

Analisis Penalaan Rele Jarak sebagai Proteksi Utama pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV Bandung Selatan – Cigereleng

RHAMANDITA SUDRAJAT¹, SITI SAODAH², WALUYO¹

1. Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional
2. Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Bandung

Email : sudrajat_rhama@yahoo.com

ABSTRAK

Transmisi daya listrik menggunakan saluran udara tegangan tinggi, Saluran tersebut sangat rentan terhadap gangguan karena jarak yang sangat jauh. Oleh karena itu, dibutuhkan kehandalan sistem proteksi yang tinggi untuk mengamankan saluran udara tersebut. Untuk memenuhi kehandalan dari sistem proteksi, maka perlu dilakukan penalaan rele jarak, Dalam kasus penelitian ini, diambil saluran transmisi yang menghubungkan gardu induk Bandung Selatan – Cigereleng. Dalam penalaan rele jarak tersebut dibagi ke dalam tiga Zona proteksi. Dari hasil perhitungan, penalaan rele jarak untuk Zone 1 sebesar $0,205 \angle 69,39^\circ$ Ohm dengan waktu operasi trip 0 detik, Zone 2 sebesar $1,201 \angle 70,76^\circ$ Ohm dengan waktu operasi trip 0,4 detik, dan Zone 3 sebesar $2,175 \angle 70,804^\circ$ Ohm dengan waktu operasi trip 1,6 detik.

Kata kunci: Rele Jarak,Zona Proteksi,Saluran Transmisi,Sistem Proteksi.

ABSTRACT

Electrical power transmission's use overhead lines high voltage , The overhead lines are very vulnerable to disturbance because of long distances. It is needed reliability protection system to serves the protection of overhead high voltage. To meet the reliability of protection system, it is necessarsary it setting lines the distance relay for transmission lines. In this research sampel, it was the transmission line that Connecting the substation Bandung selatan – Cigareleng. the setting of distance relay, it divided into three zones of protection. Wore done the result of calculation, the distance relay setting for Zone 1 was $0.205 \angle 69.39^\circ$ Ohm with the trip operating time 0 seconds, Zone 2 was $1.201 \text{ ohm} \angle 70.76^\circ$ with trip operation time of 0.4 seconds , and Zone 3 was $2.175 \angle 70.804^\circ$ Ohm with trip operating time of 1.6 seconds.

Keywords: Distance Relay,Zone Protection,Transmission Line,Protection System.

1. PENDAHULUAN

Saluran transmisi berfungsi untuk menyalurkan daya listrik dari pusat pembangkit ke gardu induk harus mempunyai kualitas yang memadai . Pelayanan yang bersifat kontinyu diperlukan dalam mendukung mutu kualitas tersebut, walaupun dalam kenyataannya karena jarak yang sangat jauh dan karena kondisi alam akan mengganggu kekontinyuan penyaluran daya listrik (Nugraha, 2010).

Gardu induk (GI) Bandung Selatan dan Cigereleng merupakan Gardu induk yang sangat vital bagi kota Bandung dan sekitarnya karena area yang harus dilayani oleh ke dua gardu induk tersebut merupakan pusat-pusat industri (PT.PLN Persero.2010).

Saluran transmisi yang menghubungkan antara Gardu Induk (GI) Bandung Selatan ke Gardu Induk (GI) Cigereleng termasuk yang paling rawan terhadap gangguan karena jarak dari ke dua GI tersebut yaitu sepanjang 13,2 Km.

Dengan jarak yang cukup jauh tersebut, terdapat banyak sekali kemungkinan gangguan yang akan diterima oleh saluran transmisi, diantaranya sambaran petir, senar layang-layang, pohon tumbang dan lain sebagainya. Untuk itu dibutuhkan sistem proteksi yang sangat handal untuk menjaga berlangsungnya pengiriman daya melalui saluran transmisi yang telah terpasang (Lestari, 2010).

Di dalam sistem proteksi pada jaringan transmisi terdapat komponen utama yang sangat penting yaitu rele, rele proteksi berfungsi untuk mendeteksi kondisi abnormal dalam suatu sistem jaringan transmisi dengan mengukur besaran listrik yang berada dalam kondisi normal dan gangguan (Sleva, 2009).

Pada umumnya rele yang digunakan untuk mengamankan saluran transmisi tersebut yaitu rele jarak yang berfungsi sebagai proteksi utama pada saluran transmisi. Rele jarak mengukur tegangan pada titik rele dan arus gangguan yang terlihat dari rele, dengan membagi besaran tegangan dan arus, maka impedansi sampai titik terjadinya gangguan dapat di tentukan (Izykowski, 2008).

Berdasarkan Informasi dari pihak PT.PLN(Persero) bahwa saluran transmisi yang menghubungkan antara ke dua gardu induk tersebut mengalami kegagalan sistem proteksi yang dilakukan oleh rele jarak sebagai proteksi utama pada saluran, maka dilakukan penalaan ulang rele jarak agar kembali berfungsi sebagaimana mestinya.

Untuk melakukan penalaan ulang rele jarak agar kembali berfungsi sebagaimana mestinya, maka akan dilakukan simulasi hubung singkat baik untuk hubung singkat tiga fasa, dua fasa maupun satu fasa ke tanah yang nantinya berguna untuk mengetahui impedansi gangguan akibat hubung singkat (Lestari, 2010).

