

# Analisa Koordinasi *Setting* Relai Jarak Sistem Transmisi 150 KV Area Gardu Induk Otam – Gardu Induk Isimu

Jendry B. Sepang, Lily S. Patras, Fielman Lisi.  
Jurusan Teknik Elektro-FT, UNSRAT, Manado-95115

Email: Jendribrian@gmail.com, Lilypatras@yahoo.com, fielmanlisi@gmail.com

*Abstract - The 150 KV transmission system at the High Voltage Power Line of Suluttenggo region, especially in the Otam substation area to the Isimu substation is part of the 150 KV transmission subsystem that is often disturbed and makes the distance relay always work.*

*Distance relay works as the main protection on the transmission line and setting on distance relays affect the transmission line safety performance. Incorrect settings will cause slow relays or fail to work. Therefore it is necessary to have a good setting on the distance relay. The distance relay protection zone is divided into 3 protection zones. In order to avoid overlap between protection zones the relay distance setting needs to be coordinated.*

*In this final project, used transmission line connecting the Otam - Lolak - Boroko - Isimu substation. Results of calculation of distance relay on Substation Otam - Lolak zone 1 =  $7,86 \angle 81,4^\circ$  (Ohm) with relay working time (T1) = 0 seconds, Substation Lolak - Boroko zone 1 =  $29,91 \angle 81,4^\circ$  (Ohm) with relay working time (T1) = 0 (sec), Substation Boroko - GI Isimu zone 1 =  $23,63 \angle 81,4^\circ$  (Ohm) with relay working time (T1) = 0 (sec). For zone 2 and zone 3 is set as backup security. In the calculation of zone setting 1, zone 2 and zone 3 are not in accordance with field conditions, because the calculation of line impedance value in the field does not consider the value of line capacitance.*

**Keywords:** *Distance Relay, Setting, Substation, Transmission Line, Zone Protection.*

Abstrak - Saluran udara tegangan tinggi adalah bagian dalam sistem tenaga listrik yang sering mengalami gangguan. Sistem transmisi 150 KV pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) wilayah Suluttenggo, khususnya pada gardu area induk Otam sampai gardu induk Isimu adalah bagian dari subsistem transmisi 150 KV yang sering mengalami gangguan dan membuat relai jarak selalu bekerja.

Relai jarak bekerja sebagai proteksi utama pada saluran transmisi dan *setting* pada relai jarak berpengaruh terhadap kinerja pengaman saluran transmisi. *Setting* yang tidak tepat akan menyebabkan relai jarak lambat atau gagal bekerja. Oleh karena itu perlu adanya *setting* yang baik pada relai jarak. Zona proteksi relai jarak terbagi menjadi 3 zona proteksi. Agar tidak terjadi tumpang tindih antara zona proteksi maka *setting* relai jarak perlu dikoordinasikan.

Dalam tugas akhir ini, diambil saluran transmisi yang menghubungkan gardu induk otam – Lolak – Boroko – Isimu. Hasil perhitungan *setting* relai jarak pada GI Otam – GI Lolak zona 1 =  $7,86 \angle 81,4^\circ$  (Ohm) dengan waktu kerja relai (T1) = 0 detik, GI Lolak – GI Boroko zona 1 =  $29,91 \angle 81,4^\circ$  (Ohm) dan waktu

kerja relai (T1) = 0 (detik), GI Boroko – GI Isimu zona 1 =  $23,63 \angle 81,4^\circ$  (Ohm) dan waktu kerja relai (T1) = 0 (detik). Untuk zona 2 dan zona 3 *disetting* sebagai pengaman cadangan. Pada perhitungan *setting* zona 1, zona 2 dan zona 3 tidak sesuai dengan kondisi lapangan, karena pada perhitungan nilai impedansi saluran di lapangan tidak mempertimbangkan nilai kapasitansi saluran.

**Kata Kunci :** Gardu Induk, Relai Jarak, Saluran Transmisi, *Setting*, Zona Proteksi.

## I. PENDAHULUAN

Dalam Perkembangan teknologi saat ini, kecenderungan masyarakat untuk memanfaatkan energi listrik dalam kehidupan sehari-hari terus meningkat. Hal ini disebabkan karena semakin banyak aktivitas manusia yang memerlukan energi listrik, misalnya untuk keperluan industri, rumah tangga, telekomunikasi, dan lain sebagainya.

Kontinuitas penyaluran tenaga listrik yang baik merupakan dambaan setiap konsumen listrik. Dalam hal ini PT. PLN sebagai perusahaan nasional yang bergerak dalam bidang ketenagalistrikan berusaha meningkatkan sistem tenaga listrik yang sudah ada dan menghimpun seluruh potensi yang dimiliki, sehingga sangat diharapkan mampu mengatasi segala kebutuhan masyarakat akan energi listrik yang memadai, aman, handal, dan kontinu. Akan tetapi pada kenyataannya penyaluran tenaga listrik yang sampai pada konsumen tidaklah lancar dan mudah, selalu terjadi gangguan yang menyebabkan pemadaman yang sangat tidak diharapkan oleh para konsumen.

Agar pemadaman tidak meluas, maka diperlukan pengaman yang dapat memerintah pemutus tenaga untuk memisahkan bagian saluran yang mengalami gangguan. Pengaman yang banyak digunakan adalah relai jarak (distance relai), dimana bila *setting*nya dilaksanakan secara baik, maka akan dapat melokalisir gangguan, sehingga yang bekerja hanya alat yang paling dekat dengan lokasi gangguan.

Sistem transmisi 150 KV pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) wilayah Suluttenggo adalah sistem yang banyak mengalami gangguan. Secara

husus pada gardu induk Otam sampai gardu induk Isimu adalah bagian dari subsistem transmisi 150 KV yang sering mengalami gangguan dan membuat relai jarak selalu bekerja. Relai jarak bekerja sebagai proteksi utama pada saluran transmisi dan *setting* pada relai jarak berpengaruh terhadap kinerja pengaman saluran transmisi. *Setting* yang tidak tepat akan menyebabkan relai jarak lambat atau gagal bekerja.

Dari permasalahan tersebut sehingga penulis mengangkat judul “Analisa Koordinasi *Setting* Relai Jarak Sistem Transmisi 150 KV Area Gardu Induk Otam – Gardu Induk Isimu.”

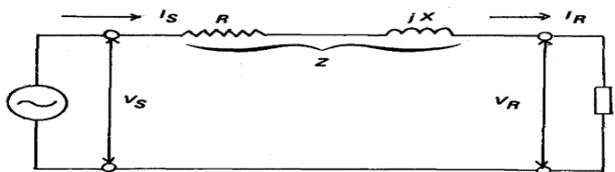
A. Saluran Transmisi

Pusat-pusat listrik, biasa juga disebut sentral-sentral listrik (*Electric Power Station*), pusat listrik biasanya jauh letaknya dari tempat-tempat dimana tenaga listrik digunakan. Karena itu energi listrik yang dibangkitkan harus disalurkan melalui saluran-saluran transmisi. Pemakaian saluran transmisi didasarkan atas besarnya daya yang harus disalurkan dari pusat-pusat pembangkit listrik ke pusat beban. Sistem transmisi menyalurkan daya dengan tegangan tinggi yang digunakan untuk mengurangi adanya rugi-rugi transmisi akibat jatuh tegangan.

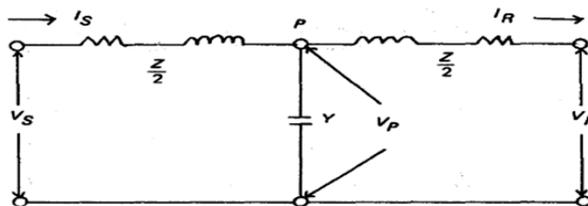
B. Saluran Transmisi Pendek

Pada saluran transmisi pendek, nilai kapasitansi penghantar dapat diabaikan sehingga penghantar dimodelkan dengan impedansi (R dan XL), maka rangkaian ekuivalen saluran transmisi pendek dimodelkan pada gambar 1.

Oleh karena pengaruh kapasitansi dan konduktansi bocor dapat diabaikan pada saluran transmisi pendek, maka saluran tersebut dapat dianggap sebagai rangkaian impedansi yang terdiri dari tahanan dan induktansi.



Gambar 1. Rangkaian Ekuivalen Saluran Transmisi Pendek



Gambar 2. Rangkaian Ekuivalen Saluran Transmisi Menengah Rangkaian T

C. Saluran Transmisi Menengah

Saluran transmisi jarak menengah dapat dianggap sebagai rangkaian T atau rangkaian π, pada saluran transmisi menengah, nilai kapasitansi penghantar tidak dapat diabaikan sehingga penghantar dimodelkan dengan impedansi penghantar (R dan XL) dan kapasitansi yang dapat dimodelkan dalam bentuk rangkaian ekuivalen saluran transmisi menengah rangkaian T pada gambar 2 dan rangkaian ekuivalen saluran transmisi menengah rangkaian π terdapat pada gambar 3.

D. Impedansi Saluran

Pada perhitungan setting relai jarak, impedansi merupakan parameter pokok yang digunakan dalam perhitungan. Untuk menghitung impedansi (Z) saluran transmisi, terlebih dahulu kita menghitung resistansi saluran (R) dan Reaktansi saluran (X), dimana nilai dari reaktansi bisa didapat dari 2 parameter yaitu nilai kapasitansi dan induktansi. Oleh karena itu, impedansi dapat dijabarkan sebagai mana persamaan (1), (2) dan (3) :

$$Z = R + jX \tag{1}$$

$$Z = R + jX_L + jX_C \tag{2}$$

$$Z = R + j(X_L + X_C) \tag{3}$$

Dimana :

Z = Impedansi (Ohm)

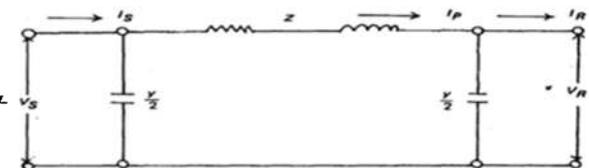
R = Resistansi (Ohm)

XL = Reaktansi Induktif (Ohm)

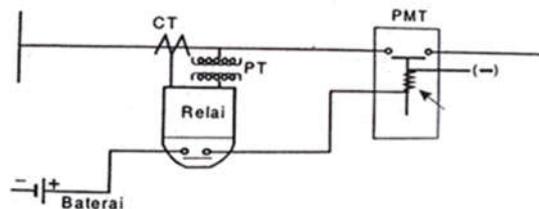
XC = Reaktansi Kapasitif (Ohm)

E. Komponen – Komponen Proteksi

Setiap system proteksi minimum terdiri dari transformator instrumen, relai dan pemutus tenaga (*Circuit Breaker*). Komponen sistem Proteksi pada transmisi tegangan tinggi menggunakan relay jarak ditampilkan dalam gambar 4.



Gambar 3. Rangkaian Ekuivalen Saluran Transmisi Menengah Rangkaian π



Gambar 4. Komponen Sistem Proteksi

F. Relai Jarak

Relai jarak (distance relay) merupakan proteksi yang paling utama pada saluran transmisi. Relai jarak menggunakan pengukuran tegangan dan arus untuk mendapatkan impedansi saluran yang harus diamankan. Jika impedansi yang terukur di dalam batas settingnya, maka rele akan bekerja. Disebut relai jarak, karena impedansi pada saluran besarnya akan sebanding dengan panjang saluran. Oleh karena itu, rele jarak tidak tergantung oleh besarnya arus gangguan yang terjadi, tetapi tergantung pada jarak gangguan yang terjadi terhadap prele proteksi. Impedansi yang diukur dapat berupa Z, R saja ataupun X saja, tergantung jenis rele yang dipakai.

Prinsip kerja relai jarak berdasarkan pada impedansi saluran transmisi, yang besarnya sebanding dengan panjang dari saluran transmisi tersebut. Prinsip pengukuran jaraknya dengan membandingkan arus gangguan yang dirasakan oleh relai terhadap tegangan di titik atau lokasi dimana relai terpasang. Dengan membandingkan kedua besaran itu, impedansi saluran transmisi dari lokasi relai sampai titik atau lokasi gangguan dapat diukur. Perhitungan impedansi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Z_f = \frac{V_f}{I_f} \tag{4}$$

Dimana :

$Z_f$  = Impedansi gangguan (Ohm)

$I_f$  = Arus gangguan (A)

$V_f$  = Tegangan (V)

G. Prinsip Pengukuran Jarak

Sebagaimana telah dijelaskan bahwa prinsip kerja relai jarak adalah membandingkan arus dan tegangan di tempat yang sama. Prinsip pengukuran relai jarak digambarkan pada gambar 5.

