

STUDI KOORDINASI RELE ARUS LEBIH DAN SEKRING PEMUTUS UNTUK MENGAMANKAN SISTEM AKIBAT GANGGUAN HUBUNG SINGKAT

Bagus Budi Kusuma

Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura
Email : bagus.budikusuma@gmail.com

ABSTRACT

Short circuit fault in Radak Feeders and Sui Deras Feeders is a serious problem for the GI Sungai Raya if not handled properly. For that, short circuit fault that occurs in feeders, must be overcome so that the time does not exceed the limits of the power transformer capabilities, and also disrupt the continuation of power flow in the area that is not disturbed, that is by regulating coordination on protection equipment. In this study, the protection equipment used is overcurrent relay and fuse cut out. The calculation of short circuit fault current in this study is by using the impedance method. In order to be able to analyze the coordination of overcurrent relay and fuses cut out that are along the Radak Feeder and Sui Deras Feeder, with feed lengths of 51.1 Kms and 102.18 Kms respectively, the calculation of short circuit fault current is divided into five point fault based on percentage length of feeder, which is 0%, 25%, 50%, 75%, and 100%. There are 4 types of calculated short circuit fault, that is three phase short circuit fault, two phase short circuit fault, two phase short circuit to ground fault, and single phase short circuit to ground fault. Of the four types of short-circuit fault, the three-phase short circuit is the largest, which is 2193.6423 A at 0% network length, while the smallest fault is a two-phase short circuit to the ground that is 78,1155 A at 100% network length Sui Deras Feeder in the direction of Pinang. After getting a short circuit fault at the five points of fault, then proceed with calculating the relay settings to find for pick-up and working time using relay with standard inverse (SI) characteristics. The results of these calculations are made into a current curve versus time. From this curve, the coordination of each protection equipment can be seen. After that, the coordination curve is based on calculations compared to the coordination curve based on the existing. It turned out that there were still coordination errors in the existing, namely at a distance of 0% of the Radak Feeder and Sui Deras Feeder, the FCO melting time was longer than the CB trip in front of it, that is CB Radak for Radak Feeders, and CB Sui Deras for Sui Deras Feeders. So too for fault at the end of the Sui Deras Feeder network that was not detected by the recloser and CB in front of it. Then it needs to be reset on CB Radak and CB Sui Deras so there is no coordination error that occurs at 0% network length.

Keywords: *Short circuit fault, Overcurrent relay, Fuse cut out, Protection coordination*

ABSTRAK

Gangguan hubung singkat di Penyulang Radak dan Penyulang Sui Deras merupakan permasalahan serius bagi GI Sungai Raya apabila tidak ditangani dengan benar. Untuk itu, gangguan hubung singkat yang terjadi pada penyulang, harus diatasi agar waktunya tidak melebihi batas kemampuan trafo tