

**HALAMAN PENGESAHAN**

**SKRIPSI**

**ANALISIS PERHITUNGAN *SETTING RELAY* JARAK PADA SALURAN  
UDARA TEGANGAN TINGGI 150 kV  
GARDU INDUK BANTUL – GODEAN – KENTUNGAN**

**Disusun Oleh:**

**RIZKY RAHMAD DIANTO**

**20140120076**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA**

**2018**

Telah diperiksa dan disetujui pada tanggal:

18 Mei 2018

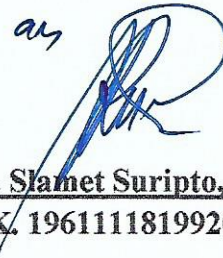
Mengetahui,

Dosen Pembimbing I



**Dr. Ramadoni Syahputra, S.T., M.T.**  
NIK. 19741010201010123056

Dosen Pembimbing II



**Ir. Slamet Suropto, M.Eng.**  
NIK. 19611118199209123010

# ANALISIS PERHITUNGAN *SETTING RELAY* JARAK PADA SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI 150 KV GARDU INDUK BANTUL-GODEAN-KENTUNGAN

(*Calculation Analysis of Distance Relay Setting on High Voltage Line Transmission 150 kV Substation of Bantul  
- Godean – Kentungan*)

Oleh:

Rizky Rahmad Dianto  
20140120076

Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

## Abstrak

Saluran Transmisi memegang peranan penting didalam sistem tenaga listrik untuk menyalurkan energi listrik dari pembangkit ke pusat beban. Penyaluran energi listrik yang bersifat terus menerus diperlukan dalam mendukung keandalan sistem tenaga listrik. Salah satu Proteksi utama transmisi Saluran udara tegangan tinggi 150 Kv (SUTT) adalah *Relay* Jarak. *Relay* jarak bekerja dengan membagi daerah cakupan pengamanan atau Zona proteksi menjadi tiga yaitu: zona 1, zona 2, dan zona 3. Dalam penelitian ini dilakukan analisis perhitungan nilai setting relay jarak secara manual yang kemudian dibandingkan dengan data setting yang diterapkan pada GI Bantul- Godean – Kentungan. Dari data yang telah dianalisis, perbandingan nilai setting relay jarak yang diterapkan GI Bantul- GI Godean dengan nilai setting perhitungan manual memiliki selisih perbedaan paling besar dengan nilai  $R = 0,016 \Omega$  dan nilai  $X = 0,063 \Omega$  atau jika diprosentasikan menjadi 2,16 % dari data setting, kemudian pada GI Godean- GI Kentungan memiliki selisih perbedaan paling besar adalah  $0,048 \Omega$  atau jika diprosentasikan menjadi 2,06 % dari data setting. Jika ditinjau dengan SPLN T5.002-1:2010 tentang Proteksi dan Kontrol Penghantar maka nilai perhitungan masih memenuhi syarat untuk dapat beroperasi serta layak digunakan karena batas perbedaan impedansi yang diatur adalah maksimal 10%, dan kinerja relay masih dapat dikatakan baik dan layak untuk menangani gangguan yang terjadi.

Kata kunci: Relay Jarak, Zona Setting, Resistansi, Induktansi, impedansi, Saluran Transmisi

*Transmission line plays an important role in the electric power system to distribute electricity from power plant to substation. The continuity on distribution of electrical energy is needed to support power system reliability. Distance relays is one of the main protection for either high voltage line transmission 150 kV. Distance relay work by deviding scope of protection zone into three zone that is: zone 1, zone 2, and zone 3, in the research, the calculatioan of disance relay setting calculation was done manually and then this calculation compared with the data setting in the Bantul- Godean- Kentungan Substation. From the data already analiyzed, ratio of distance relay setting value applied at Bantul- Godean- Kentungan substation with manual calculation setting value have the biggest difference with the value of  $R = 0.016 \Omega$  and the value of  $X = 0.063 \Omega$  or if converted to percent is 2,16% from the data settings, and then at Godean-Kentungan Substation have the biggest difference is  $0,048 \Omega$  or if converted to percent is 2,06 % from the data settings, if reviewed with the standard PLN (SPLN T5.002-1:2010) about conductor control and protection that calculation still qualified to operation and feasible to use, because the set impedance difference limit a maximum of 10%, and relay performance is still good and feasible to handle the interference.*

Keyword: Distance Relay, Resistance, Inductance, Impedance, And Transmission Line.

## I. PENDAHULUAN

Komponen penting yang memegang peranan yang sangat vital yaitu saluran transmisi sehingga pengamanan pada saluran transmisi perlu mendapat perhatian khusus. Pengaman pada sistem tenaga listrik yaitu menggunakan relay proteksi yang berfungsi mendeteksi keadaan tidak normal yang terjadi pada sistem saluran transmisi energi listrik. Salah satu proteksi yang digunakan pada

Saluran Transmisi Listrik Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV adalah *relay* jarak (*distance relay*).

*Relay* Jarak digunakan sebagai pengaman pada saluran transmisi karena kemampuannya dalam meminimalisir dan menghilangkan gangguan dengan cepat, Selain sebagai proteksi utama penghantar, relay ini juga berfungsi sebagai proteksi cadangan jauh terhadap

proteksi utama penghantar di depannya. Pada prinsip kerjanya relay jarak membandingkan nilai arus gangguan dan tegangan pada lokasi yang sama sehingga nilai impedansi sampai titik terjadinya gangguan dapat ditentukan.

Koordinasi *relay* dibutuhkan agar dapat mengisolasi gangguan dengan tepat, Untuk itu diperlukan analisa perhitungan untuk mengatur relay jarak (*distance relay*). Berdasarkan hal tersebut dalam penelitian ini akan di bahas mengenai Analisis Perhitungan Setting Relay Jarak (*Distance Relay*) Pada Sistem Transmisi Listrik Tegangan Tinggi 150 kV, Gardu Induk 150 kV Bantul- Godean- Kentungan.

Penelitian ini bertujuan menghitung nilai impedansi sesuai zona proteksi *relay* jarak (*distance relay*) yaitu zona 1, zona 2, dan zona 3, kemudian membandingkan nilai hasil perhitungan yang dilakukan dengan data setting relay jarak yang diterapkan di gardu induk sesuai dengan SPLN T5.002-1:2010 serta menganalisis kinerja relay jarak ketika terjadi gangguan di saluran transmisi.

Penelitian hanya mencakup relay jarak di GI Bantul-Godean-Kentungan, dan hanya mencakup perhitungan impedansi sesuai dengan zona proteksi relay jarak.

## II. LANDASAN TEOR

### 2.1 Relay Jarak (*Distance Relay*)

Pada umumnya proteksi yang banyak diterapkan pada saluran transmisi adalah menggunakan relay jarak (*distance relay*), penggunaan relay jarak sebagai pengaman saluran transmisi lebih baik dan tidak mudah terpengaruh dengan perubahan sumber daya dan konfigurasi jaringan.

Disebut relay jarak, karena impedansi pada saluran transmisi besarnya akan sebanding dengan panjang saluran, Relay jarak bekerja dengan perbandingan tegangan dan arus gangguan untuk mendapatkan nilai impedansi saluran yang harus diamankan sebagai inputan dari trafo instrumentasi yang kemudian dibandingkan dengan setting relay jarak yang diterapkan apabila nilai impedansi yang terukur diluar batas pengaturannya, maka relay akan bekerja, dan akan memberi perintah lepas (*tripping*) kepada pemutus tenaga (PMT)/circuit breaker (CB) sesuai dengan waktu yang diterapkan pada setting relay untuk memisahkan sistem yang terganggu dengan sistem yang aman namun, pada relay jarak tidak hanya tergantung pada besarnya arus gangguan yang terjadi, tetapi jarak gangguan yang terjadi

pada saluran transmisi. Relay jarak bekerja dengan membagi zona proteksi menjadi tiga bagian yaitu pengaman zona 1, pengaman zona 2, dan pengaman zona 3, relay jarak dilengkapi dengan peralatan teleproteksi (TP)/pengirim sinyal agar relay jarak dapat selalu bekerja dengan cepat, selektif dan tepat sesuai zona proteksinya.

### 2.2 Prinsip Kerja Relay Jarak

Relay jarak atau *distance relay* bekerja dengan mengukur tegangan pada lokasi relay terpasang (*apparent impedance*) dan arus gangguan yang terlihat dari relay (*batas jangkauan/reach setting*), dengan membagi besaran tegangan dan arus gangguan, maka impedansi sampai titik terjadinya gangguan dapat di tentukan. Perhitungan impedansi dapat dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

$$Z = V/I \quad (1)$$

Dimana:

Z = Impedansi (ohm/ $\Omega$ )

V = Tegangan (Voltage/ V)

I = Arus Gangguan (Ampere/ A)

Dari perhitungan impedansi dapat diketahui pengaruh nilai impedansi terhadap lokasi gangguan yang terjadi, ketika lokasi gangguan berada dalam jarak yang jauh maka nilai impedansinya akan besar hal ini disebabkan karena nilai arus gangguan yang terjadi kecil, sedangkan ketika lokasi gangguan berada dalam jarak yang dekat maka nilai impedansinya akan kecil karena nilai arus gangguan yang terjadi sangat besar. Hal inilah yang menjadi dasar relay dapat menentukan estimasi jarak gangguan yang terjadi karena besarnya nilai impedansi akan sebanding dengan panjang saluran transmisi.

### 2.3 Perhitungan Resistansi Bahan Konduktor

Resistansi merupakan kemampuan suatu konduktor untuk dapat menahan arus listrik. Setiap konduktor memiliki hambatan jenis tersendiri tergantung bahan/logam yang digunakan konduktor tersebut, penghantar yang mempunyai penampang lintang yang lebih lebar akan memiliki hambatan yang kecil, karena mengandung lebih banyak elektron, sedangkan konduktor yang mempunyai lintang penampang yang lebih kecil, memiliki hambatan yang besar, karena semakin banyak

atom-atom yang akan menghambat gerak elektron bebas, sehingga arus listrik yang dialirkan akan terus berkurang. Kenaikan temperatur suhu akan mempengaruhi nilai Resistansi (resistivitas) suatu bahan, hal ini dikarenakan elektron akan terus bergerak lebih aktif dan akan terjadi tumbukan sehingga arus listrik menjadi terhambat. Resistansi dari suatu konduktor dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$R = \rho l/A \quad (2)$$

dimana:

- $\rho$  = resistivitas ( $\Omega/m$ )
- $l$  = panjang penghantar (m)
- $A$  = luas penampang ( $mm^2$ )

Untuk memperoleh resistansi arus searah hasil perhitungan harus dikalikan dengan ketentuan dibawah ini:

- dikalikan dengan 1,0 untuk penghantar padat (solid wire)
- dikalikan dengan 1,01 untuk penghantar pilin yang terdiri dari 2 lapis
- dikalikan dengan 1,02 untuk penghantar pilin lebih dari 2 lapis

Tabel 2.1 koefisien temperatur dari matrial konduktor standar

Matrial	$T_0^\circ C$	Koefisien temperatur resistansi $\times 10^{-3}$						
		$\alpha_0$	$\alpha_{20}$	$\alpha_{25}$	$\alpha_{50}$	$\alpha_{75}$	$\alpha_{80}$	$\alpha_{100}$
Cu 100%	234,5	4,27	3,93	3,85	3,52	3,25	3,18	2,99
Cu 97,5%	241,0	4,15	3,83	3,76	3,44	3,16	3,12	2,93
Al 61%	228,1	4,38	4,03	3,95	3,60	3,30	3,25	3,05

Tabel 2.2 Resistivitas Bahan Penghantar Standar

Matrial	Resistivitas (mikro-Ohm-meter)						
	$\alpha_0$	$\alpha_{20}$	$\alpha_{25}$	$\alpha_{50}$	$\alpha_{75}$	$\alpha_{80}$	$\alpha_{100}$
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

sedangkan untuk mencari nilai  $t_2$  adalah sebagai berikut:

$$R_{t2} = R_{t1} [1 + \alpha t_1 (t_2 - t_1)] \quad (3)$$

dimana:

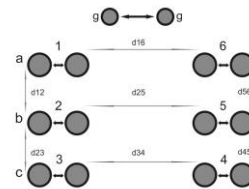
- $R_{t2}$  = resistansi pada kenaikan temperatur  $t_2$

- $R_{t1}$  = resistansi pada kenaikan temperatur  $t_1$
- $\alpha$  = koefisien temperatur dari resistansi penghantar pada saat temperatur  $t_1^\circ C$

## 2.4 Perhitungan Induktansi Bahan Konduktor

Untuk perhitungan reaktansi induktif suatu konduktor pada saluran transmisi digunakan rumus sebagai dibawah ini terdapat dua metode yang dapat digunakan yaitu *GMR* (*geometric mean radius*) dan *GMD* (*geometric mean distance*)

Pada saluran fasa tunggal dengan jalur kabel berjumlah 2 maka berlaku:



Gambar 2.1 Jarak Konduktor

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

$$X = 2 \times \pi \times F \times L \Omega/mile \quad (4)$$

Pada saluran ganda dengan fasa tiga yang memiliki 2 bundle penghantar maka berlaku rumus sebagai berikut:

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

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{GMD}{GMR} H/m$$

$$X = 2 \times \pi \times F \times L \Omega/km \quad (5)$$

$D_{eq}$  untuk metode *GMD* mensyaratkan pemakaian  $D_{ab}^p$ ,  $D_{bc}^p$ ,  $D_{ca}^p$ , dimana *subskrip* menunjukkan kuantitas- kuantitas ini sendiri, adalah nilai-nilai *GMD* yang mana  $D_{ab}^p$  adalah antar kawat penghantar fasa a dan fasa b, sehingga:

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

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

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

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

untuk *GMR* adalah perkalian faktor *GMR* dengan radius dari luas Kawat penghantar, dengan perhitungan sebagai berikut:

Tabel 2.3 Faktor GMR

Lapisan Kawat	Jumlah Pilin ( <i>Strands</i> )	Faktor GMR ( <i>k</i> )
	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

$$Radius = \sqrt[2]{\frac{L}{\pi}} \quad (6)$$

$$GMR = k \cdot r$$

$k$  = faktor GMR

$r$  = radius konduktor

## 2.5 Pengaturan Relay Jarak

### A. Pengamanan Zona 1

Daerah ini harus dapat menjangkau sejauh mungkin dari saluran yang diamankan tetapi tidak boleh melampaui agar tidak terjadi tumpang tindih dengan pengamanan seksi berikutnya. Berdasarkan perkiraan kesalahan-kesalahan dari trafo arus, trafo tegangan atau kesalahan *relay* sendiri maka zona 1 ini diatur untuk mengamankan 80-85% dari panjang saluran yang diamankan, sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Z_1 = \alpha \times Z_{L1} \quad (7)$$

$$Z_{\text{Sekunder Relay}} = \frac{n_{CT}}{n_{PT}} \times Z_{\text{zona}} \quad (8)$$

dimana:

$Z_1$  = impedansi zona 1

$\alpha$  = 0,8

$Z_{L1}$  = impedansi panjang saluran L1

$n_{CT}$  = rasio transformator arus

$n_{PT}$  = rasio transformator tegangan

Dengan waktu kerja *relay* seketika ( $t_1=0$ )

### B. Pengamanan Zona 2

Tujuan pengamanan zona 2 adalah sebagai berikut:

- Mengamankan sisa saluran yang tidak tercakup oleh pengamanan zona 1 dan sebagian saluran berikutnya sehingga, zona 2 harus dapat mencapai *relay* diujung saluran yang diamankan walaupun misalnya terjadi kesalahan yang menyebabkan jangkauan *relay* kurang. Batasan ini menentukan

pengaturan minimum *relay* untuk zona 2 yaitu :

$$Z_{2 \min} = \beta \times Z_{L1} \quad (9)$$

dimana:

$$\beta = 1,15 - 1,2$$

- merupakan pengamanan cadangan (*backup protection*) untuk zona 1 sesi berikutnya tetapi tidak tumpang tindih dengan zona 2 sesi berikutnya sehingga pengaturan maksimum untuk zona 2 adalah sebagai berikut:

$$Z_{2 \max} = \alpha(Z_{L1} + \alpha \times Z_{L2}) \quad (10)$$

$$Z_{2 TRF} = \alpha(Z_{L1} + 0,5 \times Z_{TRF}) \quad (11)$$

dimana:

$Z_{2 \max}$  = impedansi zona 2 maksimal

$Z_{L2}$  = impedansi panjang saluran L2

$\alpha$  = 80% = 0,8

dengan waktu kerja *relay* ( $t_2 = 0,4-0,8$  detik)

karena penyetelan zona 2 tumpang tindih

dengan zona 1 sesi berikutnya maka waktu

kerja *relay* di perlambat dengan waktu tertentu.

### C. Pengamanan Zona 3

Pengamanan zona 3 merupakan pengamanan cadangan untuk seluruh seksi berikutnya sehingga jangkauan zona 3 harus dapat mencapai ujung saluran sesi berikutnya tetapi tidak boleh tumpang tindih dengan zona 3 sesi berikutnya, disamping itu jangkauan zona 3 diusahakan tidak mencapai *relay* yang terletak setelah trafo daya pada rel diujung saluran yang diamankan, sehingga pengaturan zona 3 adalah sebagai berikut:

$$Z_{3 \min} = \beta \times (Z_{L1} \times Z_{L2}) \quad (12)$$

$$Z_{3 \max} = \alpha \times [Z_{L1} + \alpha(Z_{L2} + (\alpha \times Z_{L3}))] \quad (13)$$

$$Z_{3 TRF} = \alpha \times (Z_{L1} + 0,8 \times Z_{TRF}) \quad (14)$$

dimana:

$\beta$  = 1,15 - 1,2

$\alpha$  = 0,8

$Z_{L3}$  = impedansi panjang saluran L3

$Z_{3 \min}$  = impedansi zona 3 minimal

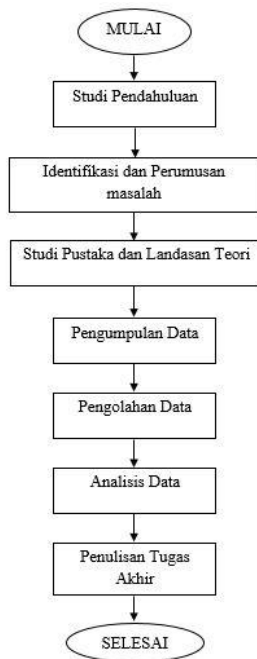
$Z_{3 \max}$  = impedansi zona 3 maksimal

Dengan waktu kerja *relay* ( $t_3 = 1,2 - 1,6$  detik)

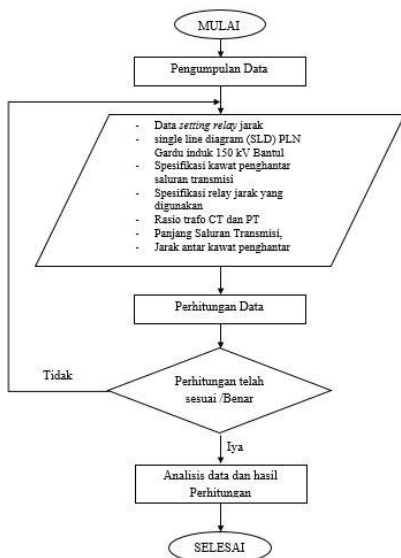
## III. METODOLOGI

Lokasi penelitian tugas akhir dilaksanakan di Gardu Induk 150 kV Bantul yang berlokasi di jalan Parangtritis KM 7 Sewon, Bangunharjo, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta, sedangkan untuk pengambilan data yang berkaitan dengan sistem transmisi tenaga listrik

(SUTT) seluruh Yogyakarta dan Jawa Tengah, yang bertanggungjawab adalah PT. PLN (Persero) APP Salatiga yang berlokasi di jalan Diponegoro No. 149, Sidorejo Lor, Sidorejo, Kota Salatiga, Jawa Tengah. Data sekunder yang terdiri dari Studi Literature Dan Bimbingan Konsultasi yaitu 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.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alir Pengumpulan dan Pengolahan Data

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Spesifikasi Kawat Penghantar GI Bantul-Godean-Kentungan

Dari hasil pengumpulan data yang dilakukan selama penelitian, jenis kawat penghantar yang digunakan pada saluran udara tegangan tinggi GI Bantul, GI Godean dan GI Kentungan adalah jenis kawat penghantar ACSR 240/40 mm<sup>2</sup> dengan spesifikasi sebagai berikut:

- 1) Luas Area
  - Besi : 39,5 mm<sup>2</sup>
  - Alumuniun : 243 mm<sup>2</sup>
  - Total : 282 mm<sup>2</sup>
- 2) Diameter kawat penghantar keseluruhan
  - Inti : 8,04 mm
  - Total : 21,9 mm
- 3) Resistivitas pada suhu 20° = 0,1188 Ω/km
- 4) Jumlah pilin = 61 buah
- 5) Radius = 0,008740 m
- 6) Faktor GMR = 0,772
- 7) Panjang kawat penghantar GI Bantul – GI Godean = 13,211 km
- 8) Panjang Kawat pengantar GI Godean – GI kentungan = 9,1771 km

Rasio tranformator CT dan transformator PT yang digunakan di GI Bantul dan GI Godean memiliki perbedaan yaitu sebagai berikut:

#### Rasio Trafo CT dan PT pada **GI Bantul**

- Trafo CT : 1000 Ampere/1 Ampere
- Trafo PT : 150 kV/100 Volt

#### Rasio Trafo CT dan PT pada **GI Godean**

- Trafo CT : 600 Ampere/1 Ampere
- Trafo PT : 150 kV/100 Volt

### 4.2 Perhitungan Resistansi Kawat Konduktor

Konduktor yang digunakan pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) GI Bantul - GI Godean - GI Kentungan adalah jenis ACSR 240/40 mm<sup>2</sup> sehingga dapat dihitung nilai resistivitas bahan konduktor berdasarkan persamaan (2-3) adalah sebagai berikut:

Jenis kawat penghantar adalah ACSR 240/40 mm<sup>2</sup>, dengan  $\rho_{20}$  adalah 2,83 mikro ohm cm = 2,83 x 10<sup>-11</sup> ohm kilometer

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

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

Sehingga diperoleh:

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

Karena kawat penghantar yang digunakan adalah kawat berkas/konduktor pilin (stranded conductor) lebih dari 2 lapis maka harus dikalikan dengan 1,02, sehingga,

$$R_{20} = 1,02 \times 0,117916 \Omega/\text{km} = 0,120274 \Omega/\text{km}$$

Setelah diketahui nilai R pada temperatur 20°C maka untuk mencari R pada temperatur 50°C adalah sebagai berikut:

Berdasarkan tabel 2.1 nilai  $\alpha_{20}$  adalah  $4,03 \times 10^{-3}$  sehingga,

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

$$T_0 = \left( \frac{1}{0,00403} \right) - 20 = 228,1389575$$

$$R_{50} = R_{20} \frac{(T_0 + t_2)}{(T_0 + t_1)}$$

$$= 0,120274 \left( \frac{228,1389575 + 50}{228,1389575 + 20} \right)$$

$$= 0,13481512 \Omega/\text{km}$$

### 4.3 Perhitungan Induktansi Bahan Konduktor

Tabel 4.1 Jarak Antar Konduktor

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

Berdasarkan tabel 4.1 maka dapat diketahui: Untuk menghitung  $D_{eq}$ , metode GMD mensyaratkan pemakaian  $D_{12}^p$ ,  $D_{23}^p$ , dan  $D_{31}^p$ ,

sehingga nilai GMD fasa-fasa adalah sebagai berikut:

$$D_{12}^p = D_{23}^p = \sqrt[4]{(D_{12} + D_{15})^2}$$

$$= \sqrt[4]{(1,5 + 5,70)^2}$$

$$= 2,9240 \text{ m}$$

$$D_{31}^p = \sqrt[4]{(D_{31} + D_{34})^2} = \sqrt[4]{(3 + 5,5)^2} = 4,0620 \text{ m}$$