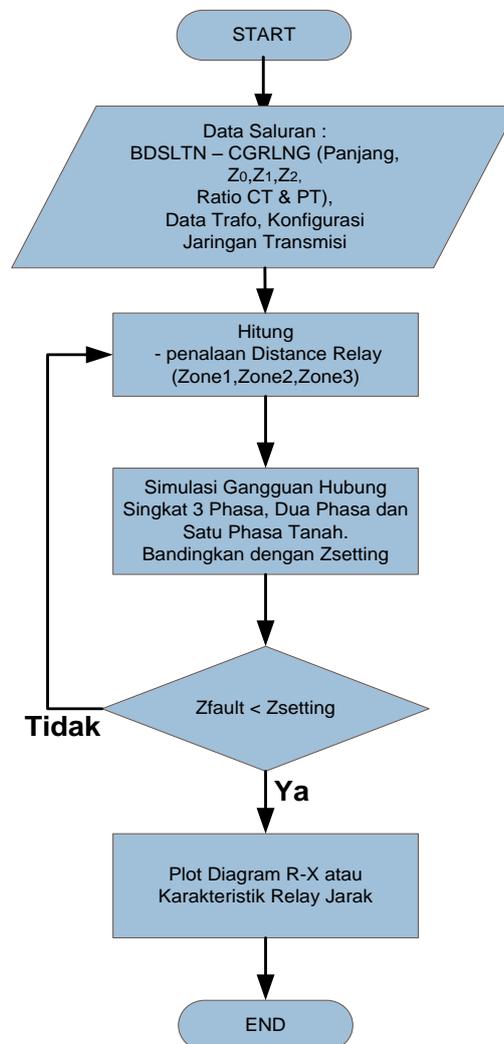
Impedansi gangguan akibat hubung singkat akan dibandingkan dengan impedansi penalaan rele jarak, hal tersebut akan membuktikan hasil perhitungan penalaan rele jarak berfungsi sebagaimana mestinya di lihat dari impedansi gangguan akan lebih kecil dari impedansi penalaan (Nugraha, 2010).

2. METODA PERHITUNGAN DAN SIMULASI PENALAN RELE JARAK

2.1 Langkah Penelitian

Berikut ini langkah-langkah yang dilakukan untuk melakukan perhitungan dan simulasi penalaan rele jarak yang dinyatakan dalam diagram alir yang ditunjukkan oleh Gambar 1. Berdasarkan gambar tersebut, data saluran merupakan hal yang paling utama untuk melakukan penalaan rele jarak. Adapun data yang dibutuhkan yaitu : Konfigurasi jaringan, Impedansi urutan positif (Z_1), Impedansi Urutan Negatif (Z_2), Impedansi urutan nol (Z_0), Ratio CT & PT, dan data trafo.

Setelah data tersebut terpenuhi maka langkah selanjutnya adalah menghitung penalaan rele jarak untuk zona 1, 2, dan 3. Hasil penalaan rele jarak untuk zona 1, 2, 3 tersebut kemudian di bandingkan dengan impedansi hasil simulasi gangguan hubung singkat, simulasi gangguan hubung singkat hanya dilakukan untuk gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, dan 1 fasa ke tanah. Setelah terbukti bahwa impedansi gangguan akibat hubung singkat lebih kecil dari impedansi penalaan maka langkah selanjutnya membuat diagram R-X karakteristik rele jarak.



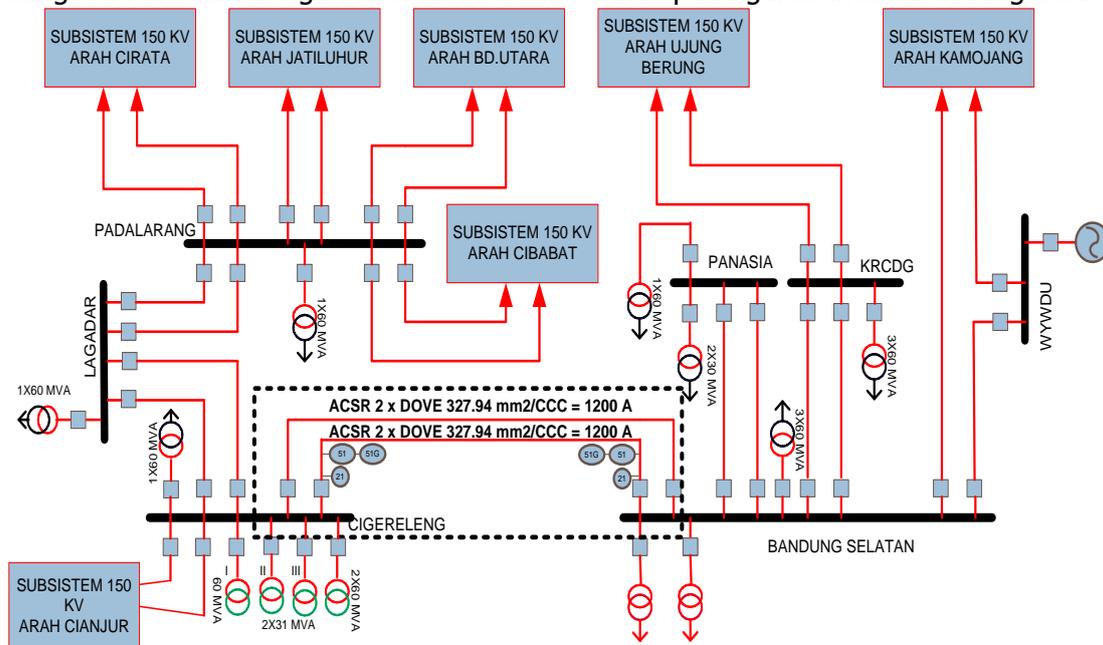
Gambar 1 *Flow Chart* Langkah Penelitian

2.2 Data Penelitian

Analisis Penalaan Relé Jarak Sebagai Proteksi Utama Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV
Bandung Selatan – Cigareleng

Data untuk melakukan penelitian penalaan relé jarak sebagai proteksi utama pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Bandung Selatan – Cigareleng didapatkan dari PLN P3B JB adalah sebagai mana ditunjukkan oleh Gambar 2.

