

ANALISIS PROTEKSI RELE JARAK PADA SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI 150 KV

Sugianto¹, Eggi Maulana Yusuf²

Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Sains dan Teknologi Nasional
Jalan Moh Kahfi II, Srengseng Sawah, Jagakarsa, RT.13/RW.9, Srengseng Sawah, Kec.
Jagakarsa, Kota Jakarta Selatan, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 12630, Indonesia.
E-mail: sugiantoistn13@gmail.com, Eggi.maulana88@gmail.com

ABSTRAK

Rele jarak (Distance Relé) difungsikan sebagai pengaman utama pada saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150 kV. Prinsip dasar rele jarak adalah membaca impedansi berdasarkan *Zone-1*, *Zone-2*, *Zone-3*. Metode yang digunakan untuk menentukan pengaturan rele jarak pada sistem jaringan Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Cawang – KD.Badak dan KD.Badak - Cawang, yaitu dengan mencari data parameter penghantar dan transformator. Perhitungan nilai setting rele pada diterapkan pada rangkaian dan dianalisa, apakah dapat bekerja dengan baik dan tepat. Hasil perhitungan impedansi jangkauan sesuai data kabel penghantar didapatkan sebagai berikut : pada transmisi GI Cawang- Depok Pada Zona 1 = 8,768 Ω , Zona 2 = 13,152 Ω , Zona 3 = 24,299 Ω . dan pada transmisi GI KD.Badak - Depok Pada Zona 1 = 8,765 Ω , Zona 2 = 13,149 Ω , Zona 3 = 24,299 Ω .

Kata kunci : pengaturan, rele jarak, impedansi, pengaman utama

ABSTRACT

The distance relay (Distance Relé) functions as the main safety for the 150 kV high voltage overhead line (SUTT). The basic principle of distance relay is to read impedance based on Zone-1, Zone-2, Zone-3. The method used to determine the distance relay settings on the 150 kV Cawang High Voltage Air Line (SUTT) network system - KD.Badak and KD.Badak - Cawang, that is by looking for the data of the conductor and transformer parameters. The calculation of the relay setting value is applied to the circuit and analyzed, whether it can work properly and correctly. The results of the range impedance calculation according to the cable conductor data are obtained as follows; in the Cawang-Depok GI transmission, Zone 1 = 8,768 Ω , Zone 2 = 13,152 Ω , Zone 3 = 24,299 Ω . and for the GI KD.Badak - Depok transmission in Zone 1 = 8,765 Ω , Zone 2 = 13,149 Ω , Zone 3 = 24,299 Ω .

Keywords : setting, relay distance, impedance, main safety

1. Pendahuluan

Energi listrik merupakan salah satu energi yang dipakai oleh seluruh manusia, dimana energi ini dibutuhkan bagi peralatan listrik untuk menghidupkan lampu, menggerakkan motor, memanaskan, mendinginkan maupun untuk menggerakkan kembali suatu peralatan mekanik untuk menghasilkan bentuk energi yang lain.

Sistem tenaga listrik merupakan hubungan antara pusat listrik (pembangkit) dan konsumen (beban) dimana diantara keduanya terdapat gardu induk, saluran transmisi, dan saluran distribusi sehingga energi listrik yang dihasilkan dari pusat listrik dapat dipergunakan oleh konsumen.

Sistem transmisi tenaga listrik sangatlah penting dalam proses penyaluran energi listrik. saluran transmisi udara seringkali mengalami gangguan yang mengakibatkan pemadaman. Gangguan yang terjadi baik berasal dari dalam sistem maupun luar sistem seperti gangguan

hubung singkat, gangguan beban lebih, gangguan yang diakibatkan cuaca buruk. Gangguan tersebut dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan serta terganggunya proses penyaluran tenaga listrik. Untuk mencegah dan meminimalisir kerusakan serta kerugian akibat terjadinya gangguan tersebut, maka dibutuhkan suatu sistem proteksi yang andal dan baik. Sistem proteksi berfungsi untuk menjaga kestabilan proses penyaluran tenaga listrik dengan cara mendeteksi terjadinya gangguan atau keadaan tidak wajar pada sistem kemudian memutuskan bagian sistem yang terganggu sehingga bagian yang tidak terganggu dapat terus beroperasi.

Rele difungsikan sebagai pengaman utama pada saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150 kV yaitu Rele jarak (Distance Relé). Prinsip dasar rele jarak adalah membaca impedansi berdasarkan besaran arus dan tegangan yang

dirasakan untuk menentukan apakah rele harus bekerja atau tidak. Agar dapat bekerja secara baik maka diperlukan koordinasi antar rele, baik terhadap rele di terminal aliran lawannya maupun dengan rele seksi berikutnya. Koordinasi rele jarak didasarkan pada parameter saluran transmisi dengan memperhatikan parameter gangguan.

Oleh karena itu diperlukan penelitian mengenai proteksi rele jarak pada SUTT 150 kV sehingga diharapkan proteksi bekerja secara cepat dan selektif.

2. Kajian Pustaka

2.1. Sistem Transmisi Tenaga Listrik

Sistem transmisi adalah suatu sistem penyaluran energi listrik dari suatu tempat ketempat lain seperti dari stasiun pembangkitan ke gardu induk. Tenaga listrik di transmisikan oleh suatu bahan konduktor yang mengalirkan energi listrik. Pemilihan dan penggunaan sistem transmisi didasarkan atas besarnya daya/ energi listrik yang akan disalurkan dari berbagai pembangkit ke pusat beban dengan jarak penyaluran yang cukup jauh. Sistem transmisi energi listrik menyalurkan daya listrik dengan tegangan tinggi dan arus yang relatif kecil yang bertujuan untuk mengurangi adanya rugi-rugi akibat jatuh tegangan. Berdasarkan kapasitas tegangan yang disalurkan Saluran Transmisi terdiri dari:

1. Menara atau Tiang Transmisi
2. Isolator
3. Kawat Penghantar
4. Kawat Tanah

2.2. Sistem Proteksi Tenaga Listrik

Sistem proteksi adalah suatu sistem yang berfungsi untuk mengamankan/mengisolir penghantar (saluran udara/saluran kabel) tegangan tinggi atau tegangan ekstra tinggi dari gangguan temporer dan gangguan permanen yang terjadi pada penghantar tersebut. Sistem proteksi memiliki fungsi, sebagai berikut:

- a. Menghindari atau mengurangi kerusakan peralatan yang diakibatkan oleh gangguan (keadaan tidak normal), yang akan menyebabkan terjadinya kerusakan pada alat.
- b. Melokalisir (memisahkan) luas daerah yang mengalami gangguan menjadi sekecil mungkin
- c. Mengamankan manusia/pengguna terhadap bahaya yang akan ditimbulkan oleh listrik.
- d. Untuk menjaga alat ataupun komponen agar dapat bekerja sesuai dengan batas kemampuan kerjanya.

2.3. Persyaratan Sistem Proteksi

Pada sistem proteksi tenaga listrik, ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi demi mengamankan peralatan-peralatan listrik yang ada. Untuk itu ada beberapa persyaratan yang harus

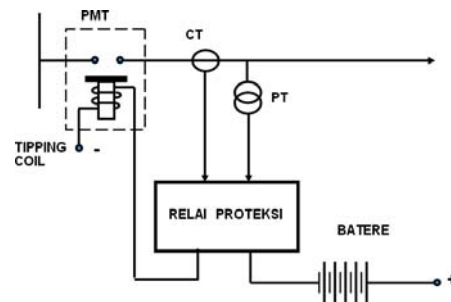
dipenuhi oleh suatu sistem proteksi, seperti berikut ini :

1. Keterandalan (Reliability)
2. Selektivitas (Selectivity)
3. Sensitivitas (Sensitivity)
4. Kecepatan Kerja
5. Ekonomis

2.4. Perlengkapan Sistem Proteksi

Dalam aplikasinya, sistem proteksi terdiri dari beberapa peralatan pendukung. Berikut ini adalah skema secara umum dari sistem proteksi beserta peralatan pendukung yang digunakan:

1. Current Transformer / Transformator Arus
2. Potential Transformer (PT) / Transformator Tegangan
3. Circuit Breaker (CB) / Pemutus Tenaga (PMT)
4. Relay Proteksi
5. Catu daya/Batere
6. Pengawatan / Wiring



Gambar 2.1. Skema Perlengkapan Sistem Proteksi

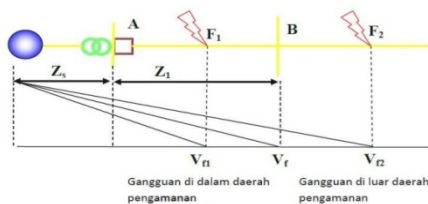
2.5. Rele Jarak

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.

2.6. Prinsip Kerja Rele 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. 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. Contoh prinsip kerja relay jarak terhadap adanya gangguan dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.2. Prinsip Kerja Relay Jarak Terhadap Adanya Gangguan

Distance relay akan bekerja dengan cara membandingkan impedansi gangguan yang terukur dengan setting impedansi pada rele jarak, dengan ketentuan :

- a) Jika harga impedansi gangguan lebih kecil daripada setting impedansi rele jarak, maka rele jarak akan bekerja.
- b) Jika harga impedansi gangguan lebih besar atau sama dengan setting impedansi rele jarak, maka rele jarak tidak akan bekerja.

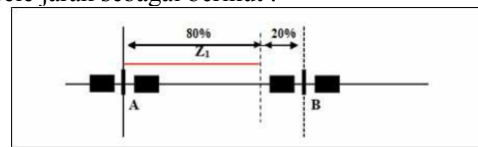
2.7. Setting Rele Jarak

Pengaturan relay jarak dapat dilakukan berdasarkan pada daerah yang akan diproteksi oleh relay jarak. Untuk memperoleh tingkat selektifitas yang tinggi pada saluran transmisi yang mengalami gangguan maka pada relay jarak dibentuk zona proteksi. Zona proteksi relay jarak menggambarkan panjang saluran transmisi yang diproteksi, zona proteksi relay jarak terbagi menjadi tiga zona yaitu sebagai berikut:

1. Setting zona 1

Setting zona 1 tidak mencakup 100% saluran yang diproteksi. Saluran yang dicakup zona 1 tergantung pada akurasi rele dan ketidakpastian lainnya, akibat adanya gangguan. Zona 1 biasanya disetting 80% dari panjang saluran transmisi. Hal – hal yang perlu diperhatikan dalam setting zonal adalah :

- a. Unit zona 1 tidak boleh bekerja bila ada gangguan di terminal ujung saluran. Zona 1 bekerja seketika bila ada gangguan yang terdeteksi. Akurasi rele kurang dapat membedakan apakah gangguan tersebut ada di dekat rel depan saluran yang diproteksi, atau dekat rel pada saluran tetangganya. Akibatnya bisa terjadi pemutusan daya yang luas, karena kedua rele pada rel-rel tetangganya akan segera bekerja.
- b. Jangkauan zona 1 tidak boleh kurang dari 50% panjang saluran, karena pengaruh tahanan gangguan. Sebab akan ada daerah pada saluran tersebut yang tidak mempunyai proteksi seketika. Untuk tingkat amannya, maka zona 1 disetting sedikitnya 60 % saluran yang diproteksi, karena adanya tahanan gangguan terbesar yang diramalkan. Contoh skema proteksi zona 1 pada rele jarak sebagai berikut :



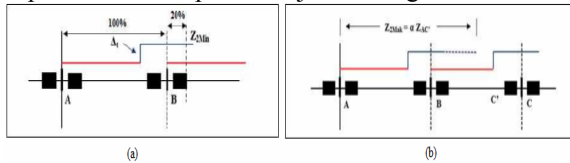
Gambar 2.3. Skema proteksi zona 1 pada Rele jarak

2. Setting zona 2

Zona 2 biasanya disetting mencakup sampai beberapa bagian saluran depan kedua. Impedansi penyetelan adalah 100% saluran depan ditambah 20% saluran depan kedua. Waktu penyetelan zona 2 harus memperhatikan waktu ketidakpastian operasi unit zona 1, agar benar-benar yakin bahwa unit zona 1 memang tidak mendeteksi gangguan tersebut. Prinsip penentuan penyetelan rele pada unit zona 2 adalah :

- a. Jangkauan zona 2 harus mencakup minimum gangguan di rel depan, karena adanya variasi nilai tahanan gangguan. Zona 2 rele disetting 20% lebih besar dari impedansi gangguan, dengan memberi tahanan gangguan terbesar yang mungkin terjadi.
- b. Dengan memperhatikan transformator di rel depan bila ada, unit zona 2 tidak boleh bekerja bila ada gangguan pada transformator tersebut. Jangkauan zona 2 sebenarnya dapat mencakup gangguan pada transformator tersebut, asalkan waktu kerja zona 2 lebih lama dari waktu kerja rele-rele proteksi cadangan trafo terlama yang mungkin terjadi. Waktu penyetelan zona 2 tidak dapat dinaikkan agar bisa lebih besar dari waktu penyetelan terlama dari proteksi cadangan, karena zona 2 dimaksudkan sebagai proteksi cadangan

utama pada saluran transmisi, tidak bisa terlalu lama dari waktu terlama unit zona 1. Kesenambungan aliran daya adalah alasan lain, yaitu jangan sampai gangguan lokal menyebabkan pemutusan aliran daya yang luas. Zona 2 hampir selalu diseting tidak boleh mencakup gangguan pada transformator di rel depan. Contoh skema jangkauan impedansi proteksi zona 2 pada rele jarak sebagai berikut :

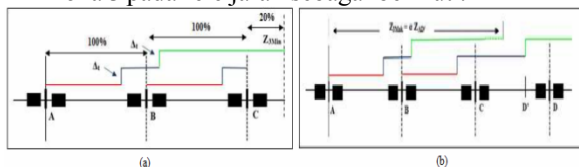


Gambar 2.4. Skema jangkauan proteksi: a) zona 2_{min} dan b) zona 2_{maks} pada Rele jarak

3. Setting Zona 3

Setting jangkauan zona 3 merupakan cadangan unit zona 2 sehingga jangkauannya pasti lebih jauh dari jangkauan zona 2.

- Tidak ada batasan yang mutlak untuk penyetelan daerah ini, karena zona 3 berada antara jangkauan zona 2 dan jangkauan unit starting. Zona 2 diseting untuk mencakup gangguan pada rel-rel depan kondisi apapun, sedang unit starting dibatasi oleh aliran daya dan ayunan daya. Jangkauan zona 3 biasanya diseting 220% melewati saluran di depan dan saluran di depan kedua.
- Transformator berada di rel depan, maka zona 3 diseting lebih kecil dari impedansi saluran di depan ditambah reaktansi transformator. Waktu penyetelan proteksi cadangan terlama transformator perlu diperhatikan apabila setting zona 3 tidak memungkinkan. Bila lebih kecil dari waktu penyetelan zona 3 maka penyetelan zona 3 tidak perlu dirubah lagi, tetapi bila lebih besar, maka waktu penyetelan zona 3 bisa diperbesar lagi. Rata-rata waktu penyetelan zona 3 jauh lebih besar dari waktu cadangan rele-rele transformator. Contoh skema jangkauan proteksi zona 3 pada rele jarak sebagai berikut :



Gambar 2.5. Skema jangkauan proteksi: a) zona 3_{min} dan b) zona 3_{maks} pada Rele jarak

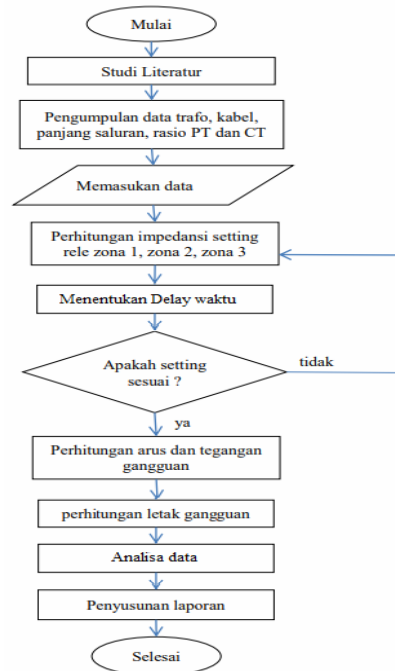
3. Metode

3.1. Metode Penelitian

Rele jarak sendiri menjadi salah satu sistem proteksi yang dapat melindungi sistem dari gangguan yang terjadi. Data yang didapatkan dilakukan perhitungan matematis sesuai dengan langkah pengerjaan literatur. Hasil perhitungan kemudian dianalisis untuk menghasilkan sebuah simpulan.

Berikut data yang dibutuhkan :

- Rasio trafo arus (CT) dan rasio trafo tegangan (PT)
 - Data kabel penghantar dan jarak antar gardu
 - Data setting rele jarak saluran transmisi Depok-Cawang dan Depok-KD.Badak
- Langkah-langkah dalam penelitian ini dijelaskan dalam diagram alir berikut



Gambar 3.1. Langkah - langkah penelitian

3.2. Setting Rele Jarak

Pengaturan relay jarak dapat dilakukan berdasarkan pada daerah yang akan diproteksi oleh relay jarak. Untuk memperoleh tingkat selektifitas yang tinggi pada saluran transmisi yang mengalami gangguan maka pada relay jarak dibentuk zona proteksi. Zona proteksi relay jarak menggambarkan panjang saluran transmisi yang diproteksi, zona proteksi relay jarak terbagi menjadi tiga zona yaitu sebagai berikut:

- Data Rasio CT dan PT

Dalam membuat setting, pertama-tama ditetapkan dahulu nilai impedansi di sistem tenaga (primer). Impedansi sekunder dihitung dengan perkalian rasio CT dan PT pada persamaan :

$$n = \frac{CT}{PT} \tag{1}$$

Dimana,

CT = Ratio trafo arus

PT = Ratio trafo tegangan

- Setting zona 1

Setting zona 1 tidak mencakup 100% saluran yang diproteksi. Saluran yang dicakup zona 1 tergantung pada akurasi rele dan ketidakpastian lainnya, akibat adanya gangguan. Zona 1 biasanya

diseting 80% dari panjang saluran transmisi. Hal – hal yang perlu diperhatikan dalam setting zona1 adalah :

$$Z_{1P} = 0.8 \times Z_{L1} \tag{2}$$

Jangkauan impedansi Zona 1 pada sisi sekunder diperoleh dengan persamaan :

$$Z_{1S} = n_1 \times Z_{1P} \tag{3}$$

Dengan :

Z_{L1} = impedansi saluran transmisi pertama (Ω)

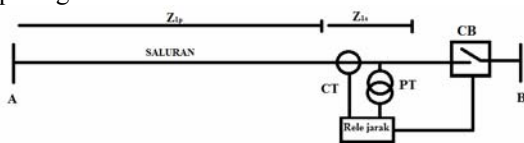
Z_{1P} = impedansi Zona 1 sisi primer (Ω)

Z_{1S} = impedansi Zona 1 sisi sekunder (Ω)

n_1 = Rasio CT dan PT

Waktu aktif rele zona 1 adalah, $t = 0$ detik.

Berikut contoh single line diagram jangkauan impedansi pada sisi primer dan sekunder pada Zona 1 pada gambar dibawah ini :



Gambar. 3.2. Single line diagram jangkauan impedansi pada sisi primer dan sekunder pada Zona 1.

3. Setting zona 2

Zona 2 biasanya diseting mencakup sampai beberapa bagian saluran depan kedua. Impedansi penyetelan adalah 100% saluran depan ditambah 20% saluran depan kedua. Waktu penyetelan zona 2 harus memperhatikan waktu ketidakpastian operasi unit zona 1, agar benar-benar yakin bahwa unit zona 1 memang tidak mendeteksi gangguan tersebut.

$$Z_{2min} = 1.2 \times Z_{L1} \tag{4}$$

$$Z_{2maks} = 0.8 \times (Z_{L1} + (0.8 \times Z_{L2})) \tag{5}$$

Dengan :

Z_{L1} = impedansi saluran transmisi pertama (Ω)

Z_{L2} = impedansi saluran transmisi kedua (Ω)

Waktu aktif rele zona 2 adalah, $t = 0.4$ samapi 0,8 detik.

Jangkauan impedansi Zona 2 pada sisi sekunder diperoleh dengan persamaan :

$$Z_{2p} = Z_{2min} \tag{6}$$

$$Z_{2S} = Z_{2p} \times n_1 \tag{7}$$

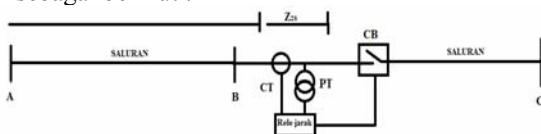
Dimana :

Z_{2p} = impedansi Zona 2 sisi primer (Ω)

Z_{2S} = impedansi Zona 2 sisi sekunder (Ω)

n_1 = Rasio CT dan PT

Berikut contoh single line diagram jangkauan impedansi pada sisi primer dan sekunder pada Zona 2 sebagai berikut :



Gambar. 3.2. Single line diagram jangkauan impedansi pada sisi primer dan sekunder pada Zona 2.

4. Setting Zona 3

Setting jangkauan zona 3 merupakan cadangan unit zona 2 sehingga jangkauannya pasti lebih jauh dari jangkauan zona 2. karena zona 3 berada antara jangkauan zona 2 dan jangkauan unit starting. Zona 2 diseting untuk mencakup gangguan pada rel-rel depan kondisi apapun, sedang unit starting dibatasi oleh aliran daya dan ayunan daya. Jangkauan zona 3 biasanya diseting 220% melewati saluran di depan dan saluran di depan kedua. sehingga didapatkan persamaan untuk zona 3 sebagai berikut :

$$Z_{3min} = 1.2 (Z_{L1} + Z_{L2}) \tag{8}$$

$$Z_{3maks} = 0.8 \times (Z_{L1} + 1.2.Z_{L2}) \tag{9}$$

Dengan :

Z_{L1} = impedansi saluran transmisi pertama (Ohm)

Z_{L2} = impedansi saluran transmisi kedua (Ohm)

Waktu aktif rele zona 3 adalah, $t = 1.2$ sampai 1,6 detik.

Pemilihan 1,6 detik agar melebihi waktu pole discrepency 1,5 detik dan DEF backup. Zona 3 memiliki seting waktu 1,6 detik. Jangkauan impedansi Zona 3 pada sisi sekunder diperoleh dengan persamaan :

$$Z_{3p} = Z_{3min} \tag{10}$$

$$Z_{3s} = Z_{3p} \times n_1 \tag{11}$$

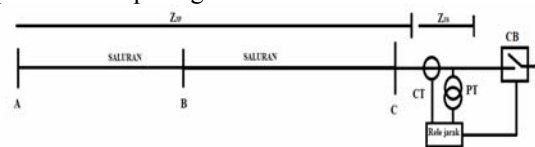
Dimana :

Z_{3p} = impedansi Zona 3 sisi primer (Ω)

Z_{3s} = impedansi Zona 3 sisi sekunder (Ω)

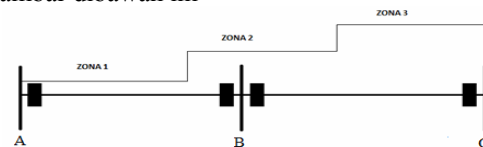
n_1 = Rasio CT dan PT

Berikut Contoh Skema single line diagram jangkauan impedansi pada sisi primer dan sekunder pada Zona 3 pada gambar di bawah ini:



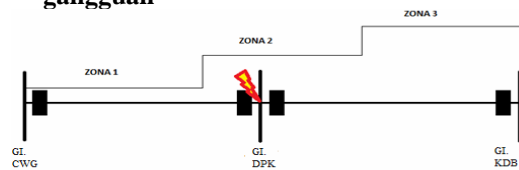
Gambar. 3.3. Single line diagram jangkauan impedansi pada sisi primer dan sekunder pada Zona 3.

Contoh zona pengamanan dari rele jarak pada gambar dibawah ini



Gambar 3.4. Zona pengamanan rele jarak

3.3. Pengujian sistem transmisi saat terjadi gangguan



Gambar 3.5. Saluran transmisi terdapat gangguan

Jika terjadi gangguan pada saluran transmisi pada saat itu rele bekerja dengan membaca dan mengatasi gangguan. Dengan menggunakan persamaan, nilai gangguan yang terjadi dapat diketahui:

1. Pengujian gangguan 1 fasa ke tanah

$$I_f = 3 \times \frac{V_{LN}}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f} \quad (12)$$

2. Pengujian gangguan 2 fasa

$$I_f = \frac{V_{LL}}{Z_1 + Z_2 + 3Z_f} \quad (13)$$

3. Pengujian gangguan 3 fasa

$$I_f = \frac{V_{LL}}{Z_1} \quad (14)$$

4. Pengujian tegangan gangguan

$$V_f = I_f \times Z_1 \quad (15)$$

5. Perhitungan Tegangan line to line

- Perhitungan nilai daya $P = S \times \cos \theta$ (16)

- Perhitungan nilai arus saluran $I_s = \frac{P}{\sqrt{3} \times V_s \times \cos \theta}$ (17)

- Perhitungan tegangan saluran $V_s = V_R + I_s \cdot Z_{saluran}$ (18)

- Perhitungan tegangan line to line $V_{LL} = V_s \times \sqrt{3}$ (19)

Keterangan persamaan diatas :

- I_f = arus gangguan yang terjadi (A)
- Z_1 = positive sequence impedance (Ω)
- Z_2 = negative sequence impedance (Ω)
- Z_0 = zero sequence impedance (Ω)
- Z_f = impedansi gangguan (Ω)
- V_f = tegangan gangguan (V)
- V_{LL} = Tegangan line to line (V)
- V_{LN} = Tegangan line to netral (V)
- V_R = Tegangan terima (V)
- V_s = Tegangan saluran (V)
- I_s = Arus saluran (A)

3.4. Menentukan Letak Gangguan

Gangguan yang terjadi pada saluran transmisi dapat terdeteksi oleh rele jarak dengan membaca impedansi gangguannya. Cara ini dapat diketahui seberapa jauh letak gangguan yang terjadi. Persamaan untuk menentukan letak gangguan rele jarak :

$$\text{Jarak gangguan} = \frac{Z_g \times \frac{PT}{L_s} \times L_s}{L_s} \quad (20)$$

Keterangan persamaan diatas :

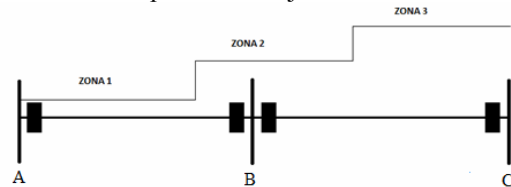
- Z_g = impedansi gangguan (Ω)
- Z_{L1} = impedansi saluran transmisi pertama (Ω)
- L_s = Panjang saluran (km)
- PT = Transformator tegangan (V)
- CT = Transformator arus (A)

4. Perhitungan dan analisa data

4.1. System Kelistrikan

Relai jarak digunakan sebagai pengaman utama (main Protection) pada SUTT / SUTET dan sebagai backup untuk seksi didepan. Relai

jarak bekerja dengan mengukur besaran impedansi (Z). Transmisi dibagi menjadi beberapa daerah cakupan yaitu Zone-1, Zone-2, Zone-3 seperti terlihat pada gambar Relai jarak mengukur tegangan pada titik relai dan arus gangguan yang terlihat dari relai, dengan membagi besaran tegangan dan arus, maka impedansi sampai titik terjadinya gangguan dapat di tentukan. Dari perhitungan impedansi dapat diketahui pengaruh nilai impedansi terhadap lokasi gangguan yang terjadi .berikut contoh gambar skema daerah proteksi rele jarak:



Gambar 4.1. Daerah proteksi rele jarak

Tabel 4.1. Data Rasio CT dan PT

| Nama | Uraian |
|----------------------|--------------|
| CT (Trafo Arus) | 1600 : 1 |
| PT (Trafo Tegangan) | 150000 : 100 |

Tabel 4.2. Data spesifikasi rele jarak pada GI Cawang – GI Depok

| Nama | Uraian | Satuan |
|------------------|----------------|--------|
| Merk | ALSTOM | - |
| Tipe | MICOM P443 | - |
| No.Seri | 33899919/11/16 | |
| Arus nominal | 1 | Ampere |
| Tegangan nominal | 100 | Volt |
| Tegangan DC | 110 | Volt |
| Frekuensi | 50/60 | Hertz |

Tabel 4,3. Data impedansi urutan

| Urutan impedansi | |
|--------------------------|---------------------------|
| Urutan impedansi positif | 0.0338 + j0.1097 Ω |
| Urutan impedansi negatif | 0.0338 + j0.1097 Ω |
| Urutan impedansi nol | 4.836 + j21.367 Ω |

Tabel 4.4. Data spesifikasi rele jarak pada GI KD.Badak – GI Depok

| Nama | Uraian | Satuan |
|------------------|----------|--------|
| Merk | ABB | - |
| Tipe | REL 670 | - |
| No.Seri | T1107114 | |
| Arus nominal | 1 | Ampere |
| Tegangan nominal | 100 | Volt |
| Tegangan DC | 110 | Volt |
| Frekuensi | 50/60 | Hertz |

Tabel 4.5. Data parameter kabel penghantar GI Cawang – GI Depok

| Item | Uraian | Satuan |
|--------------------|-----------------|-----------------|
| Tipe Konduktor | ACSR | - |
| Jenis Konduktor | DRAKE | - |
| Panjang Saluran | 28,7 | km |
| Diameter Konduktor | 28,14 | mm |
| Total Area | 468,5 | mm ² |
| Kapasitas arus | 1600 | A |
| Impedansi | 1,439 + j10,239 | Ω/km |

Tabel 4.6. Data parameter kabel penghantar GI Depok – GI KD.Badak

| Item | Uraian | Satuan |
|--------------------|----------------|-----------------|
| Tipe Konduktor | ACSR | - |
| Jenis Konduktor | DRAKE | - |
| Panjang Saluran | 18,3 | km |
| Diameter Konduktor | 28,14 | mm |
| Total Area | 468,5 | mm ² |
| Kapasitas arus | 1600 | A |
| Impedansi | 8,257 + j6,222 | Ω/km |

Tabel 4.7. Nilai setting rele jarak

| No | Bay Transmisi | Setting Zona 1 (Ω), 0 Sec | Setting Zona 2 (Ω), 0,4 Sec | Setting Zona 3 (Ω), 1,6 Sec | SN Relai |
|----|---------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------|
| 1 | L1CWG-DPK | 6.958 | 10.436 | 12.473 | 33899919/11/16 |
| 2 | L2CWG-DPK | 6.958 | 10.436 | 12.473 | 33899919/11/16 |
| 3 | L1DPK-KDB | 5.17 | 9.31 | 15.99 | T1107114 |
| 4 | L2DPK-KDB | 5.17 | 9.31 | 15.99 | T1107114 |

4.2. Perhitungan Setting Rele Jarak Pada GI Cawang – GI Depok

Evaluasi kinerja rele jarak meliputi setting kerja dan waktu kerja. Dengan demikian, dalam menentukan setting rele jarak ini diperlukan suatu analisa sistem tenaga listrik. Untuk itu diperlukan data-data yang berhubungan dengan penentuan setting rele jarak dengan data-data yang ada dibawah ini :

1. Perhitungan Rasio CT dan PT

Data transformator arus dan transformator tegangan pada transmisi Cawang - Depok.

Diketahui :

Diketahui :

Rasio CT = 1600 : 1

Rasio PT = 150000 : 100

Dengan menggunakan Persamaan 1, rasio CT dan PT diperoleh :

$$n_1 = \frac{1600/1}{150000/100}$$

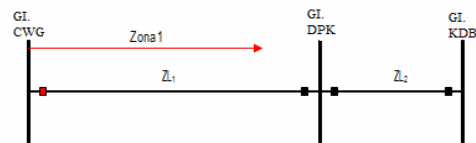
$$n_1 = 1,06$$

Jadi, hasil perhitungan ratio CT dan PT adalah 1,06

2. Jangkauan Impedansi

• Zona 1

Jangkauan impedansi Zona 1 pada saluran transmisi 150 kV Cawang - Depok dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 4.2. Jangkauan Impedansi Zona 1 Transmisi 150 kV Cawang – Depok

Diketahui :

$$Z_{L1} = 1.439 + j10.239$$

$$n_1 = 1,06$$

Penyelesaian untuk Zona 1 menggunakan persamaan (2) dan (3) diperoleh :

$$Z_{1p} = 0.8 \times (1.439 + j10.239)$$

$$Z_{1p} = 1.151 + j8.191 = 8,272 \angle 81,99^\circ \Omega$$

(Primer)

$$Z_{1s} = 1,06 \times (1.151 + j8.191)$$

$$Z_{1s} = 1.220 + j8.682 = 8,768 \angle 81,99^\circ \Omega$$

(Sekunder)

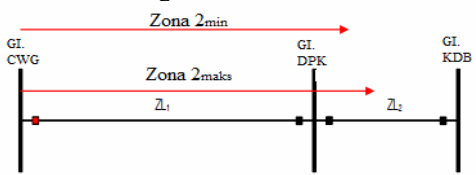
Nilai jangkauan impedansi zona 1 pada sisi primer adalah 8,272 $\angle 81,99^\circ \Omega$ dan pada sisi sekunder

adalah 8,768 $\angle 81,99^\circ \Omega$ pada saluran transmisi 150

kV Cawang – Depok.

• Zona 2

Jangkauan impedansi Zona 2 pada saluran transmisi 150 kV Cawang - Depok dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 4.3. Jangkauan Impedansi Zona 2 Transmisi 150 kV Cawang – Depok

Diketahui :

$$Z_{L1} = 1.439 + j10.239$$

$$Z_{L2} = 8,257 + j6,222$$

$$n_1 = 1,06$$

Penyelesaian untuk Zona 2 menggunakan persamaan (4) dan (5) diperoleh:

$$Z_{2min} = 1.2 \times (1.439 + j10.239)$$

$$Z_{2min} = 1.726 + j12.287 = 12,408 \angle 81,99^\circ \Omega$$

$$Z_{2maks} = 0.8 \times ((1.439 + j10.239) + (0.8 \times (8,257 + j6,222)))$$

$$Z_{2maks} = 0.8 \times ((1.439 + j10.239) + (6,605 + j4,977))$$

$$Z_{2maks} = (1.151 + j8.191) + (6,605 + j4,977)$$

$$Z_{2maks} = 7,756 + j13,168 = 15,282 \angle 59,5^\circ \Omega$$

Nilai jangkauan impedansi zona 2 pada jarak minimum adalah $12,408 \angle 81,99^\circ \Omega$ dan pada jarak maksimum adalah $15,282 \angle 59,5^\circ \Omega$ pada saluran transmisi 150 kV Cawang – Depok.

Nilai Impedansi Zona 2 primer dan sekunder menggunakan persamaan (6) dan (7) diperoleh :

$$Z_{2P} = 1.726 + j12.287 = 12,408 \angle 81,99^\circ \Omega \text{ (Primer)}$$

$$Z_{2S} = 1,06 \times (1.726 + j12.287)$$

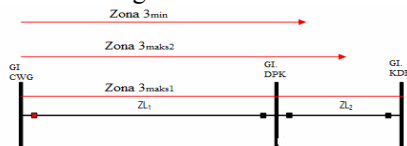
$$Z_{2S} = 1.830 + j13.024 = 13,152 \angle 81,99^\circ \Omega$$

(Sekunder)

Nilai jangkauan impedansi zona 2 pada sisi primer adalah $12,408 \angle 81,99^\circ \Omega$ dan pada sisi sekunder adalah $13,152 \angle 81,99^\circ \Omega$ pada saluran transmisi 150 kV Cawang – Depok.

• Zona 3

Jangkauan impedansi Zona 3 pada saluran transmisi 150 kV Cawang - Depok dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 4.4. Jangkauan Impedansi Zona 3 Transmisi 150 kV Cawang – Depok

Diketahui :

$$Z_{L1} = 1.439 + j10.239$$

$$Z_{L2} = 8,257 + j6,222$$

$$n_1 = 1,06$$

Penyelesaian untuk Zona 3 menggunakan persamaan (8) dan (9) , diperoleh :

$$Z_{3min} = 1.2 ((1.439 + j10.239) + (8,257 + j6,222))$$

$$Z_{3min} = (1.726 + j12.287) + (9,908 + j7,466)$$

$$Z_{3min} = 11,634 + j19,753 = 22,924 \angle 59,5^\circ \Omega$$

$$Z_{3maks} = 0.8 \times ((1.439 + j10.239) + 1,2 \cdot (8,257 + j6,222))$$

$$Z_{3maks} = 0.8 \times ((1.439 + j10.239) + (9,908 + j7,466))$$

$$Z_{3maks} = (1.151 + j8.191) + (7.926 + j5,972)$$

$$Z_{3maks} = 9,077 + j14,163 = 16,822 \angle 57,34^\circ \Omega$$

Nilai jangkauan impedansi zona 3 pada jarak minimum adalah $22,924 \angle 59,5^\circ \Omega$ dan pada jarak maksimum adalah $16,822 \angle 57,34^\circ \Omega$ pada saluran transmisi 150 kV Cawang – Depok.

Nilai Impedansi Zona 3 primer dan sekunder menggunakan persamaan (10) dan (11) diperoleh :

$$Z_{3p} = 11,634 + j19,753 = 22,924 \angle 59,5^\circ \Omega \text{ (Primer)}$$

$$Z_{3S} = 1,06 \times (11,634 + j19,753)$$

$$Z_{3S} = 12,332 + j20,938 = 24,299 \angle 59,5^\circ \Omega \text{ (Sekunder)}$$

Nilai jangkauan impedansi zona 3 pada sisi

primer adalah $22,924 \angle 59,5^\circ \Omega$ dan pada sisi sekunder adalah $24,299 \angle 59,5^\circ \Omega$ pada saluran transmisi 150 kV Cawang – Depok.