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{12}^p \times D_{31}^p \times D_{23}^p}$$

$$D_{eq} = \sqrt[3]{2,9240 \times 4,0620 \times 2,9240} = 3,2626 \text{ m}$$

Sedangkan untuk GMR adalah perkalian faktor GMR = 0,772 dengan radius dari luas Kawat penghantar 240 mm<sup>2</sup>, dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Radius} = \sqrt[2]{\frac{A}{\pi}} = \sqrt[2]{\frac{240}{\pi}} = 8,740 \text{ mm}$$

$$= 0,008740 \text{ m}$$

$$GMR = \text{faktor GMR} \times \text{Radius} = 0,772 \times 0,008740 \text{ m} = 0,006747 \text{ m},$$

sehingga, dapat dihitung nilai L sebagai berikut:

$$L = 2 \times 10^{-7} \text{Ln} \frac{GMD}{GMR}$$

$$= 2 \times 10^{-7} \text{Ln} \frac{3,2626}{0,006747}$$

$$= 1,2362$$

$$\times 10^{-6} \text{H/meter per fasa}$$

Sehingga,

$$1,2362 \times 10^{-6} \text{H/meter per fasa} \times 1000$$

$$= 1,2362$$

$$\times 10^{-3} \text{H/Km per fasa}$$

$$XL = 2 \times \pi \times F \times L \Omega/\text{km per fasa}$$

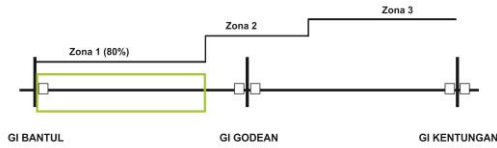
Jadi, untuk nilai XL adalah:

$$XL = 2 \times \pi \times 50 \times 1,2362$$

$$\times 10^{-3} \text{H/Km per fasa}$$

$$= 0,38836 \Omega/\text{Km/ fasa}$$

#### 4.4 Perhitungan Zona Proteksi Relay Jarak GI Bantul- GI Godean



Gambar 4.1 zona 1 relay jarak GI Bantul-Godean

##### Zona 1 X (Z1)

$$XL11 = L11 \times XL = 13,211 \times 0,3883 \Omega/km = 5,129 \Omega/km$$

$$XZ1P = 0,8 \times XL11 = 0,8 \times 5,129 = 4,103 \Omega$$

$$XZ1_S = XZ1P \times \frac{CT}{PT} = 4,338 \times \frac{1000}{1500} = 4,103 \times 0,667 = 2,736 \Omega$$

$$XZ1_{SET} = XZ1_S + (XZ1_S \times 0,042) = 2,736 + (2,736 \times 0,042) = \mathbf{2,850 \Omega}$$

maka untuk  $XEZ1_{SET} = XZ1_{SET}$  yaitu 2,850  $\Omega$

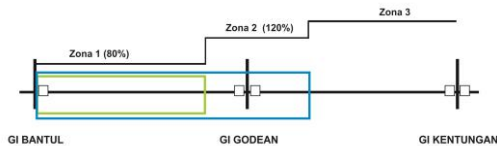
##### R (Z1)

$$RL11 = L1 \times R = 13,211 \times 0,1348 = 1,78 \Omega$$

$$RZ1P = 0,8 \times RL11 + RarcPP = 0,8 \times 1,78 + 0,304 = 1,728 \Omega$$

$$RZ1_S = RZ1P \times \frac{CT}{PT} = 1,752 \times \frac{1000}{1500} = 1,728 \times 0,667 = \mathbf{1,152 \Omega}$$

maka untuk  $RZ1_{SET} = RZ1_S$  yaitu 1,152  $\Omega$  dengan waktu kerja 0 detik



Gambar 4.2 zona 2 relay jarak GI Bantul-Godean

##### Zona 2

X (Z2) dengan faktor infeed = 1

$$XL21 = L2 \times XL = 9,1771 \times 0,3883 \Omega/km = 3,563 \Omega/km$$

$$XZ2_{min} = 1,2 \times XL11 = 1,2 \times 5,129 = \mathbf{6,154 \Omega}$$

dipilih impedansi trafo distribusi yang terbesar yang ada di GI Godean yaitu: 92,483  $\Omega$

$$XT11 = 92,483 \Omega \text{ di imajinerkan menjadi } 92,483j$$

$$XZ2_{max} = 0,8(XL11 + 0,8 \times XL21 \times infeed) = 0,8(5,129 + 0,8 \times 3,563 \times 1) = \mathbf{6,383 \Omega}$$

$$XZ2_{TRF} = 0,8(XL11 + 0,5 \times XT11j) = 0,8(5,129 + 0,5 \times 92,483j) = 0,8(5,129 + 46,2415j)$$

$$= 4,1032 + 36,9932j = \mathbf{37,220 \Omega, 83,67^\circ}$$

$$XZ2_B = XL11 + 0,8 \times XL21 = 5,129 + 0,8 \times 3,563 = \mathbf{7,979 \Omega}$$

