

ANALISA DAN PENGATURAN ULANG RELAJ JARAK PADA SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI 150 KV KERAMASAN – BUKIT ASAM

Antonius Hamdadi^{1*}, Fikriansyah¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, *Email : antonius.hamdadi.msc@gmail.com

Abstrak--- Salah satu Proteksi Utama (*Main Protection*) pada sistem proteksi jaringan transmisi saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150 KV adalah Relai Jarak (*distance relay*) . Agar dapat melakukan setting relai jarak yang baik dan benar.Maka diperlukan analisa perhitungan sesuai dengan standar perhitungan yang telah ditetapkan. Pada perhitungan analisa relai jarak ini di hitung impedansi jaringan $Z_1, Z_2, Z_0, Z_{om}, K_o$ dan K_{om} . Dengan hasil $Z_1 = 0,208 < 60^{\circ}$ ohm/km, $Z_2 = 0,208 < 60^{\circ}$ ohm/km, $Z_0 = 0,523 < 54^{\circ}$ ohm/km, $Z_{om} = 0,556 < 68^{\circ}$ ohm/km $K_o = 0,62 < 68^{\circ}$ dan $K_{om} = 3,53 < 52,51^{\circ}$. Untuk perhitungan Zona Setting relai jarak dihitung zona 1 zona 2 dan zona 3. Untuk standar waktu (t) setting untuk zona 1 di setting 0 detik, zona 2 di setting 0,4 detik dan untuk zona 3 di setting 1.2 detik. Dari hasil penelitian untuk GI keramasan – Simpang Tiga mendapatkan kesimpulan bahwa setting zona 1 dan zona 2 dari hasil perhitungan dengan lapangan tidak terlalu jauh, sehingga setting masih bisa di pakai. untuk zona 3 terdapat perbedaan maka perlu dilakukan peninjauan kembali agar relai jarak bekerja dengan baik.

Kata kunci: Proteksi, Relai Jarak, Zona Setting

Abstract ----*Distance relay is one of the main protections for overhead high voltage line transmission 150 KV. In this study, we will analyze the calculation of distance relay setting. Firstly, impedances of network, $Z_1, Z_2, Z_0, Z_{om}, K_o$ and K_{om} , are calculated. The obtained results are $Z_1 = 0,208 < 60^{\circ}$ ohm/km, $Z_2 = 0,208 < 60^{\circ}$ ohm/km, $Z_0 = 0,523 < 54^{\circ}$ ohm/km $Z_{om} = 0,556 < 68^{\circ}$ ohm/km $K_o = 0,62 < 68^{\circ}$ and $K_{om} = 3,53 < 52,51^{\circ}$. Then, the zone between distance relays are divided in zone 1, 2 and 3. The last, the setting time for each zones are determined. Setting time for the first Zone is 0 sec, second zone is 0,4 sec and the third zone is 1.2 sec. In this work, the calculation result and the actual condition of distance relay in 1st and 2nd zone are similar in Keramasan – Simpang Tiga substation but there is a difference in the 3rd zone. Hence, the further observation is needed to ensure the distance relay works well.*

Key words. Protection, Distance Relay, Setting Zone

I. PENDAHULUAN

Relai proteksi merupakan jantung dari proteksi sistem transmisi tenaga listrik. Relai proteksi berfungsi untuk mendeteksi kondisi abnormal sistem jaringan transmisi listrik. Salah satu proteksi Utama (*Main Protection*) pada peralatan proteksi dalam sistem proteksi jaringan transmisi tegangan tinggi 150 KV adalah Relai Jarak (*distance relay*)

Untuk mendeteksi adanya gangguan di saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150 KV di perlukan analisa perhitungan untuk mengatur settingan relai jarak. Sehingga relai jarak yang terpasang dapat terjamin keandalannya. Pada jurnal ilmiah ini batasan masalah hanya ditinjau sistem transmisi 150 KV gardu induk Keramasan-Bukit Asam.

Tujuan penulisan adalah menghitung nilai setting relai jarak sesuai data yang ada sekarang kemudian membandingkan dengan setting yang telah terpasang

Untuk Tahanan Saluran Transmisi dari suatu konduktor (kawat penghantar) berlaku rumus[1-4]:

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (1)$$

Keterangan :

ρ = Resistivitas

l = Panjang Kawat

A = Luas Penampang Kawat

Untuk konduktor Pilin lebih dari 2 lapis maka panjang kawat dikalikan dengan 1.02. untuk mencari R_{t2} adalah [1-4]:

$$R_{t2} = R_{t1} \left[\frac{T_0 + T_2}{T_0 + T_1} \right] \quad (2)$$

R_{t2} = Tahanan pada temperatur t_2 (Ohm)

R_{t1} = Tahanan pada temperatur t_1 (Ohm)

T_2 = Temperatur 2 ($^{\circ}$ C)

T_1 = Temperatur 1 ($^{\circ}$ C)

Untuk bermacam resistivitas konduktor dan harga α dapat dilihat pada tabel 1 dan 2.