Gambar tersebut hanya memperlihatkan jaringan yang berhubungan dengan penalaan relé jarak Bandung selatan – Cigareleng. Relé yang akan ditala ditinjau dari gardu induk Bandung Selatan atau dengan kata lain relé diletakkan pada gardu induk Bandung Selatan.



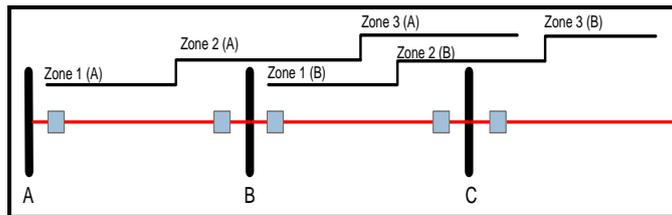
Gambar 2 Konfigurasi Sistem Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 KV Bandung Selatan – Cigareleng.

Tabel 1 menunjukkan data saluran transmisi yang menghubungkan gardu induk Bandung Selatan – Cigareleng. yang terdiri dari, Jenis penghantar, luas penampang, kapasitas pembawa arus (CCC), panjang saluran (km), Ratio CT & PT.

Tabel 1 Data Saluran Transmisi

BANDUNG SELATAN - CIGARELENG		
Sirkuit 1 & 2		
ITEM	URAIAN	SATUAN
JENIS PENGHANTAR	ACSR Dove 2X	-
LUAS PENAMPANG	327,94	mm ²
BUNDEL	2 X	-
CCC	1200	A
PANJANG	13,2	Km
CT RATIO	1600/5	-
PT RATIO	150000/100	-
Z _{line}	898	mOhm

2.3 Pertimbangan Penalaan Relé Jarak



Gambar 3 Penalaan Zone 1,2 dan 3

Gambar 3 merupakan Zona proteksi yang di tinjau pada masing-masing gardu induk.

• **Pertimbangan Untuk Penalaan Zone 1**

Jangkauan dari Zone 1 harus mencakup daerah sejauh mungkin dari saluran yang diamankan tetapi tidak boleh melampaui saluran yang ada didepannya. Dengan mempertimbangkan adanya kesalahan-kesalahan dari data saluran, kesalahan transformasi perlatan sebesar 20 %, maka zone-1 ditala 80% dari panjang saluran yang diamankan sebagaimana yang ditunjukkan oleh persamaan (1).

$$Z_1 = 0,8 * Z_{L1} \tag{1}$$

Sedangkan penalaan waktu kerja rele untuk zone-1 adalah seketika, sehingga tidak dilakukan penalaan waktu atau $t = 0$ Detik.

• **Pertimbangan Untuk Penalaan Zone 2**

Dasar pemilihan untuk penalaan zone-2 adalah salah satunya berdasarkan pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut :

Jangkauan ini harus dapat menjangkau sisa saluran yang tidak dapat diamankan zone-1, tetapi tidak boleh melebihi (*overlap*) dengan zone-2 seksi berikutnya. Dengan mengasumsikan kesalahan-kesalahan seperti pada penalaan zone-1 sekitar 20%, maka didapat penalaan minimum dan maksimum untuk zone-2 seperti yang ditunjukkan oleh persamaan (2) dan (3) sebagai berikut :

$$Z_{2min} = 1,2 * Z_{L1} \tag{2}$$

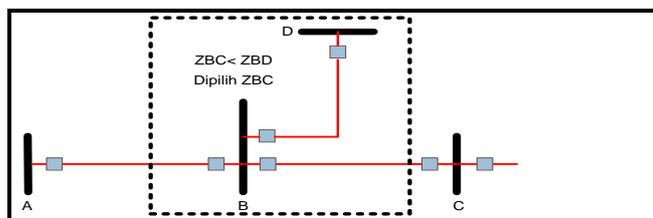
$$Z_{2mak} = 0,8 * (Z_{L1} + 0,8 Z_{L2}) \tag{3}$$

dengan :

Z_{L1} = impedansi saluran yang diamankan

Z_{L2} = impedansi saluran berikutnya yang terpendek (Ohm)

Jika pada saluran seksi berikutnya bercabang, dan untuk mendapatkan selektifitas yang baik, maka setelah Z_{2mak} diambil dengan nilai impedansi penghantar yang terkecil seperti yang di tunjukkan pada **Gambar 4** di bawah ini. Untuk keadaan di mana $Z_{2mak} > Z_{2min}$ maka penalaan zone-2 diambil sama dengan Z_{2mak} dengan waktu tunda $t_2 = 0,4$ detik

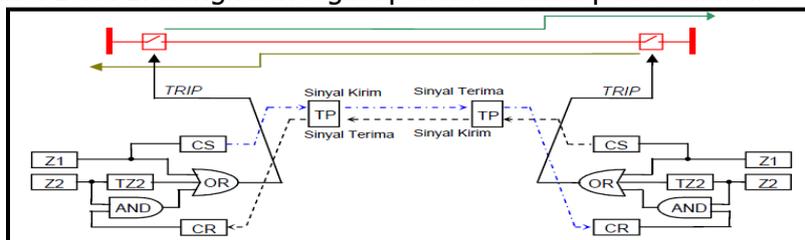


Gambar 4 Penalaan Zone 2 Akibat Percabangan

Jika saluran yang diamankan jauh lebih panjang dari saluran seksi berikutnya maka akan terjadi $Z_{2mak} < Z_{2min}$. Pada keadaan demikian untuk mendapatkan selektifitas yang baik, maka zone-2 diambil sama dengan Z_{2min} dengan penalaan waktu di tingkatkan satu tingkat, yaitu $t_2 = 0,8$ detik.