Maka dipilih Z2 terbesar namun tidak melebihi XZ2 trafo dan XZ2 beban

$$XZ2P = XZ2_{max} = 6,383 \Omega$$

$$XZ2_S = XZ2P \times \frac{CT}{PT} = 6,383 \times \frac{1000}{1500} = 6,383 \times 0,667 = 4,257 \Omega$$

$$XZ2_{SET} = XZ2_S + (XZ2_S \times 0,042) = 4,257 + (4,257 \times 0,042) = \mathbf{4,435 \Omega}$$

maka untuk  $XEZ2_{SET} = XZ2_{SET}$  yaitu 4,435  $\Omega$

##### R (Z2)

$$RL11 = L1 \times R = 13,211 \times 0,1348 = 1,78 \Omega$$

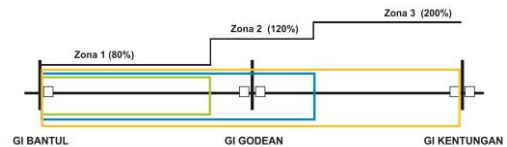
$$RL21 = L2 \times R = 9,1771 \times 0,1348 = 1,237 \Omega$$

$$RZ2P = 0,8 \times (RL11 + 0,8 \times RL21 \times infeed) + RarcPP$$

$$= 0,8 \times (1,78 + 0,8 \times 1,237 \times 1) + 0,304 = 2,519 \Omega$$

$$RZ2_S = RZ2P \times \frac{CT}{PT} = 2,519 \times \frac{1000}{1500} = 2,519 \times 0,667 = \mathbf{1,680 \Omega}$$

maka untuk  $RZ2_{SET} = RZ2_S$  yaitu 1,680  $\Omega$



Gambar 4.3 zona 1 relay jarak GI Bantul-Godean

##### Zona 3

X (Z3) dengan faktor infeed = 1

$$XL11 = L1 \times XL = 13,211 \times 0,3883 \Omega/km = 5,129 \Omega/km$$

$$XL31 = L3 \times XL = 9,1771 \times 0,3883 \Omega/km = 3,563 \Omega/km$$

$$XL41 = L4 \times XL = 10,663 \times 0,3883 \Omega/km = 4,140 \Omega/km$$

dipilih impedansi trafo distribusi yang terbesar di GI Godean yaitu: 92,483  $\Omega$

$$XT11 = 92,483 \Omega \text{ di imajinerkan menjadi } 92,483j$$



$$XZ3 = 1,2 \times (XL11 + XL31) = 1,2 \times (5,129 + 3,563) = \mathbf{10,430 \Omega}$$

$$XZ3_{min} = 0,8 \times (XL11 + 1,2 \times XL31 \times infeed) = 0,8 \times (5,129 + 1,2 \times 3,563 \times 1) = \mathbf{7,523 \Omega}$$

$$XZ3_{mak} = 0,8 \times [XL11 + infeed \times [0,8 \times (XL31 + 0,8 \times XL41)]] = 0,8 \times [5,129 + 1 \times [0,8 \times (3,563 + 0,8 \times 4,140)]] = 0,8 \times [5,129 + [1 \times 5,5]] = \mathbf{8,503 \Omega}$$

$$XZ3_{TRF} = 0,8(XL11 + 0,8 \times XT11j) = 0,8(5,129 + 0,8 \times 92,483j) = 0,8(5,129 + 73,986j) = 4,1032 + 59,1888j = \mathbf{59,330 \Omega, 86,03^\circ}$$

$$XZ3_b = XL11 + [infeed \times 0,8 \times (XL31 + 0,8 \times XL41)] = 5,129 + [1 \times 0,8 \times (3,563 + 0,8 \times 4,140)] = 5,129 + [1 \times 0,8 \times (6,875)] = \mathbf{10,629 \Omega}$$

Maka dipilih Z3 terbesar namun tidak melebihi XZ3 trafo dan XZ3 beban

$$XZ3P = XZ3 = \mathbf{10,430 \Omega}$$

$$XZ3_s = XZ3_{mak} \times \frac{CT}{PT} = 10,430 \times \frac{1000}{1500} = 10,430 \times 0,667 = \mathbf{6,956 \Omega}$$

$$XZ3_{SET} = XZ3_s + (XZ3_s \times 0,042) = 6,956 + (6,956 \times 0,042) = \mathbf{7,248 \Omega}$$

maka untuk XEZ3<sub>SET</sub> = XZ3<sub>SET</sub> yaitu 7,248 Ω

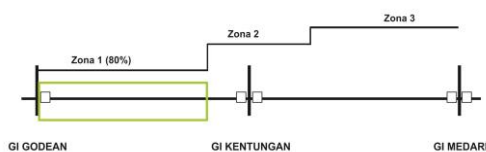
### R (Z3)

$$RZ3P = 1,2 \times (RL21 + RL31 \times infeed) + (0,5 \times RarcPP) = 1,2 \times (1,237 + 1,237 \times 1) + (0,5 \times 0,304) = 1,2 \times (2,474 \times 1) + (0,152) = 3,120 \Omega$$

$$RZ3_s = RZ3P \times \frac{CT}{PT} = 3,120 \times \frac{1000}{1500} = 3,120 \times 0,667 = \mathbf{2,081 \Omega}$$

maka untuk RZ3<sub>SET</sub> = RZ3<sub>s</sub> yaitu 2,081 Ω

## 4.5 Perhitungan Zona Proteksi Relay Jarak GI Godean-GI Kentungan



Gambar 4.4 zona 1 relay jarak GI Godean-Kentungan

### ZONA 1

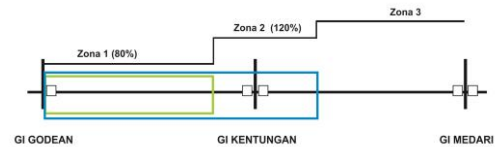
$$ZL11 = (RL11 + jXL11) \times L1 = (0,1348 + 0,3883 \Omega/km) \times 9,1771km$$

$$= 1,2370 + j3,5634 = \mathbf{3,7720 \Omega, 70,85^\circ}$$

$$Z1P = 0,8 \times ZL11 = 0,8 \times 3,7720 \Omega = 3,0176 \Omega$$

$$Z1S = Z1P \times \frac{CT}{PT} = 3,0176 \Omega \times \frac{600}{1500} = 3,0176 \times 0,4 = \mathbf{1,2070 \Omega}$$

Maka untuk zona 1 adalah **1,2070 Ω, 70,85°** dengan waktu kerja relay adalah 0 detik.



