

# KOORDINASI RELAY JARAK, RELAY ARUS LEBIH DAN RELAY GANGGUAN TANAH TERHADAP TAHANAN RESISTIF GANGGUAN HUBUNG SINGKAT

Arif Setyo Nugroho

L2F 002 559

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang

## Abstrak

Saluran transmisi tenaga listrik sangat berperan penting dalam penyaluran daya listrik dari pembangkit ke konsumen, untuk itu peralatan proteksi yang handal dan efektif diperlukan untuk menjaga keberlangsungan penyediaan energi listrik. Relay yang dipakai sebagai pengaman saluran transmisi adalah Relay jarak, Relay arus lebih (OCR) dan Relay gangguan tanah (GFR). Tahanan resistif gangguan yang terjadi saat gangguan hubung singkat dapat menyebabkan relay-relay tersebut mengalami kesalahan dalam melihat gangguan yang terjadi sehingga dapat mengakibatkan relay-relay tersebut tidak bekerja pada saat terjadi gangguan.

Salah satu tipe karakteristik relay jarak yang efektif untuk mengatasi adanya tahanan resistif gangguan hubung singkat adalah relay polygonal (*quadrilateral*) yang memiliki tiga elemen komparator yaitu elemen arah, elemen reaktansi dan elemen resistansi. Relay akan beroperasi hanya apabila ketiga elemen tersebut bekerja. Unjuk kerja OCR dan GFR juga dipengaruhi oleh besarnya arus hubung singkat yang dilihat relay. Untuk itu diperlukan perhitungan setting dan koordinasi relay yang tepat agar masing-masing relay dapat bekerja dengan handal, cepat, selektif dan sensitif dalam mengatasi gangguan yang terjadi.

Tugas akhir ini akan menganalisa pengaruh tahanan resistif gangguan terhadap unjuk kerja relay jarak jenis polygonal (*quadrilateral*) dalam melihat impedansi gangguan dan unjuk kerja OCR, GFR dalam melihat besarnya arus gangguan yang terjadi dan waktu operasi relay. Besarnya tahanan resistif gangguan yang dilihat relay jarak dipengaruhi oleh jenis gangguan hubung singkat dan lokasi terjadinya gangguan. Diperoleh hasil bahwa impedansi gangguan terbesar yang dilihat relay jarak terjadi saat gangguan hubung singkat satu fasa ketanah. Adanya tahanan gangguan mengakibatkan nilai arus gangguan hubung singkat semakin kecil sehingga waktu operasi relay OCR dan GFR semakin besar.

Kata kunci : Relay jarak, OCR, GFR, Tahanan resistif gangguan, Arus hubung singkat, Koordinasi relay

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang<sup>[10],[23]</sup>

Saluran transmisi tenaga listrik sangat berperan penting dalam penyaluran daya listrik, untuk melindungi saluran transmisi dari gangguan maka digunakan relay jarak (*Distance Relay*) sebagai peralatan proteksi utama serta relay arus lebih (OCR) dan relay gangguan tanah (GFR) sebagai peralatan proteksi cadangan local.

Adanya tahanan gangguan yang bersifat resistif pada saat gangguan hubung singkat akan mempengaruhi unjuk kerja relay-relay tersebut dalam melihat gangguan. Besarnya tahanan gangguan akan mempengaruhi besarnya nilai arus gangguan hubung singkat yang terjadi sehingga akan mempengaruhi unjuk kerja relay jarak dalam melihat impedansi gangguan. Begitu juga dengan OCR dan GFR, besarnya nilai arus gangguan hubung singkat akibat pengaruh tahanan gangguan akan mempengaruhi waktu operasi OCR dan GFR.

Salah satu tipe karakteristik relay jarak yang efektif untuk mengatasi adanya tahanan resistif gangguan hubung singkat adalah relay polygonal (*quadrilateral*). Dengan menentukan nilai setting jangkauan resistif yang tepat akan menunjukkan unjuk kerja relay jarak polygonal yang efektif dalam mengatasi pengaruh tahanan gangguan.

Lokasi gangguan akan berpengaruh terhadap distribusi arus gangguan hubung singkat yang terjadi sehingga akan juga mempengaruhi unjuk kerja relay-relay tersebut dalam melihat gangguan yang terjadi.

Untuk menjamin agar saluran transmisi benar-benar terproteksi oleh relay maka diperlukan perhitungan setting dan koordinasi yang tepat dan akurat pada masing-masing relay yang digunakan sehingga dapat mengatasi gangguan yang terjadi pada daerah yang diamankan oleh relay.

### 1.2. Tujuan

1. Membuat simulasi untuk mengetahui unjuk kerja relay jarak karakteristik polygonal (*quadrilateral*) dalam melihat impedansi gangguan akibat pengaruh tahanan resistif gangguan dan lokasi gangguan hubung singkat.
2. Menganalisis pengaruh tahanan gangguan dan lokasi gangguan terhadap nilai arus gangguan hubung singkat dan waktu operasi relay OCR dan GFR.
3. Mengevaluasi koordinasi waktu antara relay jarak, OCR dan GFR.

### 1.3. Batasan Masalah

1. Menggunakan data sistem dari PT. PLN UPT Semarang saluran transmisi Tambaklorok-Pandeanlamper sebagai bahan evaluasi.
2. Model sistem yang dievaluasi direpresentasikan sebagai sistem homogen.
3. Menganalisa pengaruh tahanan resistif gangguan hubung singkat terhadap unjuk kerja relay jarak karakteristik polygonal (*quadrilateral*).
4. Tegangan saluran nominal pada saat terjadi gangguan adalah 150000 Volt.
5. Dalam perhitungan setting relay nilai faktor daya diasumsikan 0,8.
6. Tahanan pentanahan rata-rata sebesar 2,5 ohm.
7. Menganalisa koordinasi waktu relay jarak sebagai pengaman utama, Relay arus lebih (OCR) dan Relay gangguan tanah (GFR) sebagai pengaman cadangan lokal.
8. Tidak membahas koordinasi waktu relay jarak sebagai pengaman cadangan jauh (*remote backup protection*).
9. Menggunakan program Matlab 7 dan Microsoft excel sebagai program bantu evaluasi.

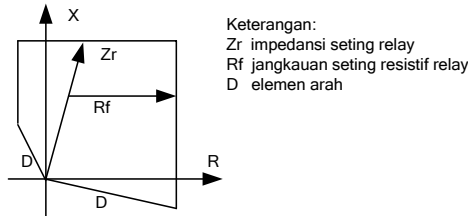
## II. DASAR TEORI

### 2.1. Relay jarak.

Prinsip dasar relay jarak adalah membandingkan besaran tegangan pada lokasi relay dengan besaran arus gangguan yang dideteksi relay, sehingga dimungkinkan untuk mengetahui suatu impedansi gangguan berada dalam impedansi setting atau tidak<sup>[17]</sup>.

#### 2.1.1 Relay Jarak Polygonal (quadrilateral)<sup>[16],[21],[22]</sup>.

Karakteristik polygonal ABB REL 316\*4 ditunjukkan pada gambar 2.1 sebagai berikut.