Berdasarkan perhitungan diatas, rekapitulasi jangkauan impedansi (dalam nilai absolut) saluran transmisi 150 kV Cawang - Depok dapat dilihat pada Tabel 4.8 dibawah ini :

Tabel 4.8. Rekapitulasi Jangkauan Impedansi Saluran Transmisi 150 kV Cawang – Depok

| Jangkauan Impedansi | Primer | | | | Sekunder | | | |
|---------------------|---------|-----------------|---------|---------|----------|-----------------|---------|---------|
| | Z (Ohm) | Sudut (Derajat) | R (Ohm) | X (Ohm) | Z (Ohm) | Sudut (Derajat) | R (Ohm) | X (Ohm) |
| Zona 1 | 8,272 | 81,99 | 1.151 | 8.191 | 8,768 | 81,99 | 1.22 | 8.682 |
| Zona 2 | 12,408 | 81,99 | 1.726 | 12.287 | 13,152 | 81,99 | 1.830 | 13.024 |
| Zona 3 | 22,924 | 59,5 | 11,634 | 19,753 | 24,299 | 59,5 | 12,332 | 20,938 |

4.3. Perhitungan Setting Rele Jarak Pada GI KD.Badak – GI Depok

Evaluasi kinerja rele jarak meliputi setting kerja dan waktu kerja. Dengan demikian, dalam menentukan setting rele jarak ini diperlukan suatu analisa sistem tenaga listrik. Untuk itu diperlukan data-data yang berhubungan dengan penentuan setting rele jarak dengan data-data yang ada dibawah ini :

1. Perhitungan Rasio CT dan PT

Data transformator arus dan transformator tegangan pada transmisi KD.Badak - Depok.

Diketahui :

$$\text{Rasio CT} = 1600 : 1$$

$$\text{Rasio PT} = 150000 : 100$$

Dengan menggunakan Persamaan (1), rasio CT dan PT diperoleh :

$$n_1 = \frac{1600/1}{150000/100}$$

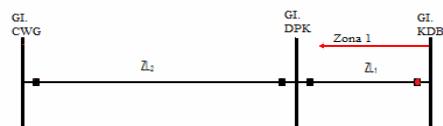
$$n_1 = 1,06$$

Jadi, hasil perhitungan ratio CT dan PT adalah 1,06

2. Jangkauan Impedansi

• Zona 1

Jangkauan impedansi Zona 1 pada saluran transmisi 150 kV KD.Badak - Depok dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 4.5. Jangkauan Impedansi Zona 1 Transmisi 150 kV KD.Badak – Depok

Diketahui :

$$Z_{L1} = 8,257 + j6,222$$

$$n_1 = 1,06$$

Penyelesaian untuk Zona 1 menggunakan persamaan (2) dan (3) diperoleh :

$$Z_{1p} = 0.8 \times (8,257 + j6,222)$$

$$Z_{1p} = 6,605 + j4,977 = 8,270 \angle 36,99^\circ \Omega \text{ (Primer)}$$

$$Z_{1S} = 1,06 \times (6,605 + j4,977)$$

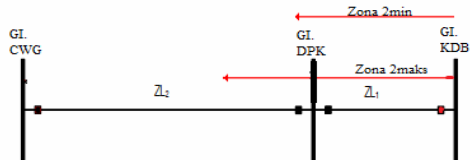
$$Z_{1S} = 7,001 + j5,275 = 8,765 \angle 36,99^\circ \Omega$$

(Sekunder)

Nilai jangkauan impedansi zona 1 pada sisi primer adalah 8,270 $\angle 36,99^\circ \Omega$ dan pada sisi sekunder adalah 8,765 $\angle 36,99^\circ \Omega$ pada saluran transmisi 150 kV KD-Badak – Depok.

• Zona 2

Jangkauan impedansi Zona 2 pada saluran transmisi 150 kV KD.Badak - Depok dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 4.6. Jangkauan Impedansi Zona 2 Transmisi 150 kV KD.Badak – Depok

Diketahui :

$$Z_{L1} = 8,257 + j6,222$$

$$Z_{L2} = 1,439 + j10,239$$

$$n_1 = 1,06$$

Penyelesaian untuk Zona 2 menggunakan persamaan (4) dan (5) diperoleh:

$$Z_{2min} = 1,2 \times (8,257 + j6,222)$$

$$Z_{2min} = 9,908 + j7,466 = 12,406 \angle 36,99^\circ \Omega$$

$$Z_{2maks} = 0,8 \times ((8,257 + j6,222) + (0,8 \times (1,439 + j10,239)))$$

$$Z_{2maks} = 0,8 \times ((8,257 + j6,222) + (1,151 + j8,191))$$

$$Z_{2maks} = (6,605 + j4,977) + (1,151 + j8,191)$$

$$Z_{2maks} = 7,756 + j13,168 = 15,282 \angle 59,5^\circ \Omega$$

Nilai jangkauan impedansi zona 2 pada jarak minimum adalah 12,406 $\angle 36,99^\circ \Omega$ dan pada jarak maksimum adalah 15,282 $\angle 59,5^\circ \Omega$ pada saluran transmisi 150 kV KD.Badak – Depok

Nilai Impedansi Zona 2 primer dan sekunder menggunakan persamaan (6) dan (7) diperoleh :

$$Z_{2P} = 9,908 + j7,466 = 12,406 \angle 36,99^\circ \Omega$$

(Primer)

$$Z_{2S} = 1,06 \times (9,908 + j7,466)$$

$$Z_{2S} = 10,502 + j7,913 = 13,149 \angle 36,99^\circ \Omega$$

(Sekunder)

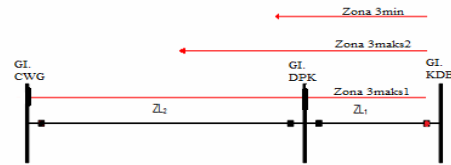
Nilai jangkauan impedansi zona 2 pada sisi primer adalah 12,406 $\angle 36,99^\circ \Omega$ dan pada sisi

sekunder adalah 13,149 $\angle 36,99^\circ \Omega$ pada saluran

transmisi 150 kV KD.Badak – Depok.

• Zona 3

Jangkauan impedansi Zona 3 pada saluran transmisi 150 kV KD.Badak - Depok dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 4.7. Jangkauan Impedansi Zona 3 Transmisi 150 kV KD.Badak – Depok

Diketahui :

$$Z_{L1} = 8,257 + j6,222$$

$$Z_{L2} = 1,439 + j10,239$$

$$n_1 = 1,06$$

Penyelesaian untuk Zona 3 menggunakan persamaan (8) dan (9), diperoleh :

$$Z_{3min} = 1,2 \times ((8,257 + j6,222) + (1,439 + j10,239))$$

$$Z_{3min} = (9,908 + j7,466) + (1,726 + j12,287)$$

$$Z_{3min} = 11,634 + j19,753 = 22,924 \angle 59,5^\circ \Omega$$

$$Z_{3maks} = 0,8 \times ((8,257 + j6,222) + 1,2 \times (1,439 + j10,239))$$

$$Z_{3maks} = 0,8 \times ((8,257 + j6,222) + (1,726 + j12,287))$$

$$Z_{3maks} = (6,605 + j4,977) + (1,380 + j9,829)$$

$$Z_{3maks} = 7,985 + j14,806 = 16,821 \angle 61,66^\circ \Omega$$

Nilai Impedansi Zona 3 primer dan sekunder menggunakan persamaan (10) dan (11) diperoleh :

$$Z_{3p} = 11,634 + j19,753 = 22,924 \angle 59,5^\circ \Omega$$

(Primer)

$$Z_{3S} = 1,06 \times (11,634 + j19,753)$$

$$Z_{3S} = 12,332 + j20,938 = 24,299 \angle 59,5^\circ \Omega$$

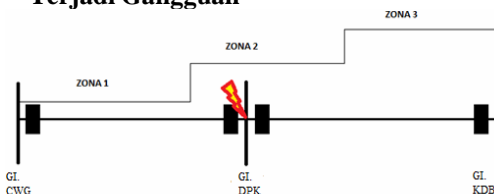
(Sekunder)

Berdasarkan perhitungan diatas, rekapitulasi jangkauan impedansi (dalam nilai absolut) saluran transmisi 150 kV KD.Badak - Depok dapat dilihat pada Tabel 4.9 dibawah ini :