Relai jarak pada dasarnya akan bekerja dengan cara membandingkan impedansi gangguan yang terukur dengan impedansi setting relai dengan ketentuan :

- 1) Bila harga impedansi gangguan lebih kecil dari pada impedansi setting relai maka relai akan trip ( $Z_{set} > Z_f$ ).
- 2) Bila harga impedansi gangguan lebih besar dari pada impedansi seting relai maka relai tidak akan trip.

H. Pengaturan Zona Proteksi Relai Jarak

Dalam membuat setting, pertama-tama ditetapkan dahulu nilai impedansi disistem tenaga (primer). Impedansi sekunder dihitung dengan persamaan :

$$Z_s = Z_p \frac{CT_{ratio}}{PT_{ratio}} \tag{5}$$

Dimana :

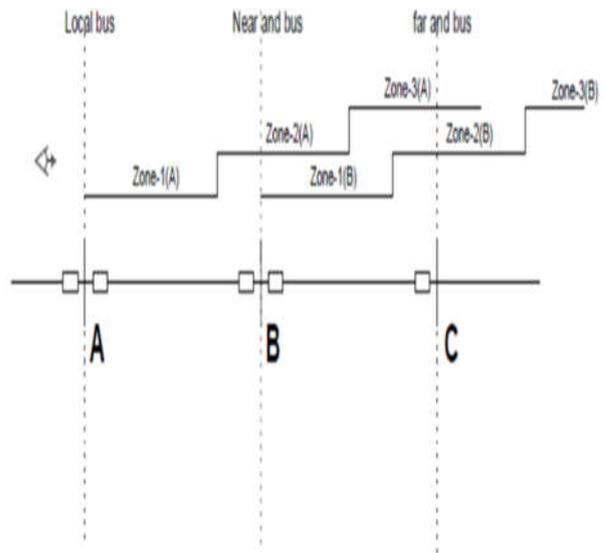
$Z_s$  = Impedansi Sekunder

$Z_p$  = Impedansi Primer

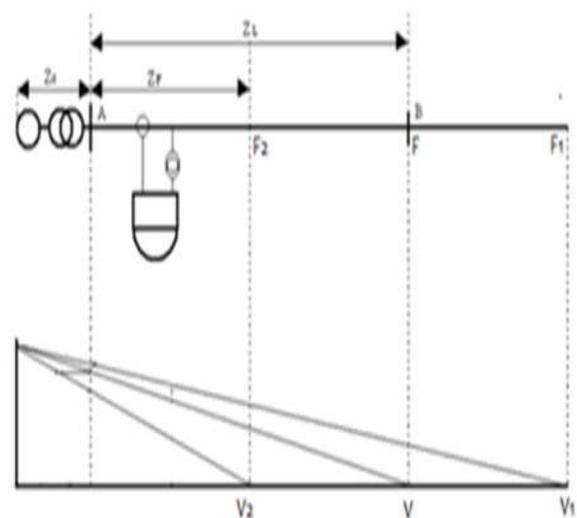
$CT_{ratio}$  = Rasio Transformator arus

$PT_{ratio}$  = Rasio Transformator tegangan

Daerah kerja relai jarak umumnya dibagi menjadi 3 zona yang dikoordinasikan dengan seksi berikutnya agar tidak terjadi *overlapping*. Dan zona proteksi relai jarak digambarkan pada gambar 6.



Gambar 5. Zona Proteksi relai jarak



Gambar 6. Prinsip Pengukuran Jarak

Dasar pemilihan zona pengamanan relai jarak yang diaplikasikan adalah sebagai berikut :

Penyetelan Zone I. Daerah ini harus mencakup daerah sejauh mungkin dari saluran yang diamankan, tetapi tidak boleh melampaui saluran didepannya. Dengan mempertimbangkan adanya kesalahan-kesalahan dari data saluran, CT, PT dan peralatan lainnya sebesar 20%, zone I mulai di set 80 % dari panjang saluran yang diamankan.

$$Z_1 = 0,8 Z_{L1} \tag{6}$$

Waktu kerja relai adalah seketika, sehingga dilakukan penyetelan waktu dengan T1 = 0 detik. Penyetelan Zone II. Dasar pemilihan zone II berdasarkan pertimbangan – Pertimbangan sebagai berikut :

- 1) Daerah ini harus pasti dapat menjangkau sisa saluran yang tidak diamankan zone I, tetapi tidak boleh overlap dengan zone II seksi berikutnya. Dengan mengasumsikan kesalahan – kesalahan seperti pada penyetelan zone I sekitar 20 %, maka didapat penyetelan minimum dan maksimum untuk zone II sebagai berikut :

$$Z_{2 \text{ Min}} = 1,2 Z_{L1} \tag{7}$$

$$Z_{2 \text{ Mak}} = 0,8 (Z_{L1} + 0,8 Z_{L2}) \tag{8}$$

Dimana :

$Z_{L1}$  = Impedansi saluran transmisi yang diamankan (dalam  $\Omega$ )

$Z_{L2}$  = Impedansi saluran transmisi berikutnya yang terpendek (dalam  $\Omega$ )

- 2) Jika pada saluran seksi berikutnya terdapat beberapa cabang, untuk mendapatkan selektifitas yang baik, maka setting  $Z_{2\text{mak}}$  diambil dengan nilai impedansi penghantar ( ohm ) yang terkecil. seperti pada Setting zona II ( $Z_2$  maks dengan  $T_2 = 0,4 - 0,5$  detik) dan Setting zona II (  $Z_2$  maks dengan  $T_2 = 0,4$  detik).

Jika saluran yang diamankan jauh lebih panjang dari saluran seksi berikutnya, maka akan terjadi  $Z_{2\text{mak}} < Z_{2\text{min}}$ . Pada keadaan demikian, untuk mendapatkan selektifitas yang baik, maka zone II dapat diambil =  $Z_{2\text{min}}$  dengan *setting* waktunya dinaikkan satu tingkat.

Penyetelan Zone III. Dasar pemilihan zone III adalah berdasarkan pertimbangan – pertimbangan, daerah ini usahakan dapat meliputi seluruh saluran seksi berikutnya, ( harus mencapai “*far dan bus*” terpanjang) sehingga di dapat penyetelan zone III :

$$Z_{3 \text{ Min}} = 1,2 (Z_{L1} + Z_{L2}) \tag{9}$$

$$Z_{3 \text{ Mak}} = 0,8 (Z_{L1} + 0,8 (Z_{L2} + 0,8 Z_{L3})) \tag{10}$$

Seperti halnya pada penyetelan zone II, maka pada penyetelan zone III, jika  $Z_{3\text{min}} > Z_{3\text{mak}}$  dan zone III harus menjadi pengaman cadangan seksi berikutnya secara keseluruhan, maka T3 dinaikkan satu tingkat lebih lama dari pada T3 dalam keadaan normal.