Gambar 2.2. Karakteristik relay polygonal

Karakteristik polygonal dibentuk oleh tiga elemen komparator yaitu: elemen reaktansi (sisi atas), elemen resistif (sisi kanan) dan elemen arah (sisi bawah).

Elemen reaktansi berfungsi menentukan reaktansi gangguan terhadap reaktansi setting yaitu:

$$Q = \text{Im}((I \cdot Z_r - V) \cdot I_p^*) \quad (1)$$

Dimana:  $I$  : arus fasa saat gangguan

$Z_r$  : impedansi zone setting saluran

$V$  : tegangan terukur saat gangguan

$I_p$  : arus polarisasi

bila:  $Q < 0$  : gangguan berada di atas garis reaktansi setting

:  $Q = 0$  : gangguan berada pada garis reaktansi setting

:  $Q > 0$  : gangguan berada di bawah garis reaktansi setting

Elemen arah berfungsi menjaga selektifitas kerja pada relay quadrilateral. Arah gangguan ditentukan sebagai berikut.:

$$P = \text{angle}(V \cdot I) \quad (2)$$

Dimana:  $I$  : arus fasa terukur saat gangguan

$V$  : tegangan terukur saat gangguan

bila:  $(-27^\circ < P < 117^\circ)$  : gangguan di depan relay

$(153^\circ < P < -63^\circ)$  : gangguan di belakang relay.

Elemen resistansi berfungsi menentukan resistansi gangguan terhadap jangkauan resistif relay:

$$R = \text{angle}(F_{op}) - \text{angle}(F_{poi}) \quad (3)$$

Dimana:  $F_{op} = (I \cdot R_{reach}) - V$

$F_{poi} = I \cdot R_{reach}$

$\theta_{bucn} = \theta_n - [\text{angle}(I) - \text{angle}(I_{eqn})]$

$\theta_n$  : sudut impedansi urutan positif zone saluran

$I$  : arus terukur saat gangguan

$V$  : tegangan terukur saat gangguan

$R_{reach}$  : jangkauan resistif relay

batasan resistif gangguan fasa-tanah:

$$-(90 + \theta_{bucn}) \leq R \leq \theta_{bucn}$$

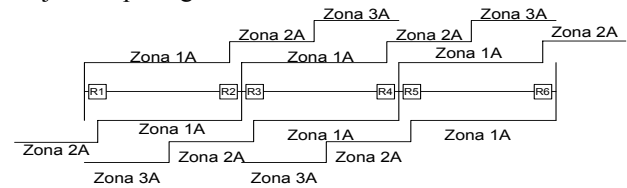
batasan resistif gangguan fasa:

$$-(90 + \theta_n) \leq R \leq \theta_n$$

#### 2.1.2 Zone proteksi relay jarak<sup>[17],[20]</sup>.

Untuk mencapai koordinasi yang baik dan selektifitas kerja relay jarak, daerah kerja operasi relay dibagi menjadi 3

zone proteksi yaitu zone 1, zone 2 dan zone 3 yang ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Zone operasi relay jarak.

Besar setting relay untuk tiap zone proteksi adalah:

$$\begin{aligned} \text{zone 1} &= 0.8(Z_{(n)}I_{(n)}) \\ \text{zone 2 min} &= 1.2(Z_{(n)}I_{(n)}) \\ \text{zone 2 max} &= 0.8[(Z_{(n)}I_{(n)}) + 0.8(Z_{(n+1)}I_{(n+1)})] \\ \text{zone 3 min} &= 1.2(Z_{(n)}I_{(n)} + k_o.Z_{(n+1)}I_{(n+1)}) \\ \text{zone 3 max} &= 1.2Z_{(n)}I_{(n)} + k_o.Zone 2 \end{aligned} \quad (4)$$

Batasan jangkauan resistif relay terhadap beban:

Syarat: Resistif reach < Rload(setengah beban)

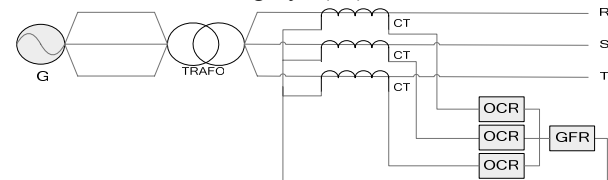
$$Z_{load_{sekunder}} = 0.5 \frac{V_{\phi-\phi}}{\sqrt{3} * I}$$

$$\Theta_{Load} = \cos^{-1}(\text{pf})$$

$$R_{load_{sekunder}} = Z_{load_{sekunder}} * \cos(\Theta_{Load}) \quad (5)$$

### 2.2 Relay arus lebih (OCR) dan relay gangguan tanah (GFR)<sup>[9],[17]</sup>

Pada saluran tegangan tinggi maupun tegangan ekstra tinggi selain menggunakan relay jarak sebagai pengaman utama juga menggunakan relay arus lebih (OCR) dan relay gangguan tanah (GFR) sebagai pengaman cadangan lokal. Kedua jenis relay tersebut adalah relay yang peka terhadap arus lebih, ia akan bekerja apabila arus yang mengalir ( $I_f$ ) melebihi nilai arus setting-nya ( $I_{set}$ ).



Gambar 2.4. Pengawatan OCR dan GFR pada saluran transmisi

Pada arus gangguan 1-fasa ke tanah ada kemungkinan lebih kecil dari arus beban yang mungkin disebabkan oleh pentanahan netral sistemnya melalui impedansi/tahanan yang tinggi (atau bahkan tidak diketanahkan) atau gangguan tanah itu melalui tahanan gangguan yang masih cukup tinggi. Dalam hal ini relay pengaman hubung singkat (OCR) tidak dapat mendeteksi gangguan tanah tersebut karena gangguan tanah hampir selalu mempunyai/melalui tahanan gangguan yang cukup tinggi, maka relay fasa (yang harga setting arusnya umumnya diatas CT ratingnya) kurang sensitif terhadap gangguan 1-fasa ke tanah.

Supaya relay sensitif terhadap gangguan 1-fasa ke tanah, harga setting arusnya harus diperkecil. Dengan harga setting arus yang kecil (kurang dari arus beban), relay akan trip oleh arus beban, yang berarti salah kerja. Supaya relay tidak salah kerja karena arus beban, maka relay GFR tidak dipasang dikawat fasa melainkan dipasang dikawat netral dari rangkaian sekunder trafo arusnya. Dengan demikian relay ini dialiri arus netral, bukan arus fasa.