Gambar 4.5 zona 2 relay jarak GI Godean-Kentungan

### ZONA 2

$$ZL11 = (RL11 + jXL11) \times L1 = (0,1348 + 0,3883 \Omega/km) \times 9,1771km$$

$$= 1,2370 + j3,5634 = \mathbf{3,7720 \Omega, 70,85^\circ}$$

$$ZL21 = (RL21 + jXL21) \times L2 = (0,1348 + 0,3883 \Omega/km) \times 10,638 km$$

$$= 1,4340 + j4,1307 = \mathbf{4,3725 \Omega, 70,85^\circ}$$

dipilih impedansi yang terbesar yaitu:

$$Z_{TRFj} = 46,575 \Omega \text{ di imajinerkan menjadi } 46,575j$$

$$Z2_{min} = 1,2 \times ZL11 = 1,2 \times 3,7720 \Omega = \mathbf{4,5264 \Omega}$$

$$Z2_{mak} = 0,8 \times (ZL11 + 0,8 \times ZL21) = 0,8 \times (3,7720 + 0,8 \times 4,3725) = 0,8 \times (7,27) = \mathbf{5,816 \Omega}$$

$$Z2_{TRF} = 0,8 \times (ZL11 + 0,5 \times Z_{TRFj}) = 0,8 \times (1,2370 + j3,5634 + 0,5 \times j46,575) = 0,8 \times (1,2370 + 26,8509j) = 0,9896 + 21,48072j = \mathbf{21,503 \Omega, 87,36^\circ}$$

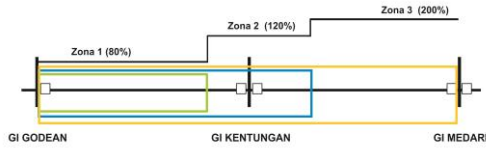
$$Z2_B = ZL11 + 0,8 \times ZL21 = 3,7720 + 0,8 \times 4,3725 = \mathbf{7,27 \Omega}$$

Dipilih impedansi zona 2 terbesar namun tidak melebihi impedansi Trafo

$$Z2P = Z2_{mak} = 1,9078 + 5,49416j = \mathbf{5,816, 70,85^\circ} \text{ (Pimer)}$$

$$Z2S = Z2P \times \frac{CT}{PT} = 5,816 \Omega \times \frac{600}{1500} = 5,816 \times 0,4 = \mathbf{2,3264 \Omega} \text{ (Sekunder)}$$

Maka untuk zona 2 adalah  $2,3264 \Omega$ ,  $70,85^\circ$  dengan waktu kerja *relay* adalah 0,4 detik.



Gambar 4.6 zona 3 relay jarak GI Godean-Kentungan

### ZONA 3 FORWARD

Dengan faktor infeed = 1,0

$$\begin{aligned} ZL11 &= (RL11 + jXL11) \times L1 = (0,1348 + 0,3883 \Omega/km) \times 9,1771 km \\ &= 1,2370 + j3,5634 = \mathbf{3,7720 \Omega, 70,85^\circ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ZL21 &= (RL21 + jXL21) \times L2 = (0,1348 + 0,3883 \Omega/km) \times 10,638 km \\ &= 1,4340 + j4,1307 = \mathbf{4,3725 \Omega, 70,85^\circ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ZL31 &= (RL31 + jXL31) \times L3 \\ &= (0,1348 + 0,3883 \Omega/km) \\ &\quad \times 31,912 km \\ &= 4,3017 + j12,3914 \\ &= \mathbf{13,1168 \Omega, 70,85^\circ} \end{aligned}$$

dipilih impedansi yang terbesar yaitu:

$$Z_{TRFj} = 46,575 \Omega \text{ di imajinerkan menjadi } 46,575j$$

$$\begin{aligned} Z3_{min} &= 1,2 \times (ZL11 + ZL21) = 1,2 \times \\ &(3,7720 + 4,3725) = \mathbf{9,7734 \Omega} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z3_{mak} &= 0,8 \times ZL11 + 0,8 \\ &\quad \times (ZL21 + 0,8 \times ZL31) \\ &= 0,8 \times 3,7720 + 0,8 \\ &\quad \times (4,3725 + 0,8 \times 13,1168) \\ &= 3,0176 + 0,8 \times (14,8659) \\ &= \mathbf{14,9103 \Omega} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z3_{TRF} &= 0,8 \times (ZL11 + 0,8 \times Z_{TRFj}) \\ &= 0,8 \times (1,2370 + j3,5634 \\ &\quad + 0,8 \times 46,575j) \\ &= 0,8 \times (1,2370 + 40,8234j) \\ &= 0,9896 + 32,6587j \\ &= \mathbf{32,6736 \Omega, 88,26^\circ} \end{aligned}$$

Dipilih impedansi zona 3 terbesar namun tidak melebihi impedansi Trafo

$$Z3P = Z3_{mak} = 4,8912 + 14,0852j = \mathbf{14,9103, 70,85^\circ} \text{ (Primer)}$$

$$\begin{aligned} Z3S &= Z3P \times \frac{CT}{PT} = 14,9103 \Omega \times \frac{600}{1500} = \\ &14,9103 \times 0,4 = \mathbf{5,9641 \Omega} \text{ (Sekunder)} \end{aligned}$$

Maka untuk zona 3 adalah  $5,9641 \Omega$ ,  $70,85^\circ$  dengan waktu kerja *relay* adalah 1,6 detik.

Tabel 4.2 Perbandingan setting Relay Jarak GI Bantul-GI Godean

Nilai <i>setting relay</i> jarak hasil perhitungan Manual	Nilai <i>setting relay jarak</i> yang ditetapkan di Gardu Induk	Perbedaan	Keterangan
R1 PP 1,152 $\Omega$	R1 PP 1,168 $\Omega$	1,36%	Zona 1
X1 PP 2,850 $\Omega$	X1 PP 2,913 $\Omega$	2,16%	
R2 PP 1,680 $\Omega$	R2 PP 1,704 $\Omega$	1,40%	Zona 2
X2 PP 4,435 $\Omega$	X2 PP 4,532 $\Omega$	2,14%	
R3 PP 2,081 $\Omega$	R3 PP 2,113 $\Omega$	1,51%	Zona 3,
X3 PP 7,248 $\Omega$	X3 PP 7,405 $\Omega$	2,12%	Forward

