12,34395 + 0,8 \times 92,483j) \\
&= 0,8 \times (12,34395 + 73,9864j) \\
&= 9,87516 + 59,18912j \\
&= 60,00725 \Omega, 80,52^\circ
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
XZ3_B &= XL1 + [\text{infeed} \times 0,8 \times (XL3 + 0,8 \times XL4)] \\
&= 12,34395 + [1 \times 0,8 \times (20,77158 + 0,8 \times 13,50176)] \\
&= 12,34395 + [1 \times 0,8 \times (31,57298)] \\
&= 12,34395 + 25,25839 \\
&= 37,60234 \Omega
\end{aligned}$$

Dengan nilai

$$XZ3 = 39,73863 \Omega$$

$$XZ3_{\min} = 29,81587 \Omega$$

$$XZ3_{\max} = 30,08187 \Omega$$

$$XZ3_{\text{trf}} = 60,00725 \Omega, 80,52^\circ$$

$$XZ3_B = 37,60234 \Omega$$

Dari data diatas maka dipilihlah nilai Z3 yang paling besar, tetapi tidak boleh melebihi nilai impedansi  $XZ3_{\text{trf}}$  dan  $XZ3_B$ . Untuk itu dipilihlah nilai dari  $XZ3_{\max}$ .

$$\begin{aligned}
XZ3p &= XZ3_{\max} \\
&= 30,08187 \Omega \\
XZ3s &= XZ3p \times \frac{CT}{PT} \\
&= 30,08187 \times \frac{600}{1500} \\
&= 12,03274 \Omega \\
XZ3set &= XZ3s + (XZ3s \times 0,042) \\
&= 12,03274 + (12,03274 \times 0,042) \\
&= 12,03274 + 0,50537 \\
&= \underline{\underline{12,53811 \Omega}}
\end{aligned}$$

#### 4.2.4 Hasil perhitungan *setting relay* jarak GI Bantul – GI Wates

Dari hasil perhitungan manual yang telah dilakukan dengan data yang didapatkan selama penelitian di GI Bantul 150 KV. Didapatkan hasil perhitungan manual *setting relay* jarak GI Bantul – GI Wates. Untuk hasil perhitungan manual *setting relay* jarak dapat dilihat pada tabel 4.7 :

Tabel 4.7 Hasil *setting* perhitungan manual *relay* jarak

Hasil <i>setting relay</i> jarak perhitungan manual	Keterangan
R1 PE = 4,66583 $\Omega$	Zona 1
XI PE = 4,11596 $\Omega$	
R2 PE = 8,64984 $\Omega$	Zona 2
X2 PE = 6,49966 $\Omega$	
R3 PE = 11,4342 $\Omega$	Zona 3
X3 PE = 12,53811 $\Omega$	

Setelah didapatkan hasil perhitungan manual untuk *setting relay* jarak pada GI Bantul – GI Wates. Maka dapat diketahui berapa besar nilai perbedaan *setting relay* jarak antara perhitungan manual dan nilai *setting relay* jarak yang telah ditetapkan pada Gardu Induk Bantul.

Dibawah ini adalah perbedaan antara nilai *setting relay* jarak perhitungan manual dan nilai yang telah ditetapkan di GI Bantul:

Tabel 4.8 Perbandingan hasil *setting relay* jarak

Hasil <i>setting relay</i> jarak manual	<i>Setting relay</i> jarak GI Bantul	Selisih <i>setting</i>	Keterangan
R1 PE = 4,66583 $\Omega$	R1 PE = 4,678 $\Omega$	0,260 %	Zona 1
XI PE = 4,11596 $\Omega$	XI PE = 4,205 $\Omega$	2,117 %	
R2 PE = 8,64984 $\Omega$	R2 PE = 8,685 $\Omega$	0,404 %	Zona 2
X2 PE = 6,49966 $\Omega$	X2 PE = 6,640 $\Omega$	2,113 %	
R3 PE = 11,4342 $\Omega$	R3 PE = 11,515 $\Omega$	0,701 %	Zona 3
X3 PE = 12,53811 $\Omega$	X3 PE = 12,761 $\Omega$	1,746 %	