### 2.2.1 Karakteristik waktu OCR dan GFR<sup>[17]</sup>

Karakteristik relay arus lebih waktu terbalik (inverse definite minimum time (IDMT)) dan relay arus lebih waktu tertentu (definite time) berdasarkan BS 142 / IEC 255-3:

$$t = TMS * \left[ \frac{k}{\left( \frac{I}{I_s} \right)^\alpha - 1} \right] + c \quad \text{detik} \quad (6)$$

Dimana :

- TMS = time multiple setting
- I = arus gangguan
- I<sub>s</sub> = arus setting
- k, c, α = konstanta yang menentukan kurvanya

Tabel 2.1 Karakteristik waktu relay arus lebih BS 142 dan IEC 255-3

Deskripsi	k	c	α
Definite time	0	0-100	1
Standar inverse	0.14	0	0.02
Very inverse	13.5	0	1
Extremely inverse	80	0	2
Long time inverse	120	0	1
Moderately inverse	0.103	0.228	0.02

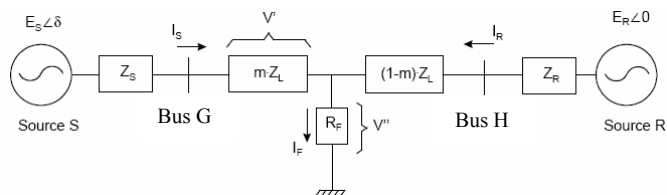
### 2.3 Pengaruh tahanan resistif gangguan<sup>[4],[8],[19],[23]</sup>

Tahanan gangguan memiliki dua komponen yaitu tahanan busur dan tahanan pentanahan. Untuk gangguan antar fasa, tahanan gangguan hanya berupa tahanan busur. Besarnya tahanan busur adalah:

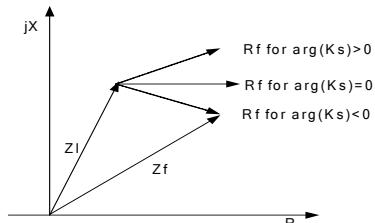
$$R_{arc} = \frac{8750 d}{I^{1.4}} \quad (7)$$

- dimana : R<sub>arc</sub> : tahanan busur (ohm)
- : d : panjang busur (feet)
- : I : Arus gangguan (Ampere)

Karena jatuh tegangan pada tahanan gangguan tetap, pengaruh *infeed* (I<sub>f</sub>/I) dari terminal yang berlawanan dengan sudut sefasa dengan arus gangguan lokal tidak mengubah tahanan gangguan yang terlihat oleh relay. Sistem yang tidak homogen (sudut impedansi sumber berbeda) dapat menyebabkan tahanan gangguan memiliki komponen reaktif sehingga mengubah besarnya tahanan gangguan yang dilihat oleh relay. Hal ini diperlihatkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Gangguan pada saluran transmisi.



Gambar 2.6. Pengaruh infeed terhadap pengukuran relay jarak.

Besarnya impedansi (Z<sub>G</sub>) terukur pada terminal G akibat pengaruh tahanan gangguan (R<sub>f</sub>) adalah:

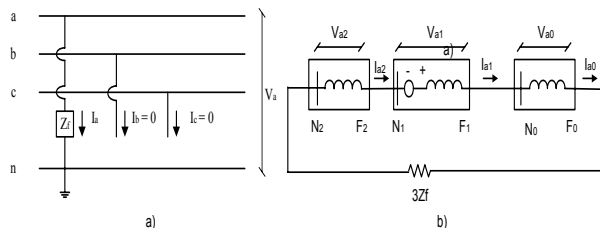
$$Z_G = \frac{V_G}{I_S} = \frac{mZ_L I_S + R_F I_F}{I_S} = mZ_L + R_F \cdot \frac{I_F}{I_S} = mZ_L + K_S \cdot R_F \quad (8)$$

- Dimana: V<sub>S</sub> :Tegangan pada bus S saat gangguan
- I<sub>S</sub> :Arus dari bus S saat gangguan
- Z<sub>L</sub> :total impedansi saluran
- m :jarak gangguan dari bus S
- R<sub>F</sub> :tahanan gangguan
- I<sub>F</sub> :arus gangguan total
- K<sub>S</sub> :infeed relay

### 2.4 Gangguan hubung singkat

#### 2.4.1.Gangguan satu fasa ke tanah<sup>[5],[18]</sup>

Gambar 2.7 menunjukkan rangkaian ekivalen gangguan satu fasa ke tanah.



Gambar 2.7.Rangkaian ekivalen gangguan satu fasa ke tanah

Dari persamaan arus di titik gangguan dihasilkan arus dan tegangan fasa yang terganggu yaitu:

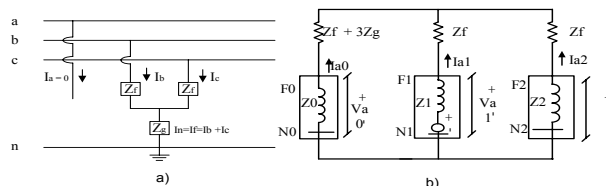
$$I_a = \frac{3E_a}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_f} \quad (9)$$

$$E_a = I_a Z_{1F} + I_{a0} (Z_{0F} - Z_{1F}) + I_f R_f$$

$$E_a = Z_{1F} \left( I_a + \left( \frac{Z_{0F} - Z_{1F}}{Z_{1F}} \right) I_{a0} \right) + I_f R_f \quad (10)$$

#### 2.4.2. Gangguan Fasa – Fasa ke Tanah<sup>[5],[18]</sup>

Gambar 2.8 menunjukkan rangkaian ekivalen gangguan hubung singkat 2 fasa ke tanah.



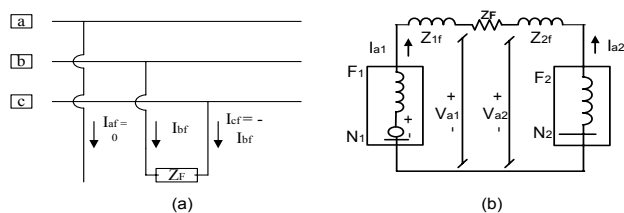
Gambar 2.8. Rangkaian ekivalen Hubung singkat dua fasa ke tanah

Besar arus gangguan dua fasa ke tanah :

$$I_f = \frac{\sqrt{3} E_a}{(Z_1 + Z_f) + \frac{(Z_2 + Z_f)(Z_0 + Z_f + 3Z_g)}{Z_2 + Z_0 + 2Z_f + 3Z_g}} \quad (11)$$

#### 2.4.3. Gangguan Fasa – Fasa<sup>[5],[18]</sup>

Gambar 2.9 menunjukkan rangkaian gangguan hubung singkat dua fasa.



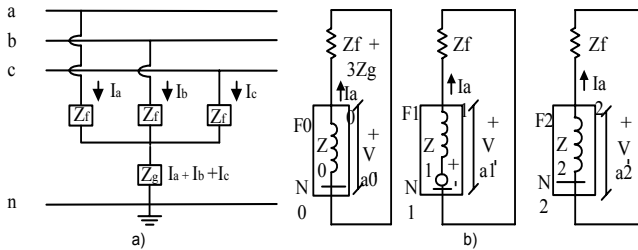
Gambar 2.9. Rangkaian ekivalengangguan hubung singkat fasa fasa

Arus gangguan hubung singkat dua fasa adalah:

$$I_{bc} = 2(a^2 - a)Ea / (Z_1 + Z_2 + Z_f) \tag{12}$$

**2.4.4. Gangguan Tiga Fasa** [5],[18]

Gambar 2.9 menunjukkan rangkaian ekivalen dari gangguan tiga fasa dengan impedansi gangguan  $Z_f$  dan  $Z_g$ .