TABEL 1
RESISTIVITAS(ρ) BAHAN KONDUKTOR STANDAR [4]

Material	Mikro – ohm – cm						
	ρ_0	ρ_{20}	ρ_{25}	ρ_{50}	ρ_{75}	ρ_{80}	ρ_{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 2
HARGA – HARGA α UNTUK BAHAN – BAHAN KONDUKTOR STANDAR [4]

Material	Koefisien temperatur dari tahanan X 10^{-3}						
	α_0	α_{20}	α_{25}	α_{50}	α_{75}	α_{80}	α_{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	3,95	3,60	3,30	3,25	3,05

Sedangkan untuk bermacam konduktivitas dapat dilihat dalam tabel3.

TABEL 3
KONDUKTIVITAS, RESISTIVITAS DAN TEMPERATUR (T_0) PADA SUHU 20^0 C [1]

Material	% Conductivity	$\rho_{20^{\circ}C}$		T
		Resistivity at $20^{\circ}C$	Temperature Constant	$^{\circ}C$
		$\Omega m \times 10^{-8}$	$\Omega\text{-cmil/ft}$	
Copper:				
Annealed	100%	1.72	10.37	234.5
Hard-drawn	97.3%	1.77	10.66	241.5
Aluminum				
Hard-drawn	61%	2.83	17.00	228.1
Brass	20-27%	6.4-8.4	38-51	480
Iron	17.2%	10	60	180
Silver	108%	1.59	9.6	243
Sodium	40%	4.3	26	207
Steel	2-14%	12-88	72-530	180-980

Untuk perhitungan konduktor dengan Induktansi Phasa tunggal dengan dua jalur kabel berlaku rumus [1-5]:

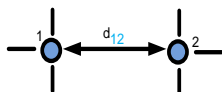
$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r'} \text{ H/m}$$

$$X = 2 \cdot \pi \cdot F \cdot L \cdot \Omega / \text{mile}$$

$$GMR = r'$$

$$r' = k \cdot r \tag{3}$$

k = merupakan faktor GMR
 r = Radius Konduktor



Gambar 1. Induktansi Phasa tunggal dengan dua jalur kabel [1]

TABEL 4
FAKTOR GMR (k) [6]

Lapisan kawat	Jumlah Pilin (<i>Strands</i>)	Faktor GMR (k)
1 (Solid)	1	0,7788
7	7	0,7256
19	19	0,7577
37	37	0,7678
61	61	0,7722
91	91	0,774
127	127	0,776
169	169	0,776

Untuk Saluran ganda fasa tiga dengan 2 bundle konduktor dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut[1-5]:

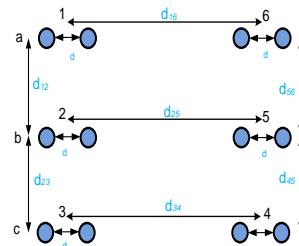
$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_{eq}}{D_{SL}} \text{ H/mile}$$

$$X = 2 \cdot \pi \cdot F \cdot L \cdot \Omega / \text{mile}$$

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

$$D_{SL} = \sqrt{D_s \cdot X \cdot d}$$

$$D_s = \sqrt[6]{(r')^3 d_{14}d_{25}d_{36}} \tag{4}$$



Gambar 2.Saluran ganda fasa tiga dengan 2 bundle konduktor [1]

Menentukan Impedansi Urutan Nol (Z_0) [2]

$$Z_0 = Z_{0(a)} - \frac{Z_{0(ag)}^2}{Z_{0(g)}}$$

$$Z_{0(a)} = R + R_e + j(X_e + X - 2X_d)$$

$$X_d = 0.2794 \log_{10} GMD$$

$$R_e = 0.00477f$$

$$X_e = \frac{3}{2} \cdot 0.0794 \frac{f}{60} \log_{10} X \cdot 4.665 \times 10^6 \frac{D}{f}$$

$$Z_{0(g)} = 3R_g + R_e + j(X_e + 3X_g)$$

$$Z_{0(ag)} = R_e + j(X_e - 3X_d)$$

$$X_d = \frac{1}{3} (X_{ag} + X_{bg} + X_{cg}) \tag{5}$$

Untuk perhitungan Impedansi Gandengan Urutan nol (Z_{0m})[2]:

$$Z_{0m} = Z_{0m(a)} - \frac{Z_{0(ag)}^2}{Z_{0(g)}}$$

$$Z_{0m(a)} = R_e + j(X_e - 3X_{d3})$$

$$X_{d3} = \frac{X_{d16} + X_{d25} + X_{d34} + 2(X_{d15} + X_{d14} + X_{d24})}{3} \tag{6}$$

Relai jarak adalah relai yang bekerja dengan membandingkan Arus dan Tegangan pada lokasi yang sama. Relai akan bekerja jika nilai Z_F lebih kecil dari $Z_{setting}$ [7-8].

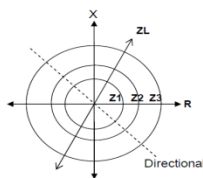
$$Z_F = \frac{V_F}{I_F} \tag{7}$$

- Z_F = Impedansi Gangguan (Ohm)
- V_F = Tegangan Gangguan (Volt)
- I_F = Arus gangguan (Ampere).

Berdasarkan karakteristik kerjanya relai jarak dibagi menjadi [7]:

a) Relai jarak Jenis Impedansi.

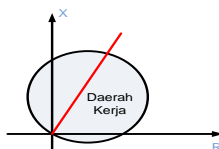
Merupakan lingkaran dengan titik pusatnya di tengah – tengah. Sehingga mempunyai sifat tidak berarah (*non directional*)



Gambar 3. Karakteristik relai impedansi dengan diagram R – X [7]

b) Relai jarak Jenis Mho

Karakteristik Relai Mho merupakan suatu lingkaran yang melalui titik pusat. Relai jarak jenis Mho tidak perlu ditambahkan lagi relai Arah karena relai telah berarah.



Gambar 4. Karakteristik relai jarak Mho [3]

c) Relai jarak Jenis reaktansi

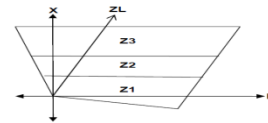
Karakteristik reaktansi adalah Mempunyai sifat non directional. Untuk aplikasi di SUTT (saluran udara tegangan tinggi) perlu di tambah relai directional. Relai ini hanya mengukur komponen reaktif dari impedansi jaringan [7].



Gambar 5. Karakteristik reaktansi [7]

d) Relai jarak Jenis quadrilateral

Karakteristik quadrilateral adalah Merupakan kombinasi dari 3 macam komponen yaitu Reaktansi, Berarah, Resistif. Dengan setting jangkauan resistif cukup besar maka karakteristik relai quadrilateral dapat mengantisipasi gangguan tanah dengan tahanan tinggi



Gambar 6. Karakteristik quadrilateral [7]

Untuk analisa dan setting relai jarak pertama – tama ditetapkan dulu nilai impedansi primer kemudian di hitung impedansi sekunder [7-10]:

$$Z_{Primer} = \frac{CT_{ratio}}{PT_{ratio}} \times Z_{Sekunder}$$

$$CT_{ratio} = \frac{I_{Primer}}{I_{Sekunder}}$$

$$PT_{ratio} = \frac{E_{Primer}}{E_{Sekunder}} \tag{8}$$

1. Penyetelan Zona 1

Zona 1 disetel sebesar 80 % dari panjang saluran yang di amankan.

$$Zona\ 1 = 0.8 \cdot Z_{AB} \tag{9}$$

Waktu kerja relai seketika $t = 0$

2. Penyetelan Zona 2

Untuk penyetelan zona 2 berlaku rumus :

$$Zona\ 2_{Max} = 0.8 (Z_{AB} + k \cdot 0.8 Z_{BC}) \tag{10}$$

Waktu kerja relai $t_2 = 0.4$ s/d 0.8 detik

3. Penyetelan Zona 3

Untuk Zona 3 berlaku rumus :

$$Zona\ 3_{Max} = 0.8 (Z_{AB} + k \cdot 1.2 \cdot Z_{BC}) \tag{11}$$

Waktu kerja relai $t_3 = 1.2$ s/d 1.6 detik

Keterangan :

Z_{AB} = Impedansi saluran yang diamankan

Z_{BC} = Impedansi saluran transmisi saluran berikutnya

k = faktor Infeed

4. Penyetelan Starting

Digunakan untuk mendeteksi adanya gangguan dan menentukan jenis gangguan dan memilih fasa yang terganggu

a. Starting Arus Lebih [7]

$$Fasa - Fasa = 1.2 \cdot CT \tag{12}$$

$$Fasa - Netral = 0.1.CT \tag{13}$$

b. Starting Impedansi[7]

$$Zs_{min} = 1.25 \times Zone\ 3 \tag{14}$$

$$Zs_{Max} = 0.5\ KV / (CCC\ atau\ CT \cdot \sqrt{3}) \tag{15}$$

5. Faktor Kompensasi Urutan Nol (K_0)[7]:

$$K_0 = \frac{1}{3} \left(\frac{Z_0 - Z_1}{Z_1} \right) \tag{16}$$

6. Faktor Kompensasi Gandengan urutan Nol (K_{0m})[7]

$$K_{0m} = \frac{Z_{0m}}{Z_1} \tag{17}$$

II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian di lakukan di PT. PLN (Persero) P3B Sumatera Selatan GI 150 KV Keramasan. Dimulai tanggal 3 Oktober 2014 sampai dengan 30 oktober 2014. Adapun pengumpulan data meliputi Data Primer dan Data sekunder. Data Primer yaitu Pengumpulan data dilakukan dengan langsung observasi ke lapangan di PT. PLN (Persero) P3B Sumatera Selatan GI 150 KV Keramasan . Data sekunder yang terdiri dari Studi Literature Dan BimbinganKonsultasiyaitu Proses pencarian dan pengumpulan sumber –sumber yang berupa bahan-bahan literatur baik buku , jurnal –jurnal maupun modul training dan melakukan konsultasi dan diskusi dengan orang yang berkaitan dengan masalah yang dibahas baik dosen pembimbing, karyawan PT. PLN (Persero) ataupun teman sesama mahasiswa.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Adapun data yang telah di dapat di PT. PLN (Persero) UPT Palembang Gardu induk Keramasan adalah Relai jarak DR 21 Type D 60 buatan *General Electric (GE)*dengan Karakteristik Mho dan quad, Jumlah Zona adalah 5 Zona. Pembacaan(*Reach*) $0.02\Omega - 500\Omega$ dan Akurasi Pembacaan adalah $\pm 5\%$ dengan data settingan sebagai berikut:

a. GI Keramasan ke GI Simpang Tiga :

Zona 1 = $1.14\ \Omega < 77^0$ dengan t = 0 detik
 Zona 2 = $2.05\ \Omega < 77^0$ dengan t = 0.4 detik
 Zona 3 = $4.84\ \Omega < 77^0$ dengan t = 0.8 detik
 Rasio Trafo tegangan (PT) = 150 KV / 100 V
 Rasio Trafo Arus yang di gunakan (CT) = 1600 A/ 5A

b. GI Simpang Tiga Ke GI Keramasan :

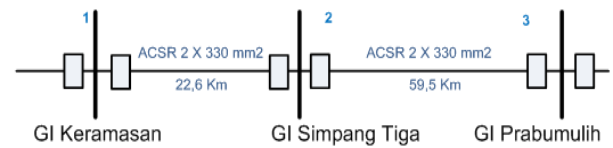
Zona 1 = $1.14\ \Omega < 77^0$ dengan t = 0 detik
 Zona 2 = $1.85\ \Omega < 77^0$ dengan t = 0.4 detik

Zona 3 = $4.5\ \Omega < 77^0$ dengan t = 0.8 detik
 Rasio Trafo tegangan (PT) = 150 KV / 100 V
 Rasio Trafo Arus yang di gunakan (CT) = 1600A/ 5A

c. GI Simpang tiga Ke GI Prabumulih :

Zona 1 = $1.37\ \Omega < 77^0$ dengan t = 0 detik
 Zona 2 = $2.06\ \Omega < 77^0$ dengan t = 0.4 detik
 Zona 3 = $4.51\ \Omega < 77^0$ dengan t = 0.8 detik
 Rasio Trafo tegangan (PT) = 150 KV / 100 V
 Rasio Trafo Arus yang di gunakan (CT) = 1600A/5A

Di bawah ini merupakan gambar data saluran yang akan di hitung :



Gambar 7. Data saluran

TABEL 5
 DATA SALURAN

Saluran	Type Konduktor	Panjang (Km)
GI keramasan – GI Simpang Tiga)	ACSR 2 X 330 mm ²	22,6
GI simpang Tiga – GI Prabumulih)	ACSR 2 X 330 mm ²	59,5
GI (keramasan – GI Simpang Tiga)	Kawat Tanah / GSW 1 X 55 mm ²	22,6
GI simpang Tiga – GI Prabumulih)	Kawat Tanah / GSW 1 X 55 mm ²	59,5

1. Data Spesifikasi kabel ACSR 2 X 330 mm² :

1. Jumlah Konduktor = 2
2. Diameter Seluruh = 25.3 mm
3. Radius (r) = 0,01265 m
4. Spacing = 40 Cm
5. Jumlah Pilin = 37 buah

2. Data Spesifikasi Kawat Tanah / GSW 55 mm² (*Ground Steel Wire*):

1. Diameter Seluruh = 9.6 mm
2. Radius (r) = 0,048 m
3. Jumlah Pilin = 7 Buah
4. Resistivity(ρ) pada 20⁰c = $12\ \mu\Omega cm$
 $= 12 \times 10^{-6}\ \Omega \cdot cm$

untuk tahanan DC pada 20⁰ C dengan konduktor ACSR 330 mm² berdasarkan rumus 1 dan 2 adalah :

$$R_{20^{\circ}} = \rho_{20^{\circ}} \frac{l}{A} = 2.83 \times 10^{-6} \times \frac{10^5}{330 \times 10^{-3}}\ Ohm/Km$$

$$R_{20^{\circ}} = 0.08575\ Ohm/ km$$

untuk konduktor pilin (*stranded conductor*) lebih dari 2 lapis maka di kalikan dengan faktor 1.02

$$R_{20^{\circ}} = 1.02 \times 0.08575 = 0.087465\ Ohm/ km$$

$$R_{50^{\circ}} = R_{20^{\circ}} \left[\frac{T_0 + T_2}{T_0 + T_1} \right]$$

Berdasarkan Tabel 1.2 harga $\alpha_{20} = 4.03 \times 10^{-3}$:

$$T_0 = \left(\frac{1}{\alpha_{T_1}}\right) - T_1 = \left(\frac{1}{0.00403}\right) - 20 = 228,1389575$$

$$R_{50^\circ} = R_{20^\circ} \left[\frac{T_0 + T_2}{T_0 + T_1}\right] = 0.087465 \left[\frac{228,1389575 + 50^\circ}{228,1389575 + 20^\circ}\right]$$

$$R_{50^\circ} = 0.098033914 \text{ Ohm / Km}$$

R_{dc} 50° C adalah 0.098033914 Ohm / Km

Untuk tahanan DC pada suhu 20° C konduktor kawat tanah / GSW (Ground Steel Wire) 55 mm² adalah:

$$R_{20^\circ} = \rho_{20^\circ} \frac{l}{A} = 12 \times 10^{-6} \times \frac{10^5}{55 \times 10^{-3}} \text{ Ohm/Km}$$

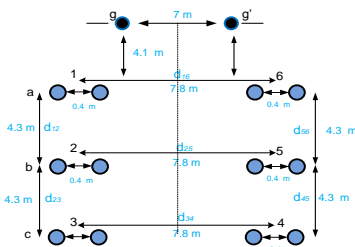
$$R_{20^\circ} = 2,181818 \text{ Ohm/ km}$$

Berdasarkan Tabel 1.3 harga T_0 untuk bahan steel adalah 180°C maka :

$$R_{50^\circ} = R_{20^\circ} \left[\frac{T_0 + T_2}{T_0 + T_1}\right] = 2,181818 \left[\frac{180^\circ + 50^\circ}{180^\circ + 20^\circ}\right] = 2,5090907 \text{ Ohm / Km}$$

$$R_g = 2,5090907 \text{ Ohm / Km}$$

Berikut adalah Data geometri saluran ganda fasa tiga dengan 2 bundle konduktor.