Tabel 4.9. Rekapitulasi Jangkauan Impedansi Saluran Transmisi 150 kV KD.Badak - Depok

| Jangkauan Impedansi | Primer | | | | Sekunder | | | |
|---------------------|---------|-----------------|---------|---------|----------|-----------------|---------|---------|
| | Z (Ohm) | Sudut (Derajat) | R (Ohm) | X (Ohm) | Z (Ohm) | Sudut (Derajat) | R (Ohm) | X (Ohm) |
| Zona 1 | 8,270 | 36,99 | 6,605 | 4,977 | 8,765 | 36,99 | 7,001 | 5,275 |
| Zona 2 | 12,406 | 36,99 | 9,908 | 7,466 | 13,149 | 36,99 | 10,502 | 7,913 |
| Zona 3 | 22,924 | 59,5 | 11,634 | 19,753 | 24,299 | 59,5 | 12,332 | 20,938 |

4.4. Nilai Pengujian Sistem Transmisi Saat Terjadi Gangguan



Gambar 4.8. Saluran transmisi terdapat gangguan

Gambaran nilai gangguan dimisalkan sebesar 15 Ω pada sistem transmisi, di ilustrasikan pada gambar 4.8. Untuk menentukan besarnya gangguan yang terjadi maka digunakan rumus (12),(13),(14),dan (15) sehingga dapat diketahui besaran gangguannya:

- Pengujian gangguan satu fasa ketanah dengan mencari nilai arus gangguan dan tegangan gangguan dengan menggunakan persamaan (12) dan (15) diperoleh :

a. arus gangguan satu fasa ketanah menggunakan persamaan (12) diperoleh :

$$I_f = 3 \times \frac{188898}{0,0338 + [0,1097 + 0,0338] + [0,1097 + 4,894 + [21,167 + (3 \times 15)]]}$$

$$I_f = 4385,6 - J1897,04 = 4778,31 \angle -23,39^\circ \text{ A}$$

b. Tegangan gangguan menggunakan persamaan (15) diperoleh :

$$V_f = (4385,6 - J1897,04) \times (0,0338 + j0,1097)$$

$$V_f = 356,338 + J416,98 = 548,49 \angle 49,48^\circ \text{ V}$$

Jadi, hasil pengujian gangguan satu fasa ke tanah dengan nilai arus gangguan yaitu 4778,31 A dan nilai tegangan gangguan yaitu 548,49 V pada saluran Cawang – Depok.

- Pengujian gangguan dua fasa dengan mencari tegangan line to line, nilai arus gangguan dan tegangan gangguan dengan menggunakan persamaan (19) (13) dan (15) diperoleh :

a. Perhitungan tegangan line to line mempergunakan rumus (16),(17),(18), dan (19) diperoleh :

Trafo 60 MVA, 150 kV, menghitung nilai daya dengan menggunakan persamaan (16) diperoleh :

$$P = S \times \cos \theta$$

$$P = 60 \times 10^6 \times 0,85$$

$$= 51 \text{ MW}$$

Maka, arus yang mengalir pada saluran transmisi menggunakan persamaan (17) diperoleh :

$$I_s = \frac{P}{\sqrt{3} \times V_{LL} \times \cos \theta}$$

$$I_s = \frac{51 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 150 \times 10^3 \times \cos 0,85}$$

$$= 196,32 \text{ A}$$

Sehingga nilai tegangan pada saluran menggunakan persamaan (18) diperoleh :

$$V_s = \frac{51 \times 10^6}{\sqrt{3}} + 196,32(1,439 + j10,239)$$

$$= 86,8 \text{ kV}$$

Untuk nilai tegangan line to line menggunakan persamaan (19) diperoleh :

$$V_{LL} = 86,8 \times \sqrt{3} = 150,34 \text{ kV}$$

b. Arus gangguan dua fasa menggunakan persamaan (13) diperoleh

$$I_f = \frac{188898}{(0,0338 + [0,1097] + [0,0338 + [0,1097] + (3 \times 15)])}$$

$$I_f = 3335,79 - J16,239 = 3335,82 \angle -0,27^\circ \text{ A}$$

c. Tegangan gangguan menggunakan persamaan (15) diperoleh :

$$V_f = (3335,79 - J16,239) \times (0,0338 + j0,1097)$$

$$V_f = 114,53 + J365,38 = 382,9 \angle 72,59^\circ \text{ V}$$

Jadi, hasil pengujian gangguan 2 fasa dengan nilai arus gangguan yaitu 3335,82 A dan nilai tegangan gangguan yaitu 382,9 V pada saluran Cawang – Depok.

- Pengujian gangguan tiga fasa dengan mencari nilai arus gangguan dan tegangan gangguan dengan menggunakan persamaan (14) dan (15) diperoleh :

a. Arus gangguan tiga fasa menggunakan persamaan (14) diperoleh

$$I_f = \frac{188898}{0,0338 + [0,1097]}$$

$$I_f = 222149,97 - J721001,55$$

$$= 754449,31 \angle -72,87^\circ \text{ A}$$

b. Tegangan gangguan menggunakan persamaan (15) diperoleh :

$$V_f = (222149,97 - J721001,55) \times (0,0338 + j0,1097)$$

$$V_f = 86602,53 - J0,000681 = 86602 \angle 0^\circ \text{ V}$$

Jadi, hasil pengujian gangguan 3 fasa dengan nilai arus gangguan yaitu 754449,31 A dan nilai tegangan gangguan yaitu 86602 V pada saluran Cawang – Depok.

Hasil perhitungan gangguan diatas dengan memisalkan nilai gangguan sebesar 15 Ω. Perubahan nilai gangguan berpengaruh pada nilai arus gangguan dan nilai tegangan gangguan yang akan mengalami perubahan juga.

4.5. Menentukan Letak Gangguan

Penentuan jarak gangguan dengan nilai impedansi 0,1 Ω sampai 1 Ω pada saluran transmisi GI Cawang – Depok dengan menggunakan persamaan (16). Contoh perhitungan letak gangguan :

- Nilai jarak gangguan dari impedansi 0,1 Ω pada saluran Cawang – Depok dengan menggunakan persamaan (16) diperoleh:

$$\text{jarak gangguan} = \frac{188898}{0,1 \times \frac{188898}{230} \times 28,500}$$

$$\text{jarak gangguan} = \frac{188898}{148905 + j10,239872}$$

$$\text{jarak gangguan} = 0,036 - j0,257 = 0,25 \text{ km}$$

Jadi, hasil nilai jarak gangguan dari impedansi 0,1 Ω pada saluran Cawang – Depok adalah 0.25 km.

- Nilai jarak gangguan dari impedansi 0,25Ω pada

saluran Cawang–Depok dengan menggunakan persamaan (16) diperoleh:

$$\text{jarak gangguan} = \frac{0,25 \times \frac{18000}{100} \times 28,700}{1,439 + j10,239}$$

$$\text{jarak gangguan} = 0,090 - j0,644 = 0,65 \text{ km}$$

Jadi, hasil nilai jarak gangguan dari impedansi 0,25 Ω pada saluran Cawang – Depok adalah 0,65 km.

- Nilai jarak gangguan dari impedansi 0,5Ω pada saluran Cawang – Depok dengan menggunakan persamaan (16) diperoleh:

$$\text{jarak gangguan} = \frac{0,5 \times \frac{18000}{100} \times 28,700}{1,439 + j10,239}$$

$$\text{jarak gangguan} = 0,181 - j1,288 = 1,3 \text{ km}$$

Jadi, hasil nilai jarak gangguan dari impedansi 0,5 Ω pada saluran Cawang – Depok adalah 1,3 km.

- Nilai jarak gangguan dari impedansi 0,75Ω pada saluran Cawang–Depok dengan menggunakan persamaan (16) diperoleh:

$$\text{jarak gangguan} = \frac{0,75 \times \frac{18000}{100} \times 28,700}{1,439 + j10,239}$$

$$\text{jarak gangguan} = 0,271 - j1,932 = 1,95 \text{ km}$$

Jadi, hasil nilai jarak gangguan dari impedansi 0,75 Ω pada saluran Cawang – Depok adalah 1,95 km.

- Nilai jarak gangguan dari impedansi 1 Ω pada saluran Cawang – Depok dengan menggunakan persamaan (16) diperoleh:

$$\text{jarak gangguan} = \frac{1 \times \frac{18000}{100} \times 28,700}{1,439 + j10,239}$$

$$\text{jarak gangguan} = 0,362 - j2,576 = 2,6 \text{ km}$$

Jadi, hasil nilai jarak gangguan dari impedansi 1 Ω pada saluran Cawang – Depok adalah 2,6 km.

Tabel 4.10. Rekapitulasi letak gangguan dengan nilai impedansi 0,1 Ω sampai 1 Ω saluran transmisi GI Cawang – Depok

| Nilai Impedansi Gangguan | TRIP | Letak Gangguan | Time Delay |
|--------------------------|--------|----------------|------------|
| 0,1 Ω | Zone 1 | 0,25 km | 0 s |
| 0,25 Ω | Zone 1 | 0,65 km | 0 s |
| 0,5 Ω | Zone 1 | 1,3 km | 0 s |
| 0,75 Ω | Zone 1 | 1,95 km | 0 s |
| 1 Ω | Zone 1 | 2,6 km | 0 s |

Berdasarkan Tabel diatas, nilai letak gangguan berdasarkan impedansi gangguan 0,1 Ω sejauh 0,25 km dan impedansi gangguan 1 Ω sejauh 2,6. Sehingga perubahan nilai impedansi gangguan berpengaruh pada letak gangguan yang terjadi pada saluran transmisi.Semakin besar nilai impedansi

gangguan maka semakin jauh letak gangguan yang terjadi.

4.6. Analisis Hasil

1. Perbandingan Hasil Perhitungan Terhadap Setting Eksisting

Perbandingan nilai setting hasil perhitungan dan jangkauan impedansi menggunakan nilai reaktansi dan waktu delay rele jarak eksisting pada transmisi 150 kV Cawang - Depok dan KD.Badak – Depok ditunjukkan pada Tabel 11 dan 12 dibawah ini.

Tabel 4.11. Perbandingan Nilai Setting Rele Jarak Pada Transmisi 150 kV Cawang - Depok

| Jangkauan Impedansi | Eksisting | | Perhitungan | | Effisiensi (%) |
|---------------------|--------------|-----------|--------------|-----------|----------------|
| | Impedansi(Ω) | Waktu (S) | Impedansi(Ω) | Waktu (S) | |
| Zona 1 | 6,958 Ω | 0 | 8,768 Ω | 0 | 20,6 % |
| Zona 2 | 10,436 Ω | 0,8 | 13,152 Ω | 0,8 | 20,6 % |
| Zona 3 | 12,473 Ω | 1,6 | 24,299 Ω | 1,6 | 48,6 % |

Tabel 4.12. Perbandingan Nilai Setting Rele Jarak Pada Transmisi 150 kV KD.Badak - Depok

| Jangkauan Impedansi | Eksisting | | Perhitungan | | Effisiensi (%) |
|---------------------|--------------|-----------|--------------|-----------|----------------|
| | Impedansi(Ω) | Waktu (S) | Impedansi(Ω) | Waktu (S) | |
| Zona 1 | 5,17 Ω | 0 | 8,765 Ω | 0 | 41 % |
| Zona 2 | 9,31 Ω | 0,4 | 13,149 Ω | 0,8 | 29,2 % |
| Zona 3 | 15,99 Ω | 1,6 | 24,299 Ω | 1,6 | 34,2 % |

Berdasarkan Tabel 4.11 dan 4.12, nilai perhitungan jangkauan impedansi saluran transmisi GI Cawang – GI Depok pada Zona 1 sebesar 8,768 Ω, Zona 2 sebesar 13,152 Ω, Zona 3 sebesar 24,299 Ω dan nilai perhitungan jangkauan impedansi saluran transmisi GI KD.Badak – GI Depok pada Zona 1 sebesar 8,765 Ω, Zona 2 sebesar 13,149 Ω, Zona 3 sebesar 24,299 Ω Sehingga nilai setting jangkauan impedansi rele jarak pada kondisi eksisting untuk daerah pengamanan Cawang - Depok pada Zona 1 memiliki perbedaan 20,6%, Zona 2 memiliki perbedaan 20,6%, Zona 3 memiliki perbedaan 48,6% dan untuk daerah pengamanan KD.Badak - Depok Zona 1 memiliki perbedaan 41%, Zona 2 perbedaan 29,2%, Zona 3 perbedaan 34,2% dari hasil perhitungan artinya pada kondisi eksisting rele jarak untuk GI Cawang – GI Depok dan GI KD.Badak – GI Depok masih dapat bekerja dengan baik.tetapi memiliki perbedaan waktu delay pada saluran transmisi GI KD.Badak – GI Depok terjadi pada Zona 2.

5. Simpulan

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis data maka dapat di ambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Nilai setting impedansi relai jarak untuk saluran transmisi GI Cawang- Depok Pada Zona 1 = 8,768 Ω, Zona 2 = 13,152 Ω , Zona 3 = 24,299

- Ω . dan Nilai setting impedansi relai jarak untuk saluran transmisi GI KD.Badak - Depok Pada Zona 1 = 8,765 Ω , Zona 2 = 13,149 Ω , zona 3 = 24,299 Ω .
2. Dari hasil analisa setting rele jarak pada kondisi eksisting masih dapat bekerja dengan baik pada saluran transmisi GI Cawang- GI Depok dan GI KD.Badak – GI Depok.
 3. Hasil analisa penentuan jarak gangguan untuk perhitungan dengan nilai impedansi 0,1 Ω sampai 1 Ω pada saluran transmisi GI Cawang - Depok. Bila nilai impedansi gangguan 0,1 Ω = 0,25 km, 0,25 Ω = 0,65 km, 0,5 = 1,3 km, 0,75 = 1,95 km, dan 1 Ω = 2,6 km.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lotfifard, Saeed, dkk. (2010). Detection of Symmetrical Faults by Distance Relays During Power Swings. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 25, No. 1, 2010.
- [2] Nafis Choirul Umam (2019), Analisis Rele Jarak Sebagai Proteksi Pada Saluran Transmisi 150 Kv Di Gardu Induk Sragen – Gardu Induk Masaran, Teknik Elektro. Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta.
- [3] IEEE Std C37.113-1999 : IEEE Guide for Protective Relay Applications to Transmission Lines. 1999 ; IEEE-SA Standards Board
- [4] PT.PLN (Persero).2014. Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga. PDM/PGI /01.
- [5] PT.PLN (Persero).2014. Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator arus. PDM/PGI /02.
- [6] Angga Priyono Kusuma. (2016). Evaluasi Setting Rele Jarak Transmisi 150 Kv Senggiring – Singkawang. Teknik Elektro. Universitas Tanjungpura.
- [7] RHAMANDITA SUDRAJAT, SITI SAODAH, WALUYO.(2014).Analisis Penalaan Rele Jarak sebagai Proteksi Utama pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV Bandung Selatan – Cigereleng. Teknik Elektro | Itenas | Vol.2 | No.1.Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional,Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Bandung.
- [8] Hutaauruk, T.S. Prof.Ir. (1985). Transmisi Daya Listrik. Bandung : Erlangga.
- [9] Amira, Asnal Effendi. OCR (Aplikasi Gi Pip – Pauh Studi Analisa Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Ke Tanah Pada Sutt 150 Kv Untuk Setting Relay Limo). Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Padang.
- [10] <https://sinta.unud.ac.id/>, Tinjauan Mutakhir Penelitian Setting Rele Jarak, https://sinta.unud.ac.id/uploads/dokumen_dir/ff19d98649cd29e68dd1381e8a730cb8.pdf.Diakses 9 Agustus 2020