Gambar 2.9. Rangkaian ekivalen gangguan tiga fasa

Arus gangguan tegangan tiap fasa adalah sebesar:

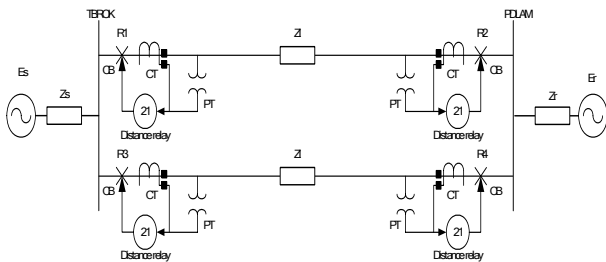
$$I_{a1} = \frac{Ea}{Z_1 + Z_f} \tag{13}$$

$$V_{a1} = Z_f I_{a1} \tag{14}$$

**III DATA**

**3.1 Data sistem**

Sistem yang dianalisa ditunjukkan pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Model Sistem

Data model sistem pada gambar 3.1 tersebut adalah sebagai berikut.

Tabel 3.1 Data saluran transmisi

Saluran	L (Km)	Z <sub>1</sub> per Km (ohm/km)	Z <sub>0</sub> per km (ohm/km)	CCC (A)
Tbrok - Pdlam	6.298	0.0685+0.2045j	0.2185+0.6130j	1200
Pdlam - Srdol	8.045	0.137+0.3966j	0.287+1.1898j	580
Srdol - Krapk	13.144	0.137+0.3966j	0.287+1.1898j	580
Pdlam - Pyung	14.516	0.137+0.3966j	0.287+1.1898j	580
Tbrok - Klsri	8.670	0.0685+0.2045j	0.2185+0.6130j	1200
Klsri - Krapk	7.40	0.0685+0.2045j	0.2185+0.6130j	1200
Tbrok - Bawen	38.377	0.0199+0.229j	-	2730

Tabel 3.2 Data Gardu Induk

<ul style="list-style-type: none"> <li>Tambaklorok</li> <li>Z<sub>s1</sub> = 0.0016+0.0168j (pu)</li> <li>Z<sub>s0</sub> = 0.00103+0.0147j (pu)</li> <li>Ptrafo = 56 MVA</li> <li>Xtrafo = 11.82 %</li> <li>CT = 2000/5</li> <li>PT = 150000/115</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pandeanlamper</li> <li>Z<sub>s1</sub> = 0.0014+0.0123j (pu)</li> <li>Z<sub>s0</sub> = 0.0022+0.0131j (pu)</li> <li>Ptrafo = 60 MVA</li> <li>Xtrafo = 13.32 %</li> <li>CT = 1200/1</li> <li>PT = 150000/100</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Pudakpayung</li> <li>Ptrafo = 60 MVA</li> <li>Xtrafo = 12.78 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kalisari</li> <li>Ptrafo = 60 MVA</li> <li>Xtrafo = 13.32 %</li> </ul>

**3.2 Perancangan perhitungan**

**3.2.1 Perancangan perhitungan relay jarak**

Algoritma yang digunakan dalam menganalisis unjuk kerja relay jarak polygonal adalah:

1. Membaca data masukan dari model sistem, yaitu impedansi saluran per kilometer, impedansi sumber, panjang saluran lokasi gangguan, jenis gangguan dan besarnya tahanan gangguan..
2. Menghitung setting relay jarak.
3. Menghitung besarnya tegangan dan arus gangguan yang dideteksi oleh relay, sesuai dengan jenis gangguan yang terjadi.
4. Menghitung besarnya impedansi gangguan yang dilihat tiap relay.
5. Mengevaluasi karakteristik relay jarak.

**3.2.2 Perancangan perhitungan OCR dan GFR**

Algoritma yang digunakan dalam menganalisis unjuk kerja relay OCR dan GFR adalah:

1. Membaca data masukan dari model sistem, yaitu impedansi saluran per kilometer, impedansi sumber, panjang saluran lokasi gangguan, jenis gangguan dan besarnya tahanan gangguan .
2. Menghitung setting OCR dan GFR.
3. Menghitung besarnya arus gangguan yang dideteksi oleh relay, sesuai dengan jenis gangguan yang terjadi.
4. Menghitung waktu operasi OCR dan GFR.

**IV. PERHITUNGAN DAN ANALISIS**

**4.1 Relay jarak.**

Berdasarkan persamaan 4 dan 5 didapat hasil perhitungan setting relay jarak sebagai berikut:

Batasan jangkauan resistif relay R1 terhadap beban:

$$Z_{load\ sekunder} = 0.5 \frac{V_{\phi-\phi}}{\sqrt{3} * I} n1 = 0.5 \frac{150000}{\sqrt{3} * 1200} 0.307 = 11.066 \text{ ohm}$$

$$\Theta_{Load} = \cos^{-1} (pf) = 36.87 \text{ derajat}$$

$$R_{load\ sekunder} = Z_{load\ sekunder} * \cos (\Theta_{Load}) = 8.224 \text{ ohm/fasa}$$

Batasan jangkauan resistif relay R2 terhadap beban:

$$Z_{load\ sekunder} = 0.5 \frac{V_{\phi-\phi}}{\sqrt{3} * I} n2 = 0.5 \frac{150000}{\sqrt{3} * 1200} 0.8 = 28.8684 \text{ ohm}$$

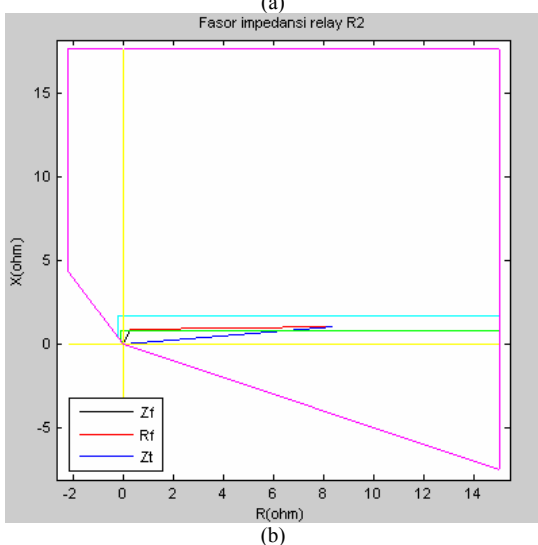
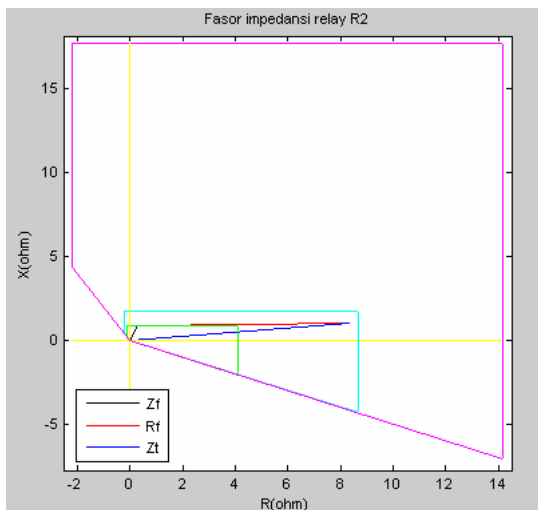
$$\Theta_{Load} = \cos^{-1} (pf) = 36.87 \text{ derajat}$$

$$R_{load\ sekunder} = Z_{load\ sekunder} * \cos (\Theta_{Load}) = 23.0944 \text{ ohm/fasa}$$