1. *Permissive Underreach Transfer Trip Scheme (PUTT)*

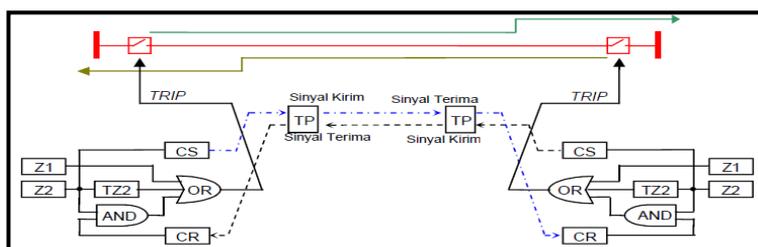
Pada pola ini peralatan Tele Proteksi (TP) akan mengirim sinyal (*carrier send*) ke peralatan TP pada gardu induk di depannya, apabila rele jarak mendeteksi gangguan pada zona 1. Pada gardu induk yang menerima sinyal (*carrier receive*), apabila rele jarak mendeteksi gangguan pada zona 2 dan menerima sinyal TP, maka rele akan memberikan perintah trip waktu zona 1. Rangkaian logika pola ini terlihat pada Gambar 6 di bawah ini.



Gambar 6 Rangkaian Logika Skema PUTT

2. *Permissive Overreach Transfer Trip (POTT)*

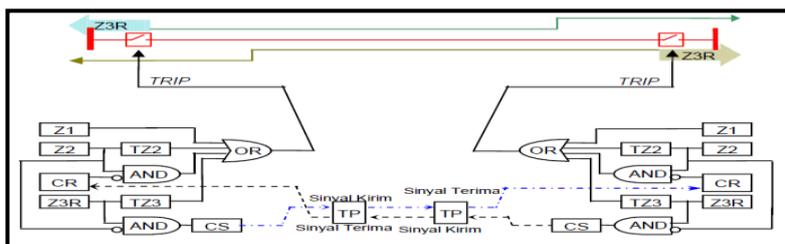
Pada pola ini peralatan TP akan mengirim sinyal (*carrier send*) ke peralatan TP pada gardu induk di depannya apabila mendeteksi gangguan zona 2. Pada gardu induk yang menerima sinyal (*carrier receive*), apabila rele jarak mendeteksi gangguan pada zona 2, maka memberikan perintah trip pada waktu zona 1. Rangkaian logika skema ini terlihat pada Gambar 7 di bawah ini.



Gambar 7 Rangkaian Logika Skema POTT

3. *Blocking Scheme*

Pada pola ini peralatan TP akan mengirim sinyal ke peralatan TP pada gardu induk di depannya apabila rele jarak mendeteksi gangguan pada daerah belakang (*reverse zone*). Pada gardu induk yang menerima sinyal, apabila rele jarak mendeteksi gangguan pada daerah depan (*forward zone*) Zona 2, maka rele akan memberikan perintah blok (*blocking*). Apabila rele tidak menerima sinyal namun mendeteksi gangguan pada daerah depan (zona 2), maka rele akan memberikan perintah trip seketika, seperti yang terlihat pada Gambar 8 di bawah ini.



Gambar 8 Rangkaian Logika Skema Blocking

[Sumber : PT.PLN Persero]

2.5 Pengujian Rele Jarak

Dalam melakukan pengujian dilakukan perbandingan antara penalaan rele yang terpasang dengan gangguan hubung singkat yang terjadi. Skenario yang akan dilakukan dengan mensimulasikan gangguan dengan lokasi gangguan sebesar 25%, 50%, 75% dan 100%. Metode yang akan dilakukan dalam pengujian yaitu Komparator Besaran

Komparator Besaran adalah komparator yang membandingkan antara besaran impedansi yang terganggu dengan besaran impedansi penalaannya, yaitu :

Kondisi Trip : $Z_{gangguan} < Z_{penalaan}$

Dimana :

Z_{fault} = Impedansi Gangguan

$Z_{setting}$ = Impedansi Penalaan

2.6 Metode Simulasi

Metode simulasi digunakan untuk mengetahui besar arus dan tegangan akibat hubung singkat yang berguna untuk melihat impedansi gangguan akibat hubung singkat atau membandingkan impedansi penalaan dengan impedansi gangguan sebenarnya.

Untuk membuat simulasi, dibutuhkan beberapa parameter yang berpengaruh terhadap besaran arus dan tegangan akibat hubung singkat yang akan disimulasikan, yaitu *Power grid, Transmission line, Transformator, Load*. Keempat parameter tersebut diperoleh dari data PLN P3B Cigereleng.

Setelah data di atas terlengkapi, langkah selanjutnya adalah melakukan skenario dengan memberi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, dua fasa, dan tiga fasa dengan jarak gangguan 25%, 50%, 75%, sampai 100% yang nantinya akan didapatkan parameter sebagai berikut:

Untuk Gangguan 3 fasa :

Parameter yang akan didapatkan untuk gangguan 3 fasa adalah tegangan hubung singkat (V_{hs})(%) dan arus hubung singkat (I_{hs}), sehingga diperoleh besaran impedansi.

$$\begin{aligned} Z_{gangguan} \text{ (primer)} &= \frac{V_{hs} \text{ Sebenarnya}}{I_{hs}} \\ V_{hs} \text{ Sebenarnya} &= V_{hs}(\%) \times V_{based} \\ Z_{gangguan} \text{ (Sekunder)} &= Z_{gangguan} \text{ (primer)} \times \text{Ratio} \frac{CT}{PT} \end{aligned} \quad (9)$$

Untuk Gangguan 2 fasa :

Parameter yang akan di dapatkan untuk gangguan 2 fasa adalah V_{hs} fasa b (%), V_{hs} fasa c (%), I_{hs} fasa b, dan I_{hs} fasa c, sehingga diperoleh besaran impedansi.

$$\begin{aligned} Z_{gangguan} \text{ (primer)} &= \frac{V_{hs \text{ b Sebenarnya}} - V_{hs \text{ c Sebenarnya}}}{I_{hs \text{ b}} - I_{hs \text{ c}}} \\ V_{hs} \text{ Sebenarnya} &= V_{hs}(\%) \times V_{based} \\ Z_{gangguan} \text{ (Sekunder)} &= Z_{gangguan} \text{ (primer)} \times \text{Ratio} \frac{CT}{PT} \end{aligned} \quad (10)$$

Untuk Gangguan 1 fasa ke tanah :

Parameter yang akan di dapatkan untuk gangguan 1 fasa ke tanah adalah V_{hs} (%) dan I_{hs} , sehingga diperoleh besaran impedansi.

$$\begin{aligned} Z_{gangguan} \text{ (Primer)} &= \frac{V_{hs} \text{ sebenarnya}}{I_{hs} + K_0 \cdot I_{RN}} \\ V_{hs} \text{ Sebenarnya} &= V_{hs}(\%) \times V_{based} \\ K_0 &= \frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1} \\ Z_{gangguan} \text{ (Sekunder)} &= Z_{gangguan} \text{ (primer)} \times \text{Ratio} \frac{CT}{PT} \end{aligned} \quad (11)$$

[Nugraha, Rully. 2010]

3. HASIL PERHITUNGAN, SIMULASI DAN ANALISIS

3.1 Hasil Perhitungan Penalaan Rele Jarak

3.1.1 Data SUTT 150 kV

Tabel 2 merupakan ringkasan dari data impedansi urutan saluran dengan satuan ohm per kilometer di rubah menjadi impedansi dengan satuan ohm dengan mengalikan dengan panjang salurannya.

Tabel 2 Data Impedansi Urutan Positif (Z_1) dan urutan Nol (Z_0)

FROM	TO	Panjang Saluran (Km)	Z_1 (Ohm)	Z_0 (Ohm)
BDSL TN	CGRLNG	13,20	$1,199 \angle 69,39^0$	$5,890 \angle 71,037^0$
CGRLNG	LGADR	16,38	$7,309 \angle 71,037^0$	$24,323 \angle 76,684^0$
LGADR	PDLRNG	10,83	$4,833 \angle 71,037^0$	$\angle 76,684^0$

3.1.2 Perhitungan Penalaan Rele Jarak

Line 150 KV Bandung Selatan – Cigereleng

Distance Relay GEC – Quadramho (Pola PUTT)

Ratio CT & PT

$$CT_1 = \frac{1600}{5} \text{ Ampere} \quad PT_1 = \frac{150000}{100} \text{ Volt}$$

$$n_1 = \frac{CT_1}{PT_1} = 0,213$$

Penalaan Rele Jarak Untuk Gangguan Fasa-Fasa dan 3 Fasa.

ZONE -1

Berdasarkan persamaan (1) maka didapatkan hasil untuk penalaan untuk zone 1 sebagai berikut :

$$\text{Zone } 1_{\text{primer}} = 0,8 \times Z_1 \text{ BDSLTN-CGRLNG} = 0,959 \angle 69,39^0 \text{ Ohm}$$

$$\text{Zone } 1_{\text{sekunder}} = \text{Zone } 1_{\text{primer}} \times n_1 = 0,205 \angle 69,39^0 \text{ Ohm}$$

$$T_{\text{zone } 1} = 0 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan di atas, penalaan rele jarak untuk zona 1 pada sisi primer yaitu sebesar $0,959 \angle 69,39^0$ Ohm, sedangkan penalaan rele jarak untuk zona 1 pada sisi sekunder yaitu sebesar $0,205 \angle 69,39^0$ Ohm dengan waktu operasi rele jarak 0 detik atau dengan kata lain beroperasi seketika.

ZONE – 2

Berdasarkan Gambar 2 pada gardu induk Cigereleng terdapat 2 cabang yang mengarah ke gardu induk Lagadar dan mengarah ke gardu induk Cianjur, karena impedansi penghantar gardu induk Lagadar lebih kecil dari impedansi gardu induk Cianjur, maka gardu induk Lagadar dipilih untuk penalaan Zone 2. Berdasarkan persamaan (2),(3),(4) dan (5), maka didapatkan hasil penalaan Zone 2 sebagai berikut :

$$Z_{2\text{min}} = 1,2 \times Z_1 \text{ BDSLTN-CGRLNG} = 1,439 \angle 69,39^0 \text{ Ohm}$$

$$Z_{2\text{mak1}} = 0,8 \times (Z_1 \text{ BDSLTN-CGRLNG} + (0,8 \times Z_1 \text{ CGRLNG-LGADR})) = 5,637 \angle 70,76^0 \text{ Ohm}$$

Karena pada gardu induk Cigereleng terdapat Trafo daya, maka zona 2 tidak boleh melebihi impedansi trafo. Impedansi trafo pada gardu induk Cigereleng sebesar :
Cigereleng Trafo 1 150/20 KV 60 MVA 10.20%

$$X_{T11} = \frac{0,102 \cdot 150^2}{60} = 38,25 \text{ Ohm, Maka :}$$

$$Z_{2\text{mak2}} = 0,8 \times (Z_1 \text{ BDSLTN-CGRLNG} + k \cdot X_{T11}) = 38,598 \angle 1,333^0 \text{ Ohm}$$

Dimana $k = 1$, k adalah faktor *infeed* saluran transmisi ganda ke ganda, Berdasarkan penelitian sebelumnya faktor *infeed* dapat mempengaruhi pembacaan rele .

Karena $Z_{2mak} > Z_{2min}$ maka dipilih Z_{2mak} .