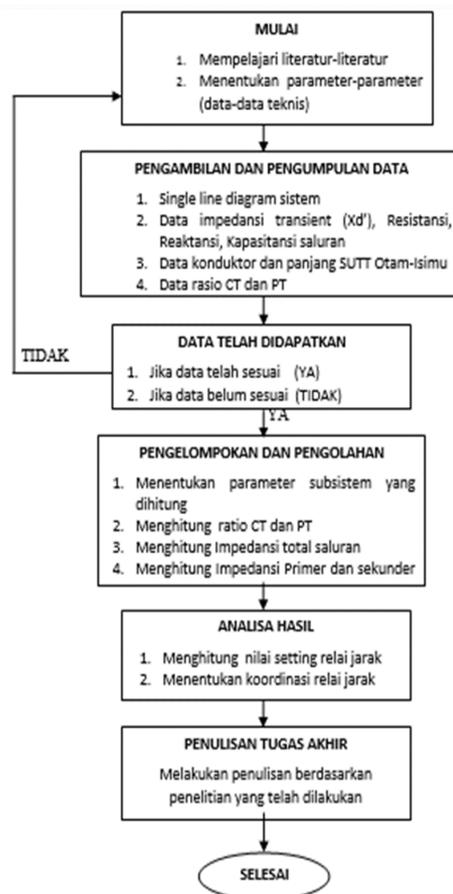
### I. Perlambatan Waktu Kerja ( $\Delta t$ )

Penentuan besarnya perlambatan waktu kerja ( $\Delta t$ ) untuk zona II dan III sebagai pengaman cadangan umumnya diambil 0,4 sampai dengan 0,5 detik, dengan perincian hal yang mempengaruhi pengambilan nilai tersebut adalah :

- 1) Kesalahan relai waktu dari kedua ujung = 0,1 + 0,1 = 0,2 detik
- 2) Waktu pembukaan efektif PMT = 0,05 detik
- 3) Waktu reset PMT = 0,05 detik
- 4) Toleransi waktu = 0,1 s/d 0,2 detik

## II. METODOLOGI PENELITIAN

Gambar 7 adalah gambaran alur penelitian yang dilakukan untuk melakukan analisa *setting* relai jarak sistem transmisi 150 KV area Gardu Induk Otam – Gardu Induk Isimu.



Gambar 7. Flowchart Penelitian



TABEL II. DATA PENDUKUNG IMPEDANSI TRANSIENT (DENGAN NILAI X<sub>c</sub> DAN C)

NAME	PENAM PANG (mm <sup>2</sup> )	I NOMI NAL (A)	URUTAN POSITIF (Ohm/km)			KAPASITANSI (C) F/km
			R	XL	XC	
ACSR	240	600	0,1183	0,3877	0,395	0,008

Dalam melakukan perhitungan Kapasitansi konduktor digunakan persamaan 2.12. Hubungan antara Reaktansi kapasitif (X<sub>c</sub>) dan kapasitansi (C), yaitu (lihat tabel II) :

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

Jadi, nilai C...?

Penyelesaian :

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

$$0,395 = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 50 \times C}$$

$$0,395 = \frac{1}{314 \times C}$$

$$C = \frac{1}{314 \times 0,395}$$

$$C = \frac{1}{124,03} ; C = 0,008 \text{ F/km}$$

Jadi nilai kapasitansi konduktor (C) adalah 0,008 F/km

### B. Impedansi Saluran

Untuk menghitung impedansi saluran (Z) menggunakan persamaan 2.9. Pada perhitungan ini, Impedansi penghantar akan dikalikan dengan panjang saluran untuk mendapatkan Impedansi primer saluran (lihat tabel III).

Diketahui :

$$R = 0,1183 \text{ Ohm/km}$$

$$X_L = 0,3877 \text{ Ohm/km}$$

$$X_C = 0,395 \text{ Ohm/km}$$

Ditanya : Impedansi Saluran (Z)...?

Penyelesaian :

$$Z = R + j (X_L + X_C)$$

$$Z = 0,1183 + j (0,3877 + 0,395)$$

$$Z = 0,1183 + j 0,7827 \text{ Ohm/km}$$

Untuk setiap perubahan temperatur resistansi dari suatu penghantar juga berubah. Dan perubahan ini mendekati linier untuk daerah temperatur yang luas. Reistansi dari penghantar saluran transmisi adalah penyebab yang terpenting dari rugi-rugi daya pada saluran transmisi yang dimaksud dengan resistansi disini adalah resistansi efektif

TABEL III. DATA IMPEDANSI SUTT 150 KV

SUTT 150 KV	Panjang (Km)	Impedansi Saluran (Ohm/Km)
GI Otam - GI Lolak	37,59	0,1183 + 0,7827
GI Lolak - GI Boroko	88,6	0,1183 + 0,782
GI Boroko - GI Isimu	70	0,1183 + 0,7827

### C. Perhitungan Nilai Setting Relai Jarak pada GI Otam – GI Isimu

Perhitungan nilai setting relai jarak pada GI Otam – GI Isimu, meliputi saluran transmisi GI Otam - GI Lolak - GI Boroko – GI Isimu. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan perhitungan manual berdasarkan data-data yang ada pada Bab III.

Ratio CT/PT didapatkan dengan membagi nilai ratio CT dengan nilai ratio PT, perhitungan dihitung dengan menggunakan persamaan 2.47.

$$CT = \frac{500}{1} (A) ; PT = \frac{150000}{100} (V)$$

$$\frac{CT}{PT} = \frac{500(A)}{15000(V)} = 0,33 \text{ (Ohm)}$$

$$CT = \frac{800}{1} (A) ; PT = \frac{150000}{100} (V)$$

$$\frac{CT}{PT} = \frac{800(A)}{15000(V)} = 0,533 \text{ (Ohm)}$$

### D. Menghitung Impedansi Sekunder Saluran

Untuk data Impedansi primer diperoleh dari perhitungan impedansi total primer. Ratio CT/PT diperoleh dari perhitungan diatas dan nilainya berlaku sama untuk semua saluran yang diamankan.