Gambar 8. Data geometri saluran transmisi saluran ganda dengan 2 bundle konduktor

TABEL 6
JARAK ANTAR KAWAT KONDUKTOR

No	Jarak antar Kawat	Panjang (m)
1	1 - 2	4.3 m
2	1 - 3	8.6 m
3	1 - 4	11.610
4	1 - 5	8.906 m
5	1 - 6	7.8 m
6	2 - 3	4.3 m
7	2 - 4	8.906 m
8	2 - 5	7.8 m
9	2 - 6	8.906 m
10	3 - 4	7.8 m
11	3 - 5	8.906 m
12	3 - 6	11.610 m
13	4 - 5	4.3 m
14	4 - 6	7.8 m
15	5 - 6	4.3 m
16	a - g	4,119 m
17	b - g	8,4095 m
18	c - g	12,706 m

Berikut rumus yang digunakan :

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_{eq}}{D_{SL}} \text{ H/mile}$$

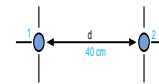
$$X = 2. \pi. F. L \Omega/\text{mile}$$

Dengan :

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

$$D_{SL} = \sqrt{D_s \times d} \text{ meter}$$

$$D_s = \sqrt[6]{(r')^3 d_{14} d_{25} d_{36}} \text{ meter}$$



Gambar 9. Jarak dua bundle konduktor

Berdasarkan tabel 2.4 untuk Faktor GMR (k) dengan jumlah pilin aluminium 37 buah adalah 0.7678 maka :

$$r' = 0.7678. r \text{ meter}$$

$$r' = 0.7678 \times 0.012655 = 0,009716509 \text{ meter}$$

Jarak-jarak antar konduktor adalah :

$$d_{12} = d_{23} = d_{45} = d_{56} = 4.3 \text{ meter}$$

$$d_{13} = d_{46} = 8.6 \text{ meter}$$

$$d_{15} = d_{24} = d_{26} = d_{35} = 8.906 \text{ meter}$$

$$d_{16} = d_{34} = 7.8 \text{ meter}$$

$$d_{14} = d_{36} = 11,610 \text{ meter}$$

$$d_{25} = 7,8 \text{ meter}$$

$$D_{eq} = \sqrt[12]{4.3^4 \times 8.6^2 \times 8.096^4 \times 7.8^2} \text{ meter}$$

$$D_{eq} = 6,581807265 \text{ meter}$$

$$D_s = \sqrt[6]{(r')^3 d_{14} d_{25} d_{36}} \text{ meter}$$

$$D_s = \sqrt[6]{(0,009716509)^3 11,610 \times 7.8 \times 11,610} \text{ meter}$$

$$D_s = 0.314326962 \text{ meter}$$

$$D_{SL} = \sqrt{D_s \times d} \text{ meter}$$

$$D_{SL} = \sqrt{0.314326962 \times 0.4} \text{ meter}$$

$$D_{SL} = 0,354585370256586 \text{ meter}$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{6,581807265}{0,354585370256586} \text{ H/m}$$

$$L = 5,84223102236816 \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

$$L = 0,000940014971499037 \text{ H/mile}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

$$X = 2. \pi. F. L \Omega/\text{mile}$$

$$X = 2 \times 3.14 \times 50 \times 0,000940014971499037$$

$$X = 0,295164701050698 \Omega/\text{mile}$$

$$X = 0,183406490291872 \Omega/\text{km}$$

$$R_{dc} \text{ dengan } R_{50^\circ} = 0.098033914 \Omega/\text{km}$$

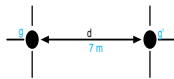
Maka

$$Z_1 = Z_2$$

$$Z_1 = 0.098033914 + j 0,183406490291872$$

$$Z_1 = 0.208 < 62^\circ \text{ Ohm/Km}$$

Untuk perhitungan Induktansi konduktor (X_g) kawat tanah / GSW (*Ground Steel Wire*)



Gambar 10. Jarak kawat tanah / GSW

Untuk dua bundle konduktor berlaku rumus :

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_{eq}}{D_{SL}} \quad \text{H / mile}$$

$$D_{SL} = \sqrt{D_s \times d} \quad \text{meter}$$

$$D_s = r' \quad \text{meter}$$

$$r' = k \cdot r \quad \text{meter}$$

Berdasarkan tabel 2.4 untuk Faktor GMR (k) dengan pilin 7 buah adalah 0.7256 maka :

meter

$$r' = 0.7256 \cdot r \quad \text{meter}$$

$$r' = 0.7256 \cdot 0.048 = 0,00348288 \quad \text{meter}$$

$$D_{SL} = \sqrt{D_s \times d} = \sqrt{0,00348288 \times 7} \quad \text{meter}$$

$$D_{SL} = 0,156141474310 \quad \text{meter}$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_{eq}}{D_{SL}} \quad \text{H/mile}$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{7}{0,156141474310} \quad \text{H/m}$$