Karena $Z_{2mak1} < Z_{2mak2}$ maka dipilih Z_{2mak1}

$$\begin{aligned} \text{maka } Z_{2mak1} &= \text{Penalaan Zone } 2_{\text{primer}} = 5,637 \angle 70,76^{\circ} \text{ Ohm (Primer)} \\ Z_{2\text{Sekunder}} &= Z_{2\text{Primer}} \times n_1 = 1,201 \angle 70,76^{\circ} \text{ Ohm (Sekunder)} \\ T_{\text{Zone 2}} &= 0,4 \text{ detik} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan di atas, penalaan rele jarak untuk zona 2 pada sisi primer yaitu sebesar $5,637 \angle 70,76^{\circ}$ Ohm, sedangkan penalaan rele jarak untuk zona 2 pada sisi sekunder yaitu sebesar $1,201 \angle 70,76^{\circ}$ Ohm, dengan waktu operasi rele jarak 0,4 detik.

ZONE - 3

Berdasarkan persamaan 6, 7 dan 8 maka didapatkan hasil untuk penalaan zone 3 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Z_{3min} &= 1,2 \times (Z_{1 \text{ BDSLTN-CGRLNG}} + (k \times Z_{1 \text{ CGRLNG-LGADR}})) \\ &= 10,21 \angle 70,804^{\circ} \text{ Ohm} \\ Z_{3mak1} &= 0,8 \times [Z_{1 \text{ BDSLTN-CGRLNG}} + (0,8 \times k \times (Z_{1 \text{ CGRLNG-LGADR}} + 0,8 \times Z_{1 \text{ LGADR-PDLRNG}}))] \\ &= 8,111 \angle 70,841^{\circ} \text{ Ohm} \end{aligned}$$

Karena pada gardu induk Lagadar terdapat Trafo daya maka zona 2 tidak boleh melebihi impedansi trafo. Impedansi trafo 150/20 KV 60 MVA pada gardu induk Lagadar sebesar 12,13%

$$\begin{aligned} X_{T21} &= \frac{0,1213 \cdot 150^2}{60} = 45,487 \text{ Ohm, maka :} \\ Z_{3mak2} &= 0,8 (Z_{1 \text{ BDSLTN-CGRLNG}} + (k \times X_{T21})) \\ &= 36,744 \angle 1,750^{\circ} \text{ Ohm} \end{aligned}$$

Dimana $k = 1$, k adalah faktor *infeed* saluran transmisi ganda ke ganda, Berdasarkan penelitian sebelumnya faktor *infeed* dapat mempengaruhi pembacaan rele jarak.

Karena penalaan untuk zona 3 yang paling terbesar antara Z_{3mak} dan Z_{3min} maka dipilih Z_{3min} = Penalaan Zone $3_{\text{Primer}} = 10,21 \angle 70,804^{\circ}$ Ohm

$$\begin{aligned} Z_{2\text{Sekunder}} &= Z_{3(\text{Primer})} \times n_1 = 2,175 \angle 70,804^{\circ} \text{ Ohm} \\ T_{\text{Zone 3}} &= 1,2 \text{ detik} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan di atas, penalaan rele jarak untuk zona 3 pada sisi primer yaitu sebesar $10,21 \angle 70,804^{\circ}$ Ohm, sedangkan penalaan rele jarak untuk zona 2 pada sisi sekunder sebesar $2,175 \angle 70,804^{\circ}$ Ohm, dengan waktu operasi rele jarak 1,2 detik.

Penalaan Rele Jarak Untuk Gangguan Fasa – Tanah Kompensasi Residual

$$\begin{aligned} Z_0 \text{ BDSLTN-CGRLNG} &= 5,890 \angle 71,037^{\circ} \text{ Ohm} \\ Z_1 \text{ BDSLTN-CGRLNG} &= 1,199 \angle 69,39^{\circ} \text{ Ohm} \\ K_0 &= \frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1} = \frac{4,692 \angle 71,457}{3,596 \angle 6,388} = 1,305 \angle 2,069^{\circ} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas, K_0 adalah kompensasi urutan nol atau dengan kata lain konstanta kompensasi untuk gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah yaitu sebesar $1,305 \angle 2,069^{\circ}$.

Penalaan Jangkauan Resistif

$$Z \text{ beban max} = \frac{V_{r1}}{I_{r1}} = \frac{\left(\frac{150 \text{ kV}}{\sqrt{3}}\right)}{1600} = 54,13 \text{ Ohm}$$

Karena R_{bmax} diasumsikan setengah dari beban penuh maka resistansi beban adalah :

$$\begin{aligned} R_{bmax(\text{primer})} &= 0,5 \times Z \text{beban max} \\ &= 0,5 \times 54,13 \\ &= 27,06 \approx 27 \text{ Ohm (Primer)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{bmax(\text{Skunder})} &= R_{b \text{ max}(\text{primer})} \times n_1 \\ &= 27 \times 0,213 = 5,75 \approx 6 \text{ Ohm (Sekunder)} \end{aligned}$$

Tabel 3 merupakan hasil dari perhitungan penalaan rele jarak dimana besarnya dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 3 Hasil Penalaan Rele Jarak Saluran Transmisi 150 KV Bandung Selatan - Cigereleng

Jenis Gangguan		Hasil Perhitungan Penalaan Rele Jarak		
		Zone 1 (Ohm)	Zone 2 (Ohm)	Zone 3 (Ohm)
Fasa-Fasa /3Fasa	Primer	0,959 $\angle 69,39^\circ$	5,637 $\angle 70,76^\circ$	10,21 $\angle 70,804^\circ$
	Sekunder	0,205 $\angle 69,39^\circ$	1,201 $\angle 70,76^\circ$	2,175 $\angle 70,804^\circ$
Fasa - Tanah	Primer	20,02 $\angle 71,97^\circ$	20,02 $\angle 71,97^\circ$	20,02 $\angle 71,97^\circ$
	Sekunder	4,26 $\angle 71,97^\circ$	4,26 $\angle 71,97^\circ$	4,26 $\angle 71,97^\circ$
WAKTU TUNDA		0 detik	0,4 detik	1,2 detik

3.2 Pengujian Penalaan Rele Jarak Terhadap Gangguan Hubung Singkat

Dalam melakukan pengujian, dilakukan perbandingan antara impedansi penalaan rele yang terpasang terhadap impedansi gangguan hubung singkat yang terjadi. Skenario yang dilakukan dengan mensimulasikan gangguan, dengan lokasi gangguan sebesar 25%, 50%, 75% dan 100%. Tabel 4 di bawah ini menunjukkan hasil simulasi yang dilakukan dengan skenario gangguan pada jarak 25%, 50%, 75%, 100% saluran.