### E. Menghitung Nilai Setting zona I GI Otam

Nilai setting zona satu dihitung berdasarkan persamaan 2.48. Data yang digunakan dalam perhitungan adalah :

$$Z_{AB} = 1,47 + j 9,71 \text{ (Ohm)}$$

Ditanya Zona 1?

Penyelesaian :

$$\text{Zona 1} = 0,8 \times (1,47 + j 9,71) \text{ (Ohm)}$$

$$= 1,176 + j 7,77 = 7,86 \angle 81,39^\circ \text{ (Ohm)}$$

### F. Menghitung Nilai Setting Zona 2 GI Otam

Pada zona ini terdapat persamaan yang digunakan yaitu persamaan 2.49 untuk menghitung Zona 2 minimum. Data yang diperlukan dalam perhitungan adalah sebagai berikut :

$$Z_{AB} = 1,47 + j 9,71 \text{ (Ohm)}$$

Ditanya:

Zona 2 ?

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} \text{Zona 2} &= 1.2 \times (1,47 + j 9,71) \quad (\text{Ohm}) \\ &= 1,76 + j 11,65 = 11,78 \angle 81,41^\circ (\text{Ohm}) \end{aligned}$$

#### G. Menghitung Nilai Setting Zona 3 GI Otam

Pada zona ini terdapat persamaan yang digunakan yaitu persamaan 2.51, untuk menghitung Zona 3 minimum. Data yang diperlukan dalam perhitungan adalah sebagai berikut :

$$Z_{AB} = 1,47 + j 9,71 \quad (\text{Ohm})$$

$$Z_{BC} = 5,59 + j 36,96 \quad (\text{Ohm})$$

Ditanya:

Zona 3 ?

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} \text{Zona 3} &= 1.2 \times (1,47 + j 9,71 + 5,59 + j 36,96) \quad (\text{Ohm}) \\ &= 1,2 (7,06 + j 46,67) \quad (\text{Ohm}) \\ &= 8,47 + j 56,004 = 56,64 \angle 81,4^\circ (\text{Ohm}) \end{aligned}$$

#### H. Menghitung Nilai Setting Zona 2 GI Lolak

Pada zona ini terdapat persamaan yang digunakan yaitu persamaan 2.49, untuk menghitung Zona 2 minimum. Data yang diperlukan dalam perhitungan adalah sebagai berikut :

$$Z_{BC} = 5,59 + j 36,96 \quad (\text{Ohm})$$

Ditanya:

Zona 2 ?

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} \text{Zona 2} &= 1.2 \times (5,59 + j 36,96) \quad (\text{Ohm}) \\ &= 6,708 + j 44,35 = 44,85 \angle 81,4^\circ (\text{Ohm}) \end{aligned}$$

#### I. Menghitung Nilai Setting Zona 3 GI Lolak

Pada zona ini terdapat persamaan yang digunakan yaitu persamaan 2.51, untuk menghitung Zona 3 minimum. Data yang diperlukan dalam perhitungan adalah sebagai berikut :

$$Z_{BC} = 5,59 + j 36,96 \quad (\text{Ohm})$$

$$Z_{CD} = 4,414 + j 29,2 \quad (\text{Ohm})$$

Ditanya:

Zona 3 ?

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} \text{Zona 3} &= 1.2 \times (5,59 + j 36,96 + 4,414 + j 29,2) \quad (\text{Ohm}) \\ &= 1,2 (10,004 + j 66,16) \quad (\text{Ohm}) \\ &= 12,005 + j 79,39 = 80,29 \angle 81,4^\circ (\text{Ohm}) \end{aligned}$$

#### J. Menghitung Nilai Setting Zona 1 GI Boroko

Nilai setting zona satu dihitung berdasarkan persamaan 2.48. Data yang digunakan dalam perhitungan adalah :

$$Z_{CD} = 4,414 + j 29,2 \quad (\text{Ohm})$$

Ditanya:

Zona 1?

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} \text{Zona 1} &= 0.8 \times (4,414 + j 29,2) \quad (\text{Ohm}) \\ &= 3,53 + j 23,36 = 23,63 \angle 81,4^\circ (\text{Ohm}) \end{aligned}$$

#### K. Menghitung Nilai Setting Zona 2 GI Boroko

Pada zona ini terdapat persamaan yang digunakan yaitu persamaan 2.49, untuk menghitung Zona 2 minimum. Data yang diperlukan dalam perhitungan adalah sebagai berikut :

$$Z_{CD} = 4,414 + j 29,2 \quad (\text{Ohm})$$

Ditanya:

Zona 2 ?

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} \text{Zona 2} &= 1.2 \times (4,414 + j 29,2) \quad (\text{Ohm}) \\ &= 5,297 + j 35,04 = 35,44 \angle 81,4^\circ (\text{Ohm}) \end{aligned}$$

#### L. Menghitung Impedansi Saluran GI Otam – GI Lolak - GI Boroko – GI Isimu

Impedansi Saluran GI Otam – GI Lolak

Diketahui :

$$Z_{L1s} = 1,47 + j 9,71 \quad (\text{Ohm})$$

Ditanya :

Impedansi Saluran GI Otam – GI Lolak ( $Z_{L1}$ ) ?

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= 1,47 + j 9,71 \quad (\text{Ohm}) \\ &= 9,82 \angle 81,4^\circ (\text{Ohm}) \end{aligned}$$

Impedansi Saluran GI Lolak – GI Boroko

Diketahui :

$$Z_{L2s} = 5,59 + j 36,96 \quad (\text{Ohm})$$

Ditanya :

Impedansi Saluran GI Lolak – GI Boroko ( $Z_{L2}$ ) ?

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} Z_{L2} &= 5,59 + j 36,96 \quad (\text{Ohm}) \\ &= 37,38 \angle 81,4^\circ (\text{Ohm}) \end{aligned}$$

Impedansi Saluran GI Boroko – GI Isimu

Diketahui :

$$Z_{L3s} = 4,414 + j 29,2 \quad (\text{Ohm})$$

Ditanya :

Impedansi Saluran GI Boroko – GI Isimu ( $Z_{L3}$ ) ?