Tabel 4.3 Perbandingan setting Relay Jarak GI Godean-GI Kentungan

Nilai <i>setting relay</i> jarak hasil perhitungan Manual	Nilai <i>setting relay jarak</i> yang ditetapkan di Gardu Induk	Perbedaan	Keterangan
1,207 $\Omega$	1,232 $\Omega$	2,02%	Zona 1
2,3264 $\Omega$	2,375 $\Omega$	2,06%	Zona 2
Maks: 5,816 $\Omega$	-		
5,9641 $\Omega$	6,088 $\Omega$	2,03%	Zona 3,
Maks: 14,9103 $\Omega$	-		Forward
0,1508 $\Omega$	0,1540 $\Omega$	2,07%	Zona 4, Reverse

## V. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian mengenai Analisis Perhitungan *Setting Relay* Jarak Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV Gardu Induk Bantul- Godean- Kentungan, yang kemudian dilakukan perbandingan dengan standar yang digunakan maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil perbandingan perhitungan manual dengan data *setting* pada GI Bantul- GI Godean nilai *setting* zona 1, zona 2, dan zona 3, hasil perhitungan *setting* manual *relay* jarak masih dikategorikan memiliki kinerja yang baik karena memiliki perbedaan yang kecil yaitu: pada zona 1 nilai R1 = 1,152  $\Omega$ , nilai X1 = 2,850  $\Omega$ , pada zona 2 nilai R2 = 1,680  $\Omega$ , nilai X2 = 4,435  $\Omega$ , dan pada zona 3 nilai R3 = 2,081  $\Omega$ , nilai X3 = 7,248  $\Omega$ , dari keseluruhan nilai perhitungan *setting* secara manual mempunyai perbedaan terbesar yaitu: 2,16 % dari data *setting* yang diterapkan, sedangkan pada pada GI Godean- GI Kentungan nilai *setting* zona 1, zona 2,

dan zona 3, hasil perhitungan *setting* manual *relay* jarak masih dikategorikan memiliki kinerja yang baik karena memiliki perbedaan yang kecil yaitu: pada zona 1 = 1,207  $\Omega$ , pada zona 2 = 2,3264  $\Omega$ , dan pada zona 3 = 5,9641  $\Omega$ , dari keseluruhan nilai perhitungan *setting* secara manual mempunyai perbedaan terbesar yaitu: 2,07 % dari data *setting* yang diterapkan sehingga nilai perhitungan masih memenuhi standar PT. PLN SPLN T5.002-1:2010 karena nilai perbedaan impedansi yang ditetapkan  $\pm 10\%$  dari data *setting* yang telah diterapkan.

2. Untuk kinerja *relay* jarak saluran udara tegangan tinggi gardu induk Bantul-Godean- Kentungan masih dapat bekerja sesuai dengan zona proteksi dan masih layak operasi hal ini terbukti dengan adanya gangguan yang terjadi di zona 2 akibat adanya ugar di busbar 2 gardu induk Godean yang mengakibatkan hubung singkat dan *relay* jarak mengalami trip

#### DAFTAR PUSTAKA

- Antonius Hamdadi, Fikriansyah. 2014. *Analisa Dan Pengaturan Ulang Relai Jarak Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 KV Keramasan-Bukit Asam*. Jurnal Mikrotiga, vol 1, no. 3 November 2014 ISSN :2355-0457. <http://www.ejournal.unsri.ac.id>
- Arismunandar, Artono. 2001. *Teknik Tegangan Tinggi*. Jakarta: PT. Pradya Paramita
- \_\_\_\_\_. 1993. *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik Jilid II Saluran Transmisi*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita
- \_\_\_\_\_. 1997. *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik Jilid III Gardu Induk*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita
- Bidang Sistem Transmisi (P3B) Jawa Bali. 2015. *Setting Calculation of Distance Relay*. Gandul: PT.PLN
- Cekmas, C. 2013. *Transmisi Daya Listrik*. Yogyakarta: Andi Offset
- Fakhrian, David Dhio. 2017. *Analisis Perhitungan Setting Relay Jarak pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 Kv Gardu Induk Kentungan-Sanggrahan*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Kurniawan, Hasan. 2017. *Pengaruh Resistans Busur Pada Performa Rele Jarak di GI Mojosongo Proteksi Ke Arah GI Banyudono*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Mardensyah, Adrial. 2008. *Studi Perencanaan Koordinasi Rele Proteksi Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi Gardu Induk Gambir Lama-Pulomas*. Tugas Akhir. Universitas Indonesia, Jakarta.
- Micom Relay. *Manual Book*. Alsthom
- Nelwan, Meyer Nixon. 2015. *Penyusutan Energi Listrik Pada Penyulang SU2 Jaringan Distribusi Minahasa Utara*. E-journal Teknik Elektro dan Komputer (2015), ISSN : 2301 – 8402. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/>
- Pandjaitan, Bonar. 2012. *Praktik-Praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Andi Offset
- PT. PLN.2014. *Buku Pedoman Pemeliharaan Proteksi dan Kontrol Penghantar*. Jakarta Selatan. Dokumen nomor: PDM/SGI/15: 2014: PT PLN (Persero)
- Sifang. 2017. *Line Protection IED Technical Application Manual*. Beijing: Beijing Sifang Automation Co., LTD
- Stevenson. W.D. 1983. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Suripto, Slamet, 2014, *Buku Ajar Dasar Sistem Tenaga Listrik*, Yogyakarta: Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
- Syahputra, Ramadoni, 2016, *Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik*, Yogyakarta: LP3M Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
- Thompson M.J. & Heidfeld D.L. 2015. *Transmission Line Setting Calculations - Beyond The Cookbook*. IEEE on 68th Annual Conference for Protective Relay Engineers.
- 
- Penulis:
- Rizky Rahmad Dianto
- Program Studi Teknik Elektro,  
Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan Lingkar Selatan,  
Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta  
55183.
- Email: [rizky.rahmad.2014@ft.umy.ac.id](mailto:rizky.rahmad.2014@ft.umy.ac.id)  
[rizkyrahmaddianto@gmail.com](mailto:rizkyrahmaddianto@gmail.com)