Tabel 4 Besarnya Arus Hubung Singkat Pada Jarak Tertentu (%)

Jarak Gangguan (%)	Jenis Gangguan	Vhs (%)		Vhs (kV)		Angel (Deg)		Ihs (kA)		Angel (Deg)	
		Phasa b	phasa c	Phasa b	phasa c	Phasa b	phasa c	Phasa b	phasa c	Phasa b	phasa c
25	Tiga Fasa	13.59		20.38		-15.1		43.19		-84	
	Dua Fasa	54.27	48.29	46.99	41.82	-167.9	166.4	37.41	37.41	-174.0	6.0
	Satu Fasa Tanah	10.48		9.07		-5,2		11.73		-84.8	
50	Tiga Fasa	24.01		36,02		-13.3		38.16		-83.3	
	Dua Fasa	58.4	49.54	50.58	42.9	-159.7	155.9	33.05	33.05	-173.3	6.7
	Satu Fasa Tanah	18.99		16.45		-12.7		10.53		-84.5	
75	Tiga Fasa	32.24		48.37		-11.9		34.16		-83.3	
	Dua Fasa	62.08	52.01	53.77	45.04	-153.9	148.3	29.58	29.58	-173.3	6.7
	Satu Fasa Tanah	26.03		22.54		-11.6		9.49		-84.7	
100	Tiga Fasa	38.89		58.34		-10.7		30.9		-83.9	
	Dua Fasa	65.28	54.84	56.53	47.49	-149.5	142.9	26.76	26.76	-173.9	6.1
	Satu Fasa Tanah	38,15		27.65		-10.7		8.55		-85.4	

Berdasarkan Tabel 4 di atas terlihat bahwa arus hubung singkat terbesar berada pada jenis gangguan hubung singkat tiga fasa dengan jarak 25% saluran sebesar 43.19 kA dan arus yang terkecil berada pada jenis gangguan hubung singkat satu fasa tanah dengan jarak 100% saluran sebesar 8.55 kA, hal ini sesuai dengan teori hukum ohm bahwa ketika terjadi gangguan hubung singkat semakin besar Impedansi saluran atau dengan kata lain semakin

jauh lokasi gangguan dari titik yang di tinjau rele, maka akan semakin kecil arus gangguan hubung singkat yang akan terjadi. Tabel 4 di atas menunjukkan penurunan yang hampir linier terhadap jarak atau lokasi gangguan (%).

Tabel 5 Hasil Perbandingan $Z_{penalaan}$ dengan $Z_{gangguan}$ Pada Setiap Lokasi Tertentu (%)

Lokasi Gangguan	Jenis Gangguan	Z fault (Primer)	Z fault (Sekunder)	Z Setting (Primer)	Z Setting (Sekunder)	KET.	Zone Operate
25%	3 Fasa	0,27 \angle 68,9	0,06 \angle 68,9	0.959 \angle 69.39	0.205 \angle 69.39	Operate	Zone 1
	2 Fasa	0,28 \angle 80,943	0,06 \angle 80,943	0.959 \angle 69.39	0.205 \angle 69.39	Operate	Zone 1
	1 Fasa Tanah	0,19 \angle 78,43	0,04 \angle 78,43	20.02 \angle 71.97	4.26 \angle 71.97	Operate	Zone 1
50%	3 Fasa	0,5 \angle 70	0,11 \angle 70	0.959 \angle 69.39	0.205 \angle 69.39	Operate	Zone 1
	2 Fasa	0,6 \angle 70,01	0,12 \angle 70,01	0.959 \angle 69.39	0.205 \angle 69.39	Operate	Zone 1
	1 Fasa Tanah	0,39 \angle 70,63	0,08 \angle 70,63	20.02 \angle 71.97	4.26 \angle 71.97	Operate	Zone 1
75%	3 Fasa	0,82 \angle 71,4	0,17 \angle 71,4	0.959 \angle 69.39	0.205 \angle 69.39	Operate	Zone 1
	2 Fasa	0,83 \angle 71,41	0,18 \angle 71,41	0.959 \angle 69.39	0.205 \angle 69.39	Operate	Zone 1
	1 Fasa Tanah	0,59 \angle 71,92	0,13 \angle 71,92	20.02 \angle 71.97	4.26 \angle 71.97	Operate	Zone 1
100%	3 Fasa	1,1 \angle 73,2	0,23 \angle 73,2	5.637 \angle 70.76	1.201 \angle 70.76	Operate	Zone 2
	2 Fasa	1,09 \angle 73,31	0,23 \angle 73,31	5.637 \angle 70.76	1.201 \angle 70.76	Operate	Zone 2
	1 Fasa Tanah	0,81 \angle 73,51	0,17 \angle 73,51	20.02 \angle 71.97	4.26 \angle 71.97	Operate	Zone 2

Berdasarkan hasil simulasi hubung singkat, besar impedansi hubung singkat 3 fasa , 2 fasa, dan 1 fasa ke tanah sesuai dengan hasil penalaan menggunakan perhitungan. Terbukti bahwa $Z_{gangguan}$ lebih kecil dari $Z_{penalaan}$ ($Z_{gangguan} < Z_{penalaan}$). seperti yang terlihat pada Tabel 5 di atas.