#### 4.3 Analisis hasil perhitungan *setting relay* jarak GI Bantul – GI Wates

Dari tabel 4.8 dapat dilihat bahwa untuk perbandingan hasil *setting relay* jarak dengan perhitungan manual dengan nilai *setting relay* yang ada pada Gardu Induk (GI) Bantul 150 KV mempunyai selisih yang cukup kecil pada tiap zonanya. Semua nilai settingan telah memenuhi standar SPLN T5.002-1:2010.

Pada zona 1 hasil perhitungan *setting relay* jarak secara manual dengan nilai *setting relay* jarak yang ada pada GI Bantul mempunyai selisih sebesar 0,260 % dan 2,117 %. Nilai ini masih memenuhi standarisasi pengujian impedansi SPLN T5.002-1:2010 dimana nilai perbedaan impedansi maksimal untuk zona 1 adalah 10% dari nilai *setting* yang telah ditentukan. Untuk zona 1 ini sendiri adalah zona yang mengamankan 80% dari saluran transmisi GI Bantul – GI Wates dengan waktu kerja *relay* adalah 0 detik.

Pada zona 2 terlihat bahwa untuk perbandingan hasil *setting relay* jarak dengan perhitungan secara manual dengan nilai *setting relay* jarak yang ada pada Gardu Induk Bantul adalah sebesar 0,404 % dan 2,113 %. Untuk nilai ini masih memenuhi standar PT. PLN, dimana standar perbedaan impedansi untuk zona 2 adalah sebesar 10 % dari data *setting* yang telah ditentukan. Zona 2 disini bekerja mengamankan 120% dari panjang saluran dan merupakan proteksi cadangan dengan mempertimbangkan faktor *infeed* . Untuk zona 2 karena zona pengamanan

menjangkau saluran transmisi GI Wates – GI Purworejo, maka untuk *setting* zona 2 perlu memperhatikan impedansi trafo.

Untuk zona 3 terlihat bahwa untuk perbandingan hasil *setting relay* jarak dengan perhitungan secara manual dengan nilai *setting relay* jarak yang ada pada Gardu Induk Bantul adalah sebesar 0,701 % dan 1,746 %. Terlihat bahwa untuk selisih antara nilai *setting* R1 PE pada zona 3 sangatlah kecil 0,701 %. Sedangkan untuk X1 PE selisihnya hanya 1,746%. Zona adalah proteksi cadangan saluran transmisi dengan mempertimbangkan faktor *infeed*. Dalam zona 3 GI Bantul – GI Wates adalah saluran panjang berikutnya yakni dari GI Wates – GI Purworejo dengan mempertimbangkan impedansi trafo.

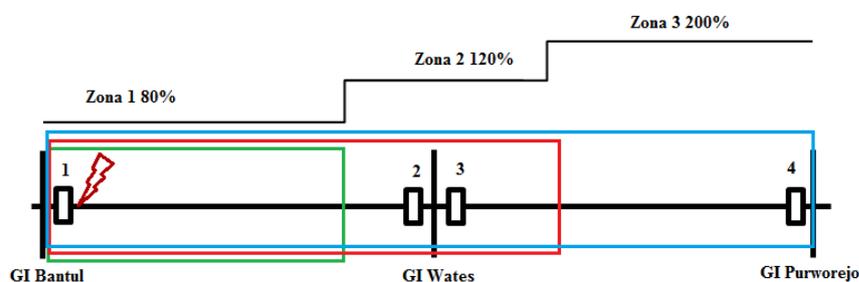
#### 4.4 Simulasi letak gangguan pada *relay* jarak

Pada simulasi kali ini ditentukan letak gangguan yang terjadi. Dimana tujuannya adalah untuk mengetahui koordinasi kerja *relay* jarak pada Gardu Induk Bantul – GI Wates. Untuk simulasi letak gangguan lebih detailnya sebagai berikut:

- 10% panjang saluran GI Bantul – GI Purworejo.
- 50% panjang saluran GI Bantul – GI Purworejo.
- 90% panjang saluran GI Bantul – GI Purworejo.
- 120% panjang saluran GI Bantul – GI Purworejo.
- 150% panjang saluran GI Bantul – GI Purworejo.

Untuk lebih jelasna bisa dilihat pada simulasi dibawah ini:

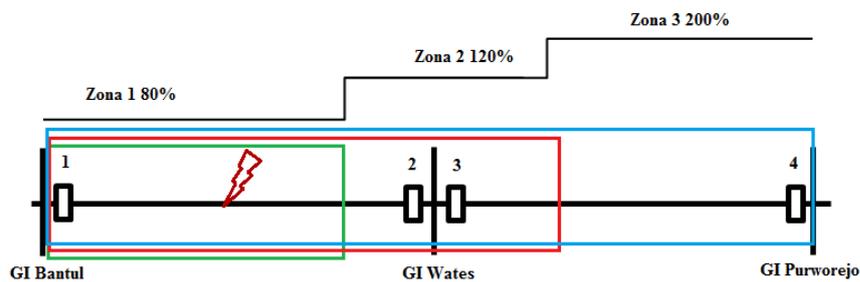
- Gangguan yang terjadi terletak 10% panjang saluran



Gambar 4.5 Gangguan pada 10% panjang saluran

Dari gambar 4.5 diketahui gangguan berada di 10% panjang saluran. Dalam keadaan ini maka *relay* untuk nomor 1 akan mendeteksi gangguan dalam zona 1 dan akan bekerja dengan waktu seketika. Sedangkan untuk *relay* nomor 2 dia akan mendeteksi gangguan pada zona ke 2. Karena jika dihitung dari *relay* nomor 2 gangguan terletak pada 90% dari panjang saluran. Maka *relay* nomor 2 akan bekerja dengan waktu 0,4 – 0,8 detik.

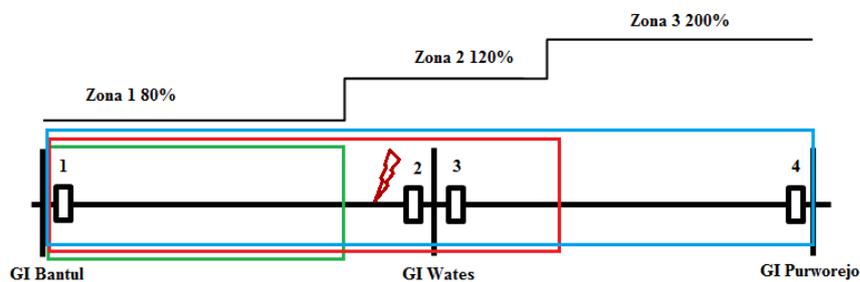
- b. Gangguan yang terjadi terletak 50% panjang saluran



Gambar 4.6 Gangguan pada 50% panjang saluran

Dari gambar 4.6 diketahui gangguan berada di 50% panjang saluran. Dalam keadaan ini maka *relay* untuk nomor 1 akan mendeteksi gangguan dalam zona 1 dan akan bekerja dengan waktu seketika. Sedangkan untuk *relay* nomor 2 dia akan mendeteksi gangguan pada zona ke 1. Karena jika dihitung dari *relay* nomor 2 gangguan terletak kurang dari 80% dari panjang saluran. Maka *relay* nomor 2 akan bekerja dengan waktu seketika atau tanpa jeda waktu.