$$L = 0,00122377416775 \quad \text{H/mile}$$

$$X = 2 \cdot \pi \cdot F \cdot L \quad \Omega/\text{mile}$$

$$X = 2 \times 3.14 \times 50 \times 0,00122377416775 \quad \Omega/\text{mile}$$

$$X = 0,384265088674134 \quad \Omega/\text{mile}$$

$$X = 0,238770798149447 \quad \Omega/\text{km}$$

maka nilai R_g dan X_g adalah :

$$R_g = 2,2472643 \quad \Omega/\text{km}$$

$$X_g = 0,238770798149447 \quad \Omega/\text{km}$$

Untuk menentukan impedansi Urutan Nol Z_0 dapat ditentukan menggunakan rumus :

$$Z_0 = Z_{0(a)} - \frac{Z_{0(ag)}^2}{Z_{0(g)}}$$

$$Z_{0(a)} = R + R_e + j(X_e + X - 2X_d)$$

$$Z_{0(g)} = 3R_g + R_e + j(X_e + 3X_g)$$

$$Z_{0(ag)} = R_e + j(X_e + 3X_d)$$

$$X = 0,183406490291872 \quad \Omega/\text{km}$$

$$R_{50} = 0.098033914 \quad \Omega/\text{km}$$

$$\rho \text{ (resistivitas bumi) } = 100 \quad \Omega/\text{m}$$

$$D_{eq} = GMD = 6,581807265$$

$$R_e = 0.00477f$$

Dimana f merupakan frekuensi 50 Hz

$$R_e = 0.00477 \times 50$$

$$R_e = 0.2862 \quad \Omega/\text{Mill}$$

$$R_e = 0.2177836 \quad \Omega/\text{Km}$$

$$X_e = \frac{3}{2} \cdot 0.0794 \frac{f}{60} \log_{10} X 4.665 \times 10^6 \frac{\rho}{f}$$

$$X_e = 0.006985 \log_{10} X 4.665 \times 10^6 \frac{100}{50}$$

$$X_e = 2,8879 \quad \Omega/\text{Per Mill}$$

$$X_e = 1,794454423 \quad \Omega/\text{Per Km}$$

$$X_d = 0.2794 \log_{10} GMD$$

$$X_d = 0.2794 \log_{10} 6,581807265$$

$$X_d = 0,2286456379 \quad \Omega/\text{Mill}$$

$$X_d = 0,1420735400 \quad \Omega/\text{Km}$$

$$Z_{0(a)} = R + R_e + j(X_e + X - 2X_d)$$

$$Z_{0(a)} = 0,315817514 + j1,69371383329187$$

$$Z_{0(g)} = 3R_g + R_e + j(X_e + 3X_g)$$

$$Z_{0(g)} = 6,9595765 + j2,5107668174 \quad \Omega/\text{Km}$$

Untuk mencari $Z_{0(ag)}$ berlaku Rumus :

$$Z_{0(ag)} = R_e + j(X_e - 3X_d)$$

$$X_{ag} = 0.004657 \log_{10} 4,119 = 0,00286308537$$

$$X_{bg} = 0.004657 \log_{10} 8,4095 = 0,00430665470$$

$$X_{cg} = 0.004657 \log_{10} 12,706 = 0,0051413692$$

$$X_d = \frac{1}{3} (X_{ag} + X_{bg} + X_{cg})$$

$$X_d = 0,004103703096 \quad \Omega/\text{Mill}$$

$$X_d = 0,00254991799 \quad \Omega/\text{Km}$$

$$Z_{0(ag)} = R_e + j(X_e - 3X_d)$$

$$Z_{0(ag)} = 0.2177836 + j1,786804669 \quad \Omega/\text{Km}$$

Maka untuk Nilai impedansi nol (Z_0) adalah :

$$Z_0 = Z_{0(a)} - \frac{Z_{0(ag)}^2}{Z_{0(g)}}$$

$$Z_0 = 0,523 < 54^0 \quad \Omega/\text{Km}$$

Untuk Impedansi Gandengan Urutan nol (Z_{0m})

$$Z_{0m} = Z_{0m(a)} - \frac{Z_{0(ag)}^2}{Z_{0(g)}}$$

$$R_e = 0.2177836 \quad \Omega/\text{km}$$

$$X_e = 1,794454423 \quad \Omega/\text{Per Km}$$

$$Z_{0(ag)} = 0.2177836 + j1,786804669 \quad \Omega/\text{Km}$$

$$Z_{0(g)} = 6,9595765 + j2,5107668174 \quad \Omega/\text{Km}$$

$$Z_{0m(a)} = R_e + j(X_e - X_{d3})$$

$$X_{d16} = 0.004657 \log_{10} 7,8$$

$$= 0,0041544845 \quad \Omega/\text{Mile}$$

$$X_{d25} = 0.004657 \log_{10} 7,8$$

$$= 0,0041544845 \quad \Omega/\text{Mile}$$

$$X_{d34} = 0.004657 \log_{10} 7,$$

$$= 0,0041544845 \quad \Omega/\text{Mile}$$

$$X_{d15} = 0.004657 \log_{10} 8.906$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,0044226722 \text{ Ohm / Mile} \\
 X_{d14} &= 0,004657 \log_{10} 11,6 \\
 &= 0,0049589236 \text{ Ohm/Mile} \\
 X_{d24} &= 0,004657 \log_{10} 8,906 \\
 &= 0,0044226722 \text{ Ohm / Mile}
 \end{aligned}$$