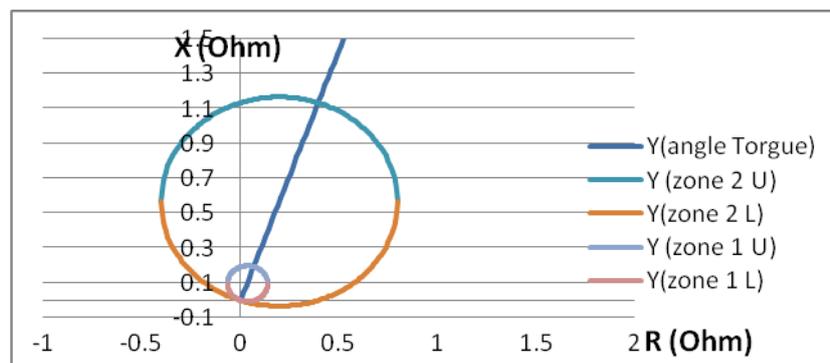
Gangguan yang terjadi pada jarak tertentu dalam % mendekati linier dengan impedansi gangguannya. Hal ini sesuai dengan teori yang ada bahwa besar impedansi gangguan akan berbanding lurus dengan lokasi gangguannya.

Pada Gangguan 1 fasa ke tanah Impedansi gangguan yang terjadi di sisi primer sangat kecil dibandingkan dengan impedansi penalaannya, hal ini disebabkan karena pada saat simulasi gangguan yang terjadi tidak termasuk resistansi tanah.

Pengaruh yang disebabkan adanya tahanan gangguan, jika terjadi gangguan pada daerah yang diamankan, adanya tahanan gangguan (Z_g) yang bersifat induktif dapat menyebabkan tahanan yang terlihat rele jarak menjadi lebih besar.

Untuk membuktikan hasil penalaan dari rele jarak sudah benar maka dapat dibuktikan dengan Diagram R-X seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 9. Pada gambar tersebut hanya zone 1 dan zone 2 saja yang diperlihatkan sesuai dengan hasil pengujian menggunakan simulasi hubung singkat.

Pada Gambar 9 $Y(\text{Zona 1 U})$ dan $Y(\text{Zona 1 L})$ merupakan karakteristik untuk penalaan Zona 1, sedangkan $Y(\text{Zona 2 U})$ dan $Y(\text{Zona 2 L})$ merupakan karakteristik untuk penalaan Zona 2, $Y(\text{angle torque})$ merupakan vektor impedansi saluran.



Gambar 9 Diagram R-X Rele Jarak Karakteristik Mho

4. KESIMPULAN

1. Arus hubung singkat terbesar berada pada jenis gangguan tiga fasa dengan jarak 25% saluran sebesar 43.19 kA dan arus yang terkecil berada pada jenis gangguan hubung singkat satu fasa tanah dengan jarak 100% saluran sebesar 8.55 kA hal ini sesuai dengan teori yang ada bahwa jarak akan berpengaruh pada besarnya gangguan hubung singkat baik gangguan hubung singkat tiga fasa, dua fasa maupun gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah.
2. Semakin jauh lokasi gangguan hubung singkat baik hubung singkat tiga fasa, dua fasa, maupun satu fasa ke tanah maka akan semakin kecil arus gangguannya. Dari hasil penelitian ini, Arus hubung singkat tiga fasa dengan jarak 100% mencapai 30,9 kA sedangkan arus gangguan hubung singkat tiga fasa dengan jarak 25% mencapai 43,19 kA. Artinya arus hubung singkat dengan jarak 100% akan mengalami kenaikan sebesar 71,5% dari arus gangguan tiga fasa dengan jarak 25% saluran. Hal tersebut berlaku sama untuk jenis gangguan yang lainnya.
3. Dengan adanya rele jarak sebagai proteksi utama pada saluran transmisi 150 KV Bandung Selatan – Cigereleng, maka ketika terjadi gangguan hubung singkat saluran tersebut dapat terproteksi dengan baik, terbukti dengan membandingkan impedansi hasil simulasi hubung singkat dengan impedansi penalaan. Impedansi penalaan untuk Zone 1, Zone 2, dan Zone 3 dalam nilai sekunder sebagai berikut :
Zone 1 : $0,205 \angle 69,39^{\circ}$ dengan waktu operasi trip 0 detik
Zone 2 : $1,201 \angle 70,76^{\circ}$ dengan waktu operasi trip 0,4 detik
Zone 3 : $2,175 \angle 70,804^{\circ}$ dengan waktu operasi trip 1,6 detik

DAFTAR RUJUKAN

- L. Grigsby, Leonard. 2007. *Electric Power Generation, Transmission, and Distribution*, Second Edition, Taylor & Francis Group, LLC. Hal. 2
- F.Sleva, Anthony. 2009. *Protective Relay Principles*. Taylor & Francis Group, LLC. Hal 2
- Izykowski, Jan. 2008. *Fault Location On Power Transmision Line*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wroclawskiej. Hal. 6
- Nugraha, Rully. 2010. Analisis Perhitungan Rele Jarak Pada SUTT 150 KV Cigereleng - Lagadar. Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional. Bandung. Hal. 8.
- PT.PLN (Persero). 2010 Proteksi dan Kontrol Penghantar. Hal. 2
- Suci Lestari, Dince. 2010. Analisis Kontingensi Proteksi Rele Jarak Pada Sistem Tegangan Tinggi Di PT. CHEVRON PACIFIK INDONESIA. Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional. Bandung. Hal. 2.