- c. Gangguan yang terjadi terletak 90% panjang saluran

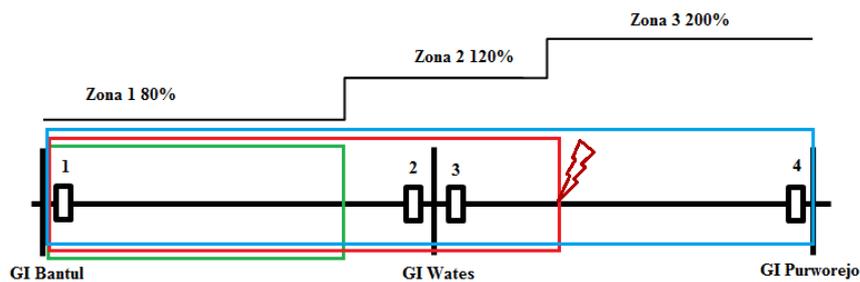


Gambar 4.7 Gangguan pada 90% panjang saluran

Dari gambar 4.7 diketahui gangguan berada di 90% panjang saluran. Dalam keadaan ini maka *relay* untuk nomor 1 akan mendeteksi gangguan

dalam zona 2 dan akan bekerja dengan waktu 0,4 – 0,8 detik. Sedangkan untuk *relay* nomor 2 dia akan mendeteksi gangguan pada zona ke 1. Karena jika dihitung dari *relay* nomor 2 gangguan terletak kurang dari 80% dari panjang saluran. Maka *relay* nomor 2 akan bekerja dengan waktu seketika atau tanpa jeda waktu.

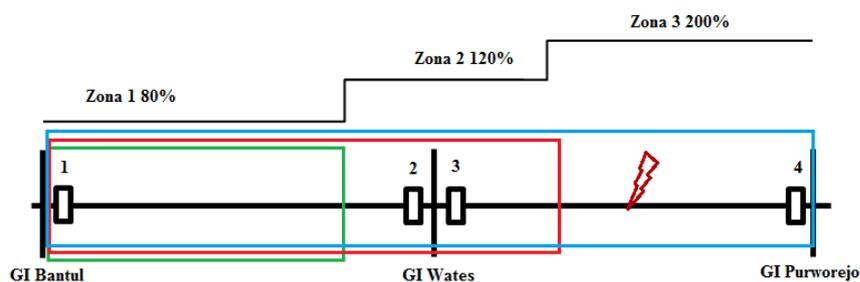
- d. Gangguan yang terjadi terletak 120% panjang saluran



Gambar 4.8 Gangguan pada 120% panjang saluran

Dari gambar 4.8 diketahui gangguan berada di 120% panjang saluran. Dalam keadaan ini maka *relay* untuk nomor 1 akan mendeteksi gangguan dalam zona 2 dan akan bekerja dengan 0,4 - 0,8 detik. Sedangkan untuk *relay* nomor 3 dia akan mendeteksi gangguan pada zona ke 1, karena jika digitung dari *relay* nomor 3 gangguan terletak kurang dari 80% dari panjang saluran. Maka *relay* nomor 3 akan bekerja dengan waktu seketika atau tanpa jeda waktu.

- e. Gangguan yang terjadi terletak 150% panjang saluran



Gambar 4.9 Gangguan pada 150% panjang saluran

Dari gambar 4.9 diketahui gangguan berada di 150% panjang saluran. Dalam keadaan ini maka *relay* untuk nomor 1 akan mendeteksi

gangguan dalam zona 3 dan akan bekerja dengan waktu 1,2 detik. Sedangkan untuk *relay* nomor 3 dia akan mendeteksi gangguan pada zona ke 1. Karena jika dihitung dari *relay* nomor 3 gangguan terletak kurang dari 80% dari panjang saluran. Maka *relay* nomor 3 akan bekerja dengan waktu seketika atau tanpa jeda waktu. Begitu pula untuk *relay* nomor 4, dimana *relay* akan mendeteksi gangguan pada zona 1 dan *relay* akan bekerja dengan waktu seketika atau tanpa jeda waktu. Karena jika dihitung dari *relay* nomor 4 gangguan berada kurang dari 80% panjang saluran.