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} Z_{L3} &= 4,414 + j 29,2 \quad (\text{Ohm}) \\ &= 29,53 \angle 81,4^\circ (\text{Ohm}) \end{aligned}$$

#### M. Penentuan Letak Gangguan

Dalam skripsi ini ditentukan letak terjadinya gangguan, tujuannya untuk menentukan koordinasi relai jarak antara Gardu Induk. Dalam skripsi ini ditentukan presentasi (%) letak gangguan pada saluran transmisi dalam bentuk Impedansi saluran (Ohm), yaitu :

$$20 \% Z_{L1} (9,82 \text{ Ohm}) = 1,96 \text{ (Ohm)}$$

$$50 \% Z_{L1} (9,82 \text{ Ohm}) = 4,91 \text{ (Ohm)}$$

- 80 % ZL1 (9,82 Ohm) = 7,86 (Ohm)  
 20 % ZL2 (37,38 Ohm) = 7,48 (Ohm)  
 50 % ZL2 (37,38 Ohm) = 18,69 (Ohm)  
 80 % ZL2 (37,38 Ohm) = 29,904 (Ohm)  
 20 % ZL3 (29,53 Ohm) = 5,91 (Ohm)  
 50 % ZL3 (29,53 Ohm) = 14,77 (Ohm)  
 80 % ZL3 (29,53 Ohm) = 23,62 (Ohm)

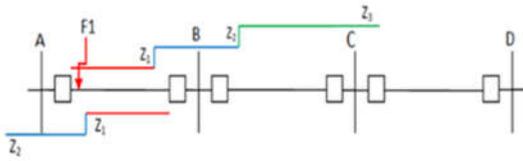
Keterangan :

ZL1 = Impedansi saluran GI Otam – GI Lolak (Ohm)  
 ZL2 = Impedansi saluran GI Lolak – GI Boroko (Ohm)  
 ZL3 = Impedansi saluran GI Boroko – GI Isimu (Ohm)

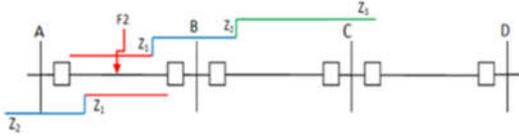
A = GI Otam  
 B = GI Lolak  
 C = GI Boroko  
 D = GI Isimu

Z1 = Zona 1 ; Z2 = Zona 2 ; Z3 = Zona 3

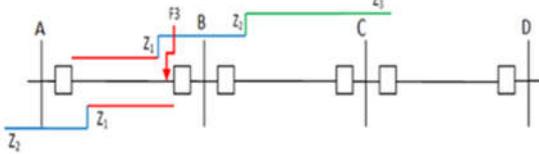
- 1) *Letak Gangguan di F1 (lihat gambar 9)*
  - a. Jika terjadi gangguan di  $F1 \leq 20\%$  ZL1, maka relai A akan bekerja di zona 1 dengan gangguan dihilangkan secara seketika oleh relai A ( $T1 = 0$  s). Relai A zona 2 dan zona 3 sebagai pengaman cadangan, serta bekerja dengan perlambatan waktu untuk zona 2 ( $T2 = 0,4$  s) dan untuk zona 3 ( $T3 = 0,8$ ).
  - b. Relai A melakukan koordinasi kerja dengan relai B jika terjadi gangguan di  $F1 \leq 20\%$  ZL1, maka relai B akan bekerja di zona 2 dengan perlambatan waktu ( $T2 = 0,4$  s) dan relai B zona 3 sebagai pengaman cadangan.
- 2) *Letak Gangguan di F2 (lihat gambar 10)*
  - a. Jika terjadi gangguan di  $F2 \pm 50\%$  ZL1, maka relai A dan relai B akan bekerja di Zona 1 dan gangguan dihilangkan secara seketika ( $T1 = 0$  s). Relai A dan Relai B zona 2 dan zona 3 sebagai pengaman cadangan, bekerja dengan perlambatan waktu untuk zona 2 ( $T2 = 0,4$  s) dan untuk zona 3 ( $T3 = 0,8$ ).
- 3) *Letak Gangguan di F3 (lihat gambar 11)*
  - a. Jika terjadi gangguan di  $F3 > 80\%$  ZL1, maka relai B akan bekerja di zona 1 dengan gangguan dihilangkan secara seketika oleh relai B ( $T1 = 0$  s). Relai B zona 2 sebagai pengaman cadangan, serta bekerja dengan perlambatan waktu untuk zona 2 ( $T2 = 0,4$  s).
  - b. Relai A melakukan koordinasi kerja dengan relai B jika terjadi gangguan di  $F1 > 80\%$  ZL1, maka relai A akan bekerja di zona 2 dengan perlambatan waktu ( $T2 = 0,4$  s) dan relai A zona 3 sebagai pengaman cadangan ( $t3 = 0,8$  s).
- 4) *Letak Gangguan di F4 (lihat gambar 12)*
  - a. Jika terjadi gangguan di  $F4 \leq 20\%$  ZL2, maka relai B akan bekerja di zona 1 dengan gangguan dihilangkan secara seketika oleh relai A ( $T1 = 0$  s). Relai B zona 2 dan zona 3 sebagai pengaman cadangan, serta bekerja dengan perlambatan waktu untuk zona 2 ( $T2 = 0,4$  s) dan untuk zona 3 ( $T3 = 0,8$ ).
  - b. Relai B melakukan koordinasi kerja dengan relai C jika terjadi gangguan di  $F4 \leq 20\%$  ZL2, maka relai C akan bekerja di zona 2. Dengan perlambatan waktu ( $T2 = 0,4$  s).
  - c. Relai B melakukan koordinasi kerja dengan relai A jika terjadi gangguan di  $F4 \leq 20\%$  ZL2, maka relai A akan bekerja di zona 2 dengan perlambatan waktu ( $T2 = 0,4$  s) dan relai B zona 3 dengan perlambatan waktu ( $T3 = 0,8$  s).
  - d. Dan juga Relai B melakukan koordinasi kerja dengan relai D jika terjadi gangguan di  $F4 \leq 20\%$  ZL2, maka relai D akan bekerja di zona 3 dengan perlambatan waktu ( $T3 = 0,8$  s).
- 5) *Letak Gangguan di F5 (lihat gambar 13)*
  - a. Jika terjadi gangguan di  $F5 \pm 50\%$  ZL2, maka relai B dan Relai C akan bekerja di zona 1 dengan gangguan dihilangkan secara seketika oleh relai A ( $T1 = 0$  s). Relai B dan relai C zona 2 dan zona 3 sebagai pengaman cadangan, serta bekerja dengan perlambatan waktu untuk zona 2 ( $T2 = 0,4$  s) dan untuk zona 3 ( $T3 = 0,8$ ).
  - b. Relai B melakukan koordinasi kerja dengan relai A dan relai D jika terjadi gangguan di  $F5 \pm 50\%$  ZL2, maka relai A dan relai D akan bekerja di zona 3 dengan perlambatan waktu ( $T3 = 0,8$  s).
- 6) *Letak Gangguan di F6 (lihat gambar 14)*
  - a. Jika terjadi gangguan di  $F6 > 80\%$  ZL2, maka relai C akan bekerja di zona 1 dengan gangguan dihilangkan secara seketika oleh relai C ( $T1 = 0$  s). Relai C zona 2 dan zona 3 sebagai pengaman cadangan, serta bekerja dengan perlambatan waktu untuk zona 2 ( $T2 = 0,4$  s) dan untuk zona 3 ( $T3 = 0,8$ ).
  - b. Relai C melakukan koordinasi kerja dengan relai B dan relai D, jika terjadi gangguan di  $F6 > 80\%$  ZL2, maka relai B dan relai D akan bekerja di zona 2 dengan perlambatan waktu ( $T2 = 0,4$  s) dan zona 3 dengan perlambatan waktu ( $T3 = 0,8$  s).
  - c. Dan Relai C melakukan koordinasi kerja dengan relai A, jika terjadi gangguan di  $F6 > 80\%$  ZL2. Maka relai A akan bekerja di zona 3 dengan perlambatan waktu ( $T3 = 0,8$  s).