Tabel 4.1 Data setting relay jarak

Rele	Setting Zone (ohm)		Waktu (detik)	R-reach (Ω) gangguan fasa		R-reach (Ω) gangguan tanah	
				Setting lama	Setting baru	Setting lama	Setting baru
R1	Zone1	0.1060+0.3163i	0.00	0.474	5.00	1.579	5.50
	Zone2	0.3225+0.9432i	0.40	1.413	5.00	4.711	5.50
	Zone3	1.5583 + 4.5260i	1.60	4.52	5.00	4.973	5.50
R2	Zone1	0.2761+0.8243i	0.00	1.236	13.00	4.121	15.00
	Zone2	0.7252 + 1.7332i	0.40	2.598	13.00	8.66	15.00
	Zone3	2.3047 + 17.689i	1.60	12.381	13.00	14.15	15.00

Dengan bantuan program matlab didapatkan hasil simulasi unjuk kerja karakteristik polygonal relay jarak terhadap pengaruh tahanan gangguan, jenis gangguan dan lokasi gangguan sebagai berikut:



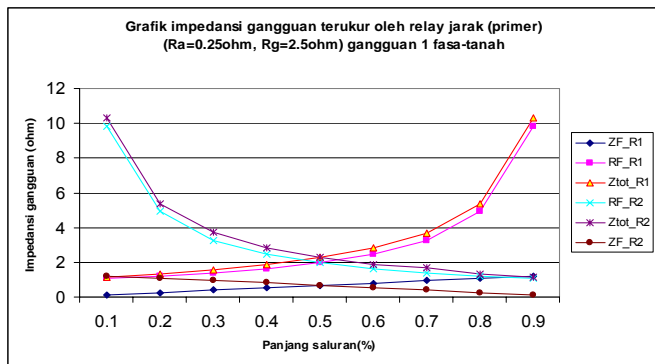
Gambar 4.1. Karakteristik polygonal relay jarak gangguan 1 fasa ke tanah pada  $x=1\text{km}$  dari bus R1,  $R_a=2\text{ohm}$ ,  $R_g=2.5\text{ohm}$ .

(a) Sebelum resetting

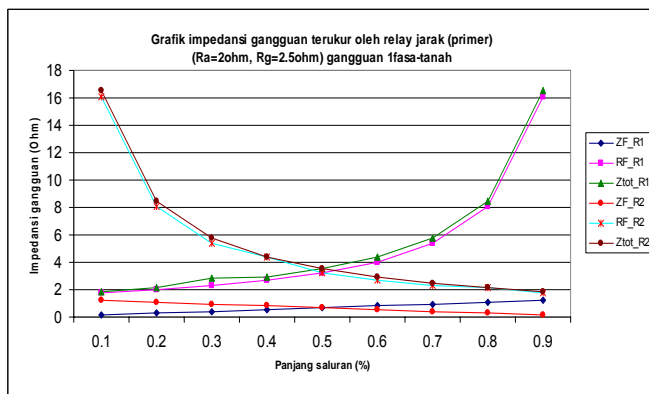
(b) Setelah resetting

Dari gambar 4.1 diatas terlihat bahwa adanya tahanan gangguan dapat menyebabkan sudut impedansi gangguan lebih kecil daripada sudut impedansi saluran sehingga impedansi gangguan yang dilihat relay akan bergeser ke arah sumbu resistif. Dengan menentukan setting jangkauan resistif relay jarak yang tepat dapat menunjukkan unjuk kerja relay jarak yang efektif dalam mengatasi tahanan gangguan.

Dengan menggunakan persamaan 8 diperoleh grafik hasil perhitungan impedansi gangguan untuk tiap-tiap jenis gangguan, lokasi gangguan dan tahanan gangguan sebagai berikut:



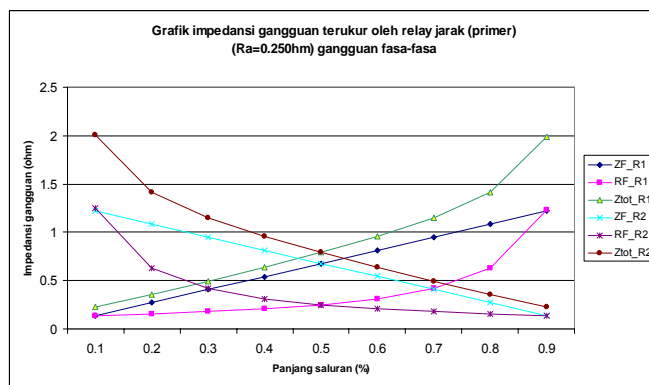
(a)



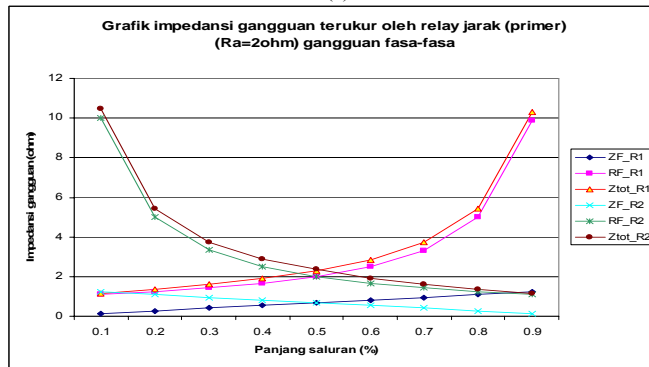
Gambar 4.2. Grafik pengukuran impedansi gangguan 1 fasa-tanah

(a)  $R_a=0.25\text{ohm}$ ,  $R_g=2.5\text{ohm}$ .

(b)  $R_a=2\text{ohm}$ ,  $R_g=2.5\text{ohm}$ .