$$X_{d3} = \frac{X_{d16} + X_{d25} + X_{d34} + 2(X_{d15} + X_{d14} + X_{d24})}{3}$$

$$X_{d3} = 0,01335732983 \text{ Ohm/Mile}$$

$$X_{d3} = 0,00829984403 \text{ Ohm/Km}$$

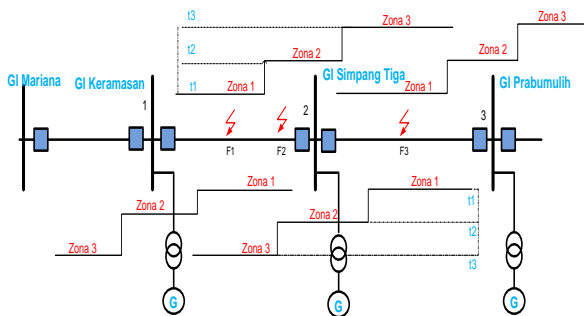
$$Z_{0m(a)} = 0,2177836 + j1,78615457897$$

Maka nilai Z_{0m} :

$$Z_{0m} = Z_{0m(a)} - \frac{Z_{0(ag)}^2}{Z_{0(g)}}$$

$$Z_{0m} = 0,556 < 68^\circ \text{ Ohm/ Km}$$

Untuk perhitungan zona pengamanan relai jarak :



Gambar 11. Perhitungan zona pengamanan relai jarak

$$Z_{saluran} = 0,098033914 + j 0,183406490291872$$

Untuk Panjang Saluran Z_{12} dengan panjang 22.6 Km :

$$\begin{aligned}
 Z_{12} &= 22,6 (0,098033914 + j 0,183406490291872) \\
 Z_{12} &= 2,215566456 + j 4,14498668059631 \Omega/\text{km}
 \end{aligned}$$

Untuk Panjang saluran Z_{23} dengan panjang 59.5 Km

$$\begin{aligned}
 Z_{23} &= 59,5 (0,098033914 + j 0,183406490291872) \\
 Z_{23} &= 5,833017883 + j 10,9126861723664 \Omega/\text{km}
 \end{aligned}$$

Untuk Panjang saluran Z_{34} (Prabumulih – Bukit Asam) dengan panjang 80.6 Km :

$$\begin{aligned}
 Z_{34} &= 80,6 (0,098033914 + j 0,183406490291872) \\
 Z_{34} &= 7,9015334684 + j 14,7825631175 \Omega/\text{km}
 \end{aligned}$$

Untuk Panjang saluran Z (Keramasan – Mariana) dengan panjang 20 Km :

$$\begin{aligned}
 Z &= 20 (0,098033914 + j 0,183406490291872) \\
 Z &= 1,96067828 + j 3,66812980583744 \Omega/\text{km}
 \end{aligned}$$

Data untuk Ratio Tegangan (PT_{ratio}):

$$PT_{ratio} = \frac{E_{primer}}{E_{sekunder}} = \frac{150 \text{ KV}}{0,10 \text{ KV}} = 1,5 \text{ KV} = 1500 \text{ V}$$

Data untuk Ratio Arus (CT_{ratio}):

$$CT_{ratio} = \frac{I_{primer}}{I_{sekunder}} = \frac{1600 \text{ A}}{5 \text{ A}} = 320 \text{ A}$$

Impedansi Sekunder saluran:

$$Z_{sekunder} = \frac{CT_{ratio}}{PT_{ratio}} \times Z_{(primer)} = \frac{320 \text{ A}}{1500 \text{ V}} \times Z_{(primer)}$$

$$Z_{sekunder} = 0,21333333 \times Z_{(primer)}$$

Untuk $Z_{sekunder}$ saluran Z_{12} :

$$Z_{12} = 0,472654176 + j0,8842638238 \Omega/\text{km}$$

Untuk $Z_{sekunder}$ saluran Z_{23} :

$$Z_{23} = 1,244377146 + j2,3280397131 \Omega/\text{km}$$

Untuk $Z_{sekunder}$ saluran Z_{34} :

$$Z_{34} = 1,685660471 + j3,1536134601 \Omega/\text{km}$$

Untuk $Z_{sekunder}$ saluran Z (Keramasan – Mariana):

$$Z = 0,41827803241 + j0,782534357355 \Omega/\text{km}$$

Perhitungan Relai jarak GI Keramasan ke GI Simpang Tiga :

$$\text{Zona 1} = 0,8 Z_{12} = 0,80 < 62^\circ$$

Waktu kerja relai dibuat seketika $t = 0$

$$\text{Zona 2} = 0,8 (Z_{12} + k \cdot 0,8 Z_{23})$$

$$\text{Zona 2} = 2,5 < 62^\circ$$

$$\text{waktu untuk Zona 2 } t_2 = 0,4$$

$$\text{Zona 3} = 0,8 (Z_{12} + k \cdot 1,2 \cdot Z_{BC})$$

$$\text{Zona 3} = 3,33 < 62^\circ$$

$$\text{Waktu kerja relai untuk Zona 3 } t_3 = 1,2$$

Untuk Perhitungan GI Simpang Tiga ke Keramasan :

$$\text{Zona 1} = 0,8 \cdot Z_{12}$$

$$\text{Zona 1} = 0,80 < 62^\circ$$

Waktu kerja relai $\text{Zona 1 } t = 0$.