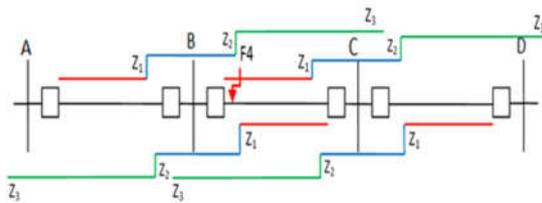
Gambar 9. Letak gangguan di  $F1 \leq 20\% ZL1$



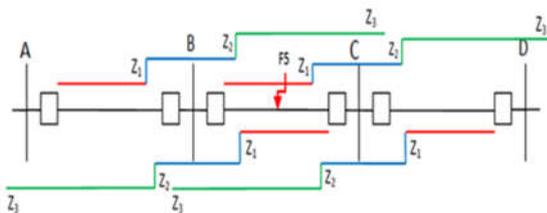
Gambar 10. Letak gangguan di  $F2 \pm 50\% ZL1$



Gambar 11. Letak gangguan di  $F3 > 80\% ZL1$



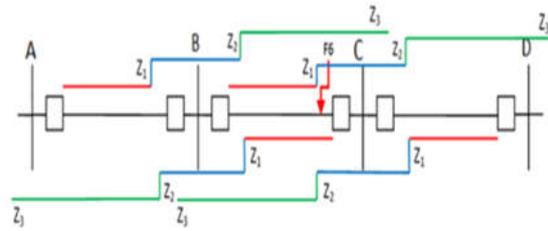
Gambar 12. Letak gangguan di  $F4 \leq 20\% ZL2$



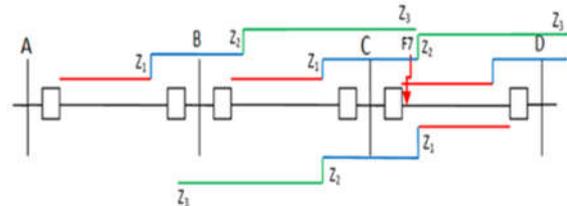
Gambar 13. Letak gangguan di  $F5 \pm 50\% ZL2$

7) Letak Gangguan di  $F7$  (lihat gambar 15)

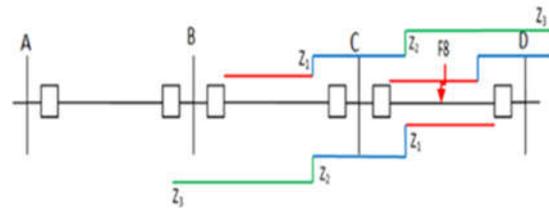
- a. Jika terjadi gangguan di  $F7 \leq 20\% ZL3$ , maka relai C akan bekerja di zona 1 dengan gangguan dihilangkan secara seketika oleh relai C ( $T1 = 0$  s). Relai C zona 2 bekerja dengan perlambatan waktu untuk zona 2 ( $T2 = 0,4$  s).
- b. Relai C melakukan koordinasi kerja dengan relai D jika terjadi gangguan di  $F7 \leq 20\% ZL3$ , maka relai D akan bekerja di zona 2 dengan perlambatan waktu ( $T2 = 0,4$  s).
- c. Relai C melakukan koordinasi kerja dengan relai A jika terjadi gangguan di  $F7 \leq 20\% ZL3$ , maka relai A akan bekerja di zona 3 dengan perlambatan waktu ( $T3 = 0,8$  s).



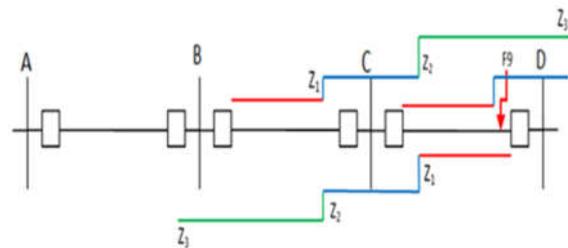
Gambar 14. Letak gangguan di  $F6 > 80\% ZL2$



Gambar 15. Letak gangguan di  $F7 \leq 20\% ZL3$



Gambar 16. Letak gangguan di  $F5 \pm 50\% ZL3$



Gambar 17. Letak gangguan di  $F6 > 80\% ZL3$

8) Letak Gangguan di  $F8$  (lihat gambar 16)

- a. Jika terjadi gangguan di  $F8 \pm 50\% ZL3$ , maka relai C dan Relai D akan bekerja di zona 1 dengan gangguan dihilangkan secara seketika oleh relai A ( $T1 = 0$  s). Relai C dan relai D bekerja di zona 2 dengan perlambatan waktu ( $T2 = 0,4$  s) dan untuk relai D bekerja di zona 3 sebagai pengaman cadangan ( $T3 = 0,8$ ).
- b. Relai C melakukan koordinasi kerja dengan relai B jika terjadi gangguan di  $F8 \pm 50\% ZL3$ , maka relai B akan bekerja di zona 3 dengan perlambatan waktu ( $T3 = 0,8$  s)