(a)

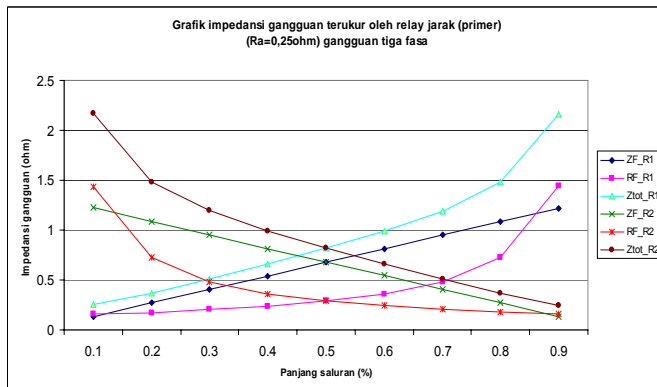


(b)

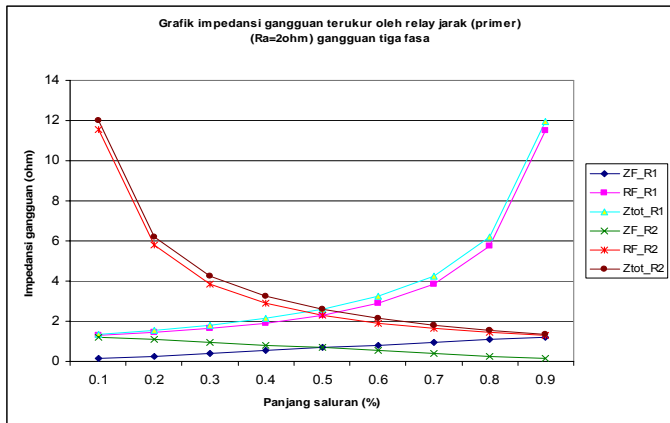
Gambar 4.3. Grafik pengukuran impedansi gangguan fasa-fasa

(a)  $R_a=0.25\text{ohm}$ .

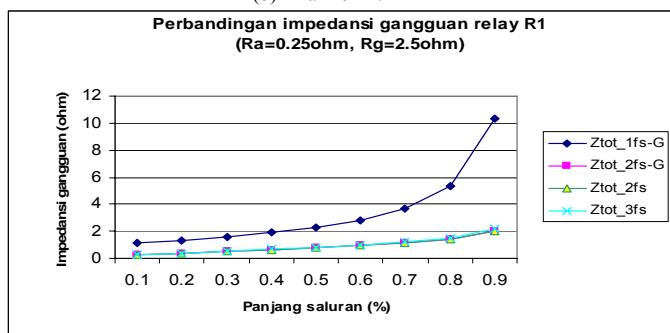
(b)  $R_a=2\text{ohm}$ .



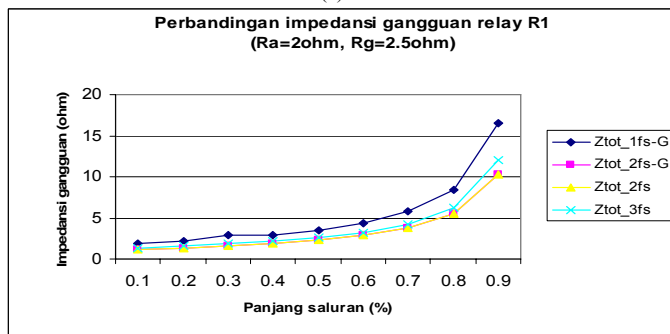
(a)



(b)  
Gambar 4.4. Grafik pengukuran impedansi gangguan tiga fasa  
(a) Ra=0.25ohm.  
(b) Ra=2ohm.



(a)



(b)

Gambar 4.5 Grafik perbandingan impedansi gangguan untuk tiap-tiap jenis gangguan hubung singkat.  
(a) Ra=0.25 ohm, Rg=2.5 ohm.  
(b) Ra=2 ohm, Rg=2.5 ohm.

Dari grafik gambar 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 dan 4.5 diperoleh bahwa impedansi gangguan terbesar terjadi pada saat gangguan hubung singkat satu fasa ketanah. Semakin besar tahanan gangguan maka impedansi gangguan yang dilihat relay semakin besar, begitu juga semakin jauh lokasi gangguan dari relay maka relay melihat impedansi gangguan semakin besar.

### 4.1 Relay OCR dan GFR

Dengan menggunakan persamaan 6 diperoleh hasil setting OCR dan GFR sebagai berikut:  
Contoh perhitungan setting OCR dan GFR (TBROK-PDLAM):

$$I_{3sc} = \frac{V_{\phi}}{Z_1} = \frac{150000}{\sqrt{3} * ((0.2025 + 2.3850i) + (0.0004 + 0.0013i))} = 36125 \text{ A}$$

$$I_{1sc} = \frac{3 * V_{\phi}}{Z_1 + Z_2 + Z_0} = \frac{3 * 150000}{\sqrt{3} * ((0.2025 + 2.3850i) + (0.0765 + 1.3725i) + (0.0022 + 0.0064i))} = 42080 \text{ A}$$

### Setting OCR

Karakteristik OCR adalah *standart inverse*

Perhitungan menggunakan CCC (CTprimer > CCC)

$$T_{ocr} = 1 \text{ detik}$$

$$I_{set} = 1.2 * CCC = 1.2 * 1200 = 1440 \text{ A}$$

$$TMS = T_{set} \frac{\left(\frac{I_{2sc}}{I_{set}}\right)^{0.02} - 1}{0.14} = 1 \frac{\left(\frac{31284}{1440}\right)^{0.02} - 1}{0.14} = 0.4536$$

### Setting GFR

Karakteristik GFR adalah *standart inverse*

Perhitungan menggunakan CCC (CTprimer > CCC)

$$T_{ocr} = 1 \text{ detik}$$

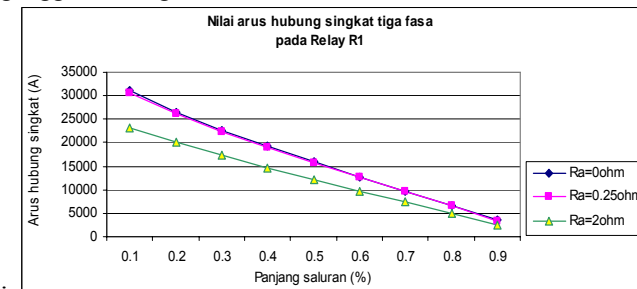
$$I_{set} = 0.4 * CCC = 0.2 * 1200 = 240 \text{ A}$$

$$TMS = T_{set} \frac{\left(\frac{I_{1sc}}{I_{set}}\right)^{0.02} - 1}{0.14} = 1 \frac{\left(\frac{42080}{240}\right)^{0.02} - 1}{0.14} = 0.7776$$

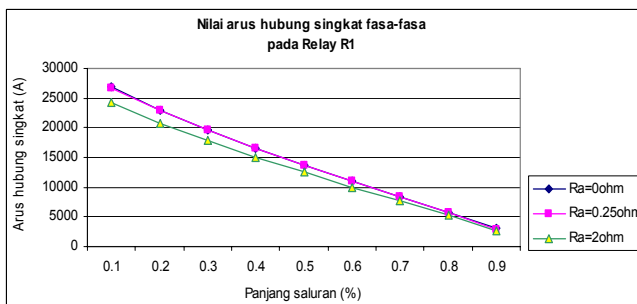
Tabel 4.2. Setting OCR dan GFR

Lokasi relay	OCR		GFR	
	Iset	TMS	Iset	TMS
TBROK	1440	0.4536	240	0.7776
PDLAM	1440	0.4306	240	0.7258

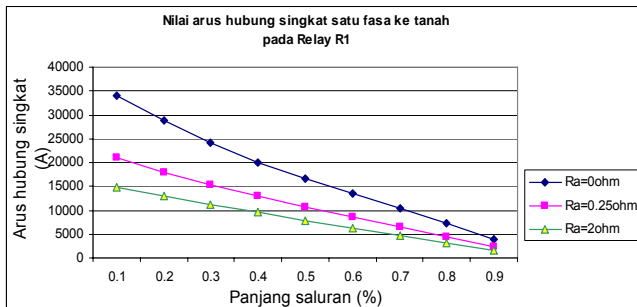
Dengan menggunakan persamaan 9, 11, 12, 13 didapatkan grafik hasil perhitungan arus hubung singkat untuk tiap-tiap jenis gangguan, tahanan gangguan dan lokasi gangguan sebagai berikut:



(a)



(b)



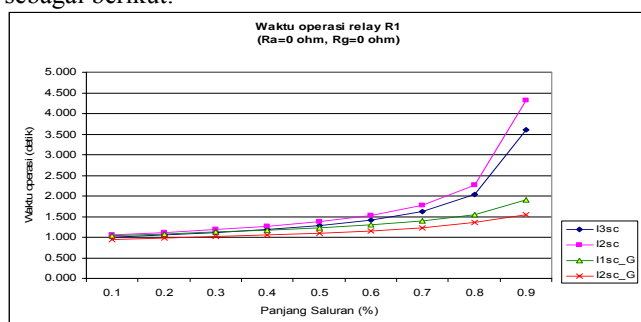
(c)

Gambar 4.6. Nilai arus hubung singkat pada relay R1

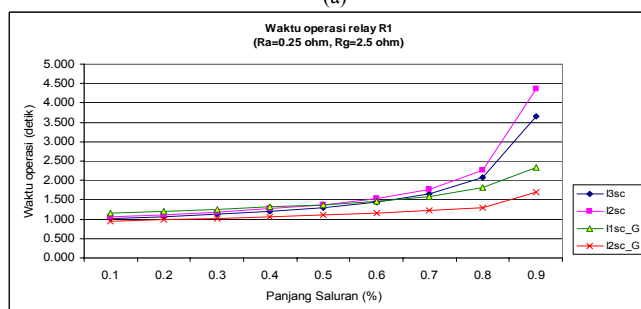
- a) hubung singkat tiga fasa
- b) hubung singkat dua fasa
- c) hubung singkat satu fasa ke tanah

Dari gambar 4.6 Semakin besar nilai tahanan gangguan maka nilai arus hubung singkat semakin kecil. Semakin jauh lokasi gangguan dari relay maka besarnya nilai arus hubung singkat semakin kecil. Nilai arus gangguan hubung singkat maksimum satu fasa ketanah di dekat pembangkit lebih besar daripada arus hubung singkat maksimum tiga fasa karena dipengaruhi adanya konfigurasi belitan trafo pembangkit ( $\Delta Y$ ) sehingga mempunyai nilai impedansi urutan nol lebih kecil daripada impedansi urutan positif dan impedansi urutan negatifnya.

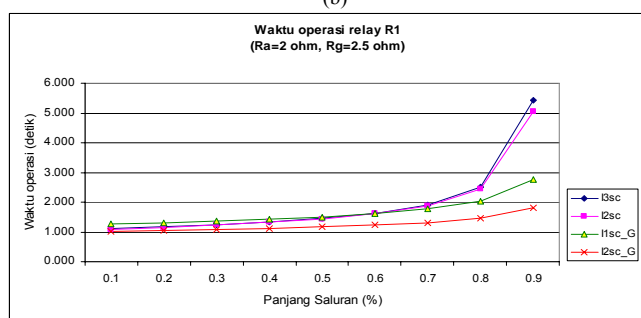
Dengan menggunakan persamaan 6 didapatkan grafik hasil perhitungan waktu operasi OCR dan GFR untuk tiap-tiap tipe gangguan, tahanan gangguan dan lokasi gangguan sebagai berikut:



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.7. Perbandingan nilai waktu operasi pada relay R1

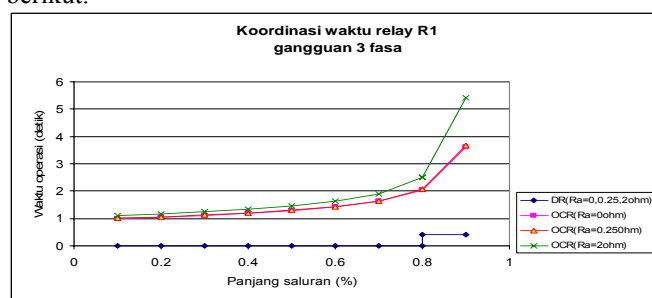
- (a)  $R_a = 0 \text{ ohm}$ ,  $R_g = 2.5 \text{ ohm}$   
 (b)  $R_a = 0.25 \text{ ohm}$ ,  $R_g = 2.5 \text{ ohm}$   
 (c)  $R_a = 2 \text{ ohm}$ ,  $R_g = 2.5 \text{ ohm}$

Dari gambar 4.7 dapat dilihat bahwa semakin besar nilai tahanan gangguan maka waktu operasi relay semakin besar karena nilai arus hubung singkat yang terjadi semakin kecil. Semakin jauh lokasi gangguan dari relay maka waktu operasi relay semakin besar.

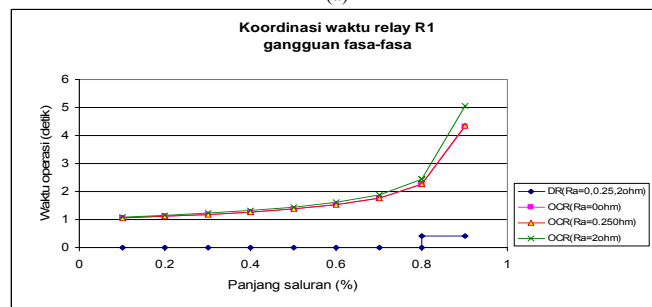
#### 4.3. Evaluasi koordinasi waktu relay jarak, OCR dan GFR.

Koordinasi waktu relay dengan membandingkan waktu operasi relay jarak sebagai pengaman utama dan waktu

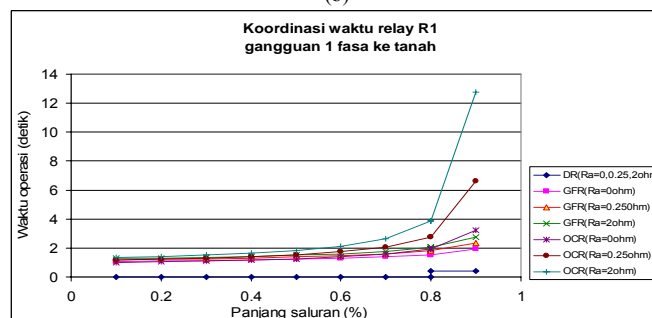
operasi OCR, GFR sebagai pengaman cadangan local sebagai berikut:



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.8. Grafik koordinasi waktu relay jarak, OCR dan GFR (R1)

- (a) Gangguan tiga fasa  
 (b) Gangguan fasa-fasa  
 (c) Gangguan 1 fasa ke tanah

Dari grafik gambar 4.8 diatas dapat disimpulkan bahwa koordinasi relay jarak sebagai proteksi utama dan OCR atau GFR sebagai proteksi cadangan local sudah tepat karena grafik waktu operasi relay-relay tersebut tidak saling berpotongan. Relay jarak sebagai pengaman utama memiliki waktu operasi lebih cepat/ lebih kecil daripada waktu operasi OCR dan GFR.

Koordinasi antara OCR dan GFR terlihat dari jenis gangguan hubung singkat yang terjadi. Pada gangguan hubung singkat tiga fasa dan hubung singkat fasa-fasa yang bekerja sebagai pengaman cadangan adalah relay OCR, sedangkan GFR tidak bekerja karena pada gangguan tersebut pada kawat netral tidak dialiri arus gangguan. Sedangkan pada gangguan hubung singkat satu fasa ketanah dimana arus gangguan mengalir pada kawat fasa maupun kawat netral sehingga kedua relay (OCR dan GFR) bisa mendeteksi adanya gangguan namun yang bekerja lebih dahulu adalah GFR karena mempunyai nilai arus setting yang lebih kecil daripada arus setting OCR.

Waktu operasi OCR dan GFR dipengaruhi besarnya arus hubung singkat yang terjadi akibat adanya pengaruh tahanan resistif gangguan.



## V. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari analisa dan pembahasan pada tugas akhir ini, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Tahanan resistif gangguan dapat menyebabkan sudut impedansi gangguan lebih kecil daripada sudut impedansi saluran sehingga impedansi gangguan yang dilihat relay akan bergeser ke arah sumbu resistif. Pergeseran ini dapat menyebabkan relay jarak tidak dapat melihat gangguan.
2. Dengan memperlebar jangkauan resistif karakteristik polygonal (quadrilateral) relay jarak dapat meningkatkan unjuk kerja relay jarak dalam mengatasi tahanan resistif gangguan.
3. Besarnya *infeed* relay sebanding dengan jarak lokasi gangguan dari relay dan berpengaruh pada unjuk kerja relay jarak karena *infeed* relay menentukan besarnya tahanan gangguan yang dilihat oleh relay jarak .
4. Untuk lokasi gangguan, tahanan pentanahan dan tahanan busur yang sama, relay jarak melihat impedansi gangguan terbesar pada saat gangguan satu fasa ke tanah.
5. Semakin besar nilai tahanan resistif gangguan menyebabkan nilai arus gangguan hubung singkat yang terjadi semakin kecil.
6. Semakin kecil nilai arus hubung singkat maka waktu operasi relay arus lebih (OCR) dan relay gangguan tanah (GFR) semakin besar.
7. Koordinasi waktu antara relay jarak sebagai pengaman utama dan OCR, GFR sebagai pengaman cadangan lokal sudah tepat karena grafik waktu operasi masing-masing relay tidak saling berpotongan

### 5.2 Saran

Untuk keperluan pengembangan tugas akhir ini, maka dapat diberikan saran-saran sebagai berikut:

1. Dilakukan pembahasan unjuk kerja relay jarak untuk karakteristik yang lain untuk mengetahui pemilihan karakteristik relay jarak yang tepat untuk mengatasi tipe gangguan hubung singkat yang terjadi.
2. Menambah pembahasan koordinasi waktu relay jarak sebagai pengaman cadangan jauh (remote backup protection) dari saluran lain.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Alexander, G.E and Andrichak, J.G. "Distance Relay Fundamental," GE Protection and Controls. General Electric Company.....
- [2]. Azhari. Zahlul," Analisis Intertripping Relay Jarak Menggunakan Permissive Underreach Transfer Trip", laporan Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro UNDIP, 2002
- [3]. B. Ravindranath and M. Chander," Power Sistem Protection & Switchgear." Wiley Eastern Limited. Bombay, India, 19..
- [4]. C Warrington, A.R. Van,"Protective Relays, Their Theory & Practice," Chapman & Hall Ltd. New York,1962.
- [5]. Das. J. C. " Power System Analysis, Short circuit load flow and harmonics" Marcell Dekker Inc. Georgia, 2002
- [6]. GEC Measurements," Protective Relays (Application guide)," General Electric Company, Stafford, England,....
- [7]. Gonen,Thuran, "Modern Power System Analysis," John Wiley & sons, New York,USA,1988.
- [8]. Joe Mooney. PE and Jacky Peer," Application Guidelines For Ground Fault Protection", Schweitzer Engineering Labs, Pullman, Washington, USA.
- [9]. Komari,"Sistem Proteksi". PLN jasa pendidikan dan pelatihan, jakarta, 1996
- [10]. Kurnaen. Jemjem, " Pemilihan Pola Proteksi SUTT Sistem Ketenaga Listrikan Jawa Bali", PLN jasdik, Jakarta, 2003
- [11]. Marsudi, Jiteng., " Operasi Sistem Tenaga Listrik," Balai Penerbit & Humas ISTN, Jakarta, Indonesia, 1990.
- [12]. Robert, Jeff and Guzman, Armando,"Directional Elemen Design & Evaluation", Schweitzer Engineering Labs, Pullman, Washington, USA,1993.
- [13]. Rao ,T.S. Madhava," Power Sistem Protection (static relay)," Tata McGraw-Hill Publishing Co. Limited, New Delhi, India, 1979.
- [14]. S. B. Wilkinson and C.A. Mathews, "Dynamic Characteristics of Mho Distance Relays," GE Power Management, Jerman, 1998.
- [15]. S. E. Zocholl," Three Phase Circuit Analysis and the mysterious Ko Factor", Schweitzer Engineering Labs, Pullman, Washington, USA.
- [16]. Schweitzer, Edmund O and Robert, Jeff,"Distance Relay Element Design", Schweitzer Engineering Labs, Pullman, Washington, USA.
- [17]. Soekarto, J. "Kursus Relay Proteksi" . PT. PLN (Persero) UDIKLAT, Semarang
- [18]. Sulasno, " Analisis Sistem Tenaga listrik", Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang, 2001.
- [19]. Y.G. Paithankar," Transmission Network Protection Theory and Practice", Marcel Dekker Inc. New York, USA, 1998.
- [20]. ..., "Kursus Operasi Gardu Induk", PLN UDIKLAT, Semarang, 2000
- [21]. ..., "RFL8021 instruction manual", RFL Electronics. Inc, New Jersey. 2005
- [22]. ..., "ABB REL 316\*4 Manual Book," ABB Switzerland Ltd, Switzerland
- [23]. ..., "IEEE Guide for Protective Relay Application to Transmission Lines", Power system relay comitte, New York, 2000

## Arif Setyo Nugroho



Mahasiswa tingkat akhir Teknik Elektro Universitas Diponegoro dengan konsentrasi Sistem Tenaga.