$$\text{Zona 2} = 0,8 (Z_{12} + k \cdot 0,8 Z_{(keramasan-Mariana)})$$

$$\text{Zona 2} = 1,37 < 62^\circ$$

$$\text{Waktu kerja relai untuk Zona 2 } t_2 = 0,4$$

$$\text{Zona 3} = 0,8 (Z_{12} + k \cdot 1,2 Z_{(keramasan-Mariana)})$$

$$\text{Zona 3} = 1,92 < 66^\circ$$

$$\text{Waktu kerja relai untuk Zona 3 } t_3 = 1,2$$

Perhitungan Relai jarak GI Simpang Tiga ke GI Prabumulih :

$$\begin{aligned} \text{Zona 1} &= 0.8 \times Z_{23} \\ \text{Zona 1} &= 2.11 < 62^0 \\ \text{dengan waktu } t &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Zona 2} &= 0.8 (Z_{23} + k \cdot 0.8Z_{34}) \\ \text{Zona 2} &= 4,40 < 62^0 \\ \text{waktu } t_2 &= \text{waktu untuk Zona 2 } t_2 = 0.4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Zona 3} &= 0.8 (Z_{23} + k \cdot 1.2Z_{34}) \\ \text{Zona 3} &= 5,54 < 62^0 \\ \text{Waktu kerja relai untuk Zona 3 } t_3 &= 1.2 \end{aligned}$$

Keterangan :

Faktor k : 1

Faktor kompensasi urutan nol (K_0) dan faktor kompensasi gandengan urutan nol (K_{0m})

$$Z_1 = Z_2 = 0.098033914 + j 0,183406490291872 \Omega/\text{km}$$

$$Z_0 = 0,309002487766 + j 0,42212186263 \Omega/\text{km}$$

$$Z_{0m} = 0,2109685737 + j 0,5145626083 \Omega/\text{km}$$

$$K_0 = \frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1} \text{ maka } K_0 = 0,62 < 62^0$$

$$K_{0m} = \frac{Z_{0m}}{Z_1} \text{ maka } K_{0m} = 3.53 < 52,51^0$$

Untuk perhitungan Fungsi Starting :

$$\begin{aligned} CCC &= 1600 A \\ CT_{ratio} &= 320 A \end{aligned}$$

1. Fasa – Fasa = $1.2 \cdot CT = 1.2 \times 320 A = 384 A$
2. Fasa – Netral = $0.1 \times CT = 0.1 \times 320 A = 32 A$

IV. KESIMPULAN

1. *Setting* impedansi Zona 1 dan Zona 2 relai jarak baik dari data PLN (Persero) UPT Palembang Gardu Induk Keramasan dengan analisa perhitungan yang dilakukan perbedaannya tidak terlalu jauh. Sehingga setting yang terpasang masih bisa di pakai
2. *Setting* impedansi Zona 3 antara hasil Analisa dan dari data setting PLN (Persero) UPT Palembang Gardu Induk Keramasan terdapat perbedaan sehingga perlu peninjauan kembali setting untuk Zona 3 sehingga mendapatkan setting relai jarak yang semakin baik
3. Setting waktu Zona 1 dan Zona 2 baik dari studi maupun dari data setting PLN telah sesuai dengan standar setting waktu relai jarak yang di tentukan
4. *Setting* waktu untuk zona 3 antara hasil Analisa dan dari data setting dari PLN terdapat perbedaan sehingga perlu peninjauan kembali setting waktu Zona 3 sehingga mendapatkan setting waktu yang semakin baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Overbye, J.T. Sarma, S.M., Glover, J.D.. *POWER SYSTEM ANALYSIS & DESIGN*. Canada: Cengage Learning, 2010
- [2] _____.. *Short Line Parameter calculations Positive and zero Sequence impedance*. San Diego USA : Edsa Micro Corporation, 2008
- [3] GE Digital Energy. *D 60 Line Distance Protection System UR Series Instruction Manual*. Canada : General Electric, 2013
- [4] Hutaaruk, T.S. *Transmisi Daya Listrik*. Jakarta : Erlangga, 1996.
- [5] Stevenson, W.D., Grainger, J.J.. *POWER SYSTEM ANALYSIS*. Singapore : Mc Graw-Hill, 1994
- [6] _____.. *Network Protection & Automation Guide*. Grde : Alstom, 2011
- [7] _____.. *Pelatihan O & M relai Proteksi Jaringan*. P3B : PT. PLN (Persero), 2006
- [8] Arpipsah, M.. *Studi Rele jarak pada Transmisi 150 KV Cawang Jatiliuhur*. Palembang : Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, 1991
- [9] Setiawan Heri .. *Setting Rele Overall Diferensial GT 1,1 PLTGU Grati dan rele jarak GITET grati pada Bus 500 kV*, Surabaya : Insititut Teknologi Surabaya , 2012.
- [10] Susanti Niken. *Evaluasi Setting rele jarak PD3A 6000 sebagai proteksi terhadap gangguan pada saluran udara tegangan tinggi 150 KV Keramasan-Bukit Asam, Palembang* : Fakultas Teknik : Universitas Sriwijaya, 1999.