9) Letak Gangguan di  $F9$  (lihat gambar 17)

- a. Jika terjadi gangguan di  $F9 > 80\% ZL3$ , maka relai D akan bekerja di zona 1 dengan gangguan dihilangkan secara seketika oleh relai D ( $T1 = 0$  s). Relai D zona 2 dan zona 3 sebagai pengaman cadangan, serta bekerja

- dengan perlambatan waktu untuk zona 2 ( $T_2 = 0,4$  s) dan untuk zona 3 ( $T_3 = 0,8$ ).
- b. Relai D melakukan koordinasi kerja dengan relai C, jika terjadi gangguan di  $F_9 > 80\%$  ZL3, maka relai C akan bekerja di zona 2 dengan perlambatan waktu ( $T_2 = 0,4$  s).
  - c. Dan Relai D melakukan koordinasi kerja dengan relai B, jika terjadi gangguan di  $F_9 > 80\%$  ZL3. Maka relai B akan bekerja di zona 3 dengan perlambatan waktu ( $T_3 = 0,8$  s).

#### BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN

##### A. Kesimpulan

Dari hasil analisa dan pembahasan dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Setting relai jarak pada area GI Otam – GI Isimu dan arah sebaliknya adalah sebagai berikut:
  - a. Setting Relai Jarak GI Otam – Lolak – Boroko Zona 1 =  $7,86 \angle 81,4^\circ$  (Ohm) dan waktu kerja relai ( $T_1$ ) = 0 detik
  - b. Setting Relai Jarak GI Lolak – Boroko – Isimu Zona 1 =  $29,91 \angle 81,4^\circ$  (Ohm) dan waktu kerja relai ( $T_1$ ) = 0 (detik)
  - c. Setting Relai Jarak GI Boroko – Isimu Zona 1 =  $23,63 \angle 81,4^\circ$  (Ohm) dan waktu kerja relai ( $T_1$ ) = 0 (detik)
  - d. Setting Relai Jarak GI Isimu – Boroko – Lolak Zona 1 =  $23,63 \angle 81,4^\circ$  (Ohm) dan waktu kerja relai ( $T_1$ ) = 0 (detik).
  - e. Setting Relai Jarak GI Boroko – Lolak – Otam Zona 1 =  $29,91 \angle 81,4^\circ$  (Ohm) dan waktu kerja relai ( $T_1$ ) = 0 (detik).
  - f. Setting Relai Jarak GI Lolak – Otam Zona 1 =  $7,86 \angle 81,4^\circ$  (Ohm) dan waktu kerja relai ( $T_1$ ) = 0 (detik)
- 2) Dengan mempertimbangkan adanya pengaruh kapasitansi penghantar pada sistem transmisi SUTT GI Otam – GI Isimu, maka impedansi Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) GI Otam – GI Isimu adalah sebagai berikut :
  - a. SUTT GI Otam – GI Lolak Impedansi saluran =  $9,82 \angle 81,4^\circ$  Ohm
  - b. SUTT GI Lolak – GI Boroko Impedansi saluran =  $37,38 \angle 81,4^\circ$  Ohm

- c. SUTT GI Boroko – GI Isimu Impedansi saluran =  $29,53 \angle 81,4^\circ$  Ohm

##### 3) Koordinasi relai jarak pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) area GI Otam – GI Isimu adalah sebagai berikut:

- a. Jika terjadi gangguan antara GI Otam dan GI Lolak maka relai yang merasakannya yaitu zona 1 relai jarak GI Otam dan GI lolak yang bekerja sebagai pengaman utama serta zona 2 dan 3 sebagai pengaman cadangan.
- b. Jika terjadi gangguan antara GI Lolak dan GI Boroko maka relai yang merasakannya yaitu zona 1 relai jarak GI Lolak dan GI Boroko yang bekerja sebagai pengaman utama serta zona 2 dan 3 sebagai pengaman cadangan.
- c. Jika terjadi gangguan antara GI Boroko dan GI Isimu maka relai yang merasakannya yaitu zona 1 relai jarak GI Boroko dan GI Isimu yang bekerja sebagai pengaman utama serta zona 2 dan 3 sebagai pengaman cadangan.

##### B. Saran

Nilai impedansi saluran untuk proteksi menggunakan relai jarak pada sistem transmisi 150 KV khususnya pada subsistem saluran GI Otam – GI Isimu sangat berpengaruh, dimana untuk saluran transmisi menengah dipengaruhi oleh resistansi (R), reaktansi induktif (XL) dan reaktansi kapasitif (XC) maka nilai parameter saluran harus dipertimbangkan.

#### KUTIPAN

- [1] A. Kadir,. Transmisi Tenaga Listrik Edisi Revisi. Jakarta: Universitas Indonesia,1998.
- [2] J.L. Blackburn. Protective Relaying Principles and Applications. New York : Taylor & Francis Group, 2006
- [3] L.G. Hewitson, Mark Brown and Ramesh Balakrishnan. 2004. Practical Power System Protection . ELSEVEIR.
- [4] Pandjaitan, Bonar. 2012. Praktik-praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik. Jakarta: Andi.
- [5] Samuel, Nopransi. 2012. Koordinasi Setting Relai Jarak pada Transmisi 150 KV PLTU 2 SULUT 2 x 25 MW. Manado: Universitas Sam Ratulangi.
- [6] Stevenson, D. William Jr., 1990. Analisis Sistem Tenaga Listrik Edisi Keempat. Jakarta: Erlangga.
- [7] Supriyadi, Edy., 1999. Sistem Pengaman Tenaga Listrik. Yogyakarta: Adicita Karya Nusa.
- [8] Wright, A., dan Christopoulos, C. Electrical Power System Protection. London: Chapman & Hall.

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Jendry Brian Sepang, anak pertama dari dua bersaudara. Lahir dari pasangan suami – istri, Ayah : Adri Sepang dan Ibu : Jenny Suling, di Kotamobagu pada tanggal 9 Januari 1993. Penulis telah menempuh pendidikan secara berturut-turut di, SD Kristen X Kotamobagu (1999-2005), SMP Katolik Theodorus Kotamobagu (2005-2008), SMA Kristen Kotamobagu (2008-2011). Dan pada tahun 2011 penulis memulai pendidikan di Universitas Sam Ratulangi Manado Fakultas Teknik di Jurusan Teknik Elektro, dengan mengambil konsentrasi minat Teknik Tenaga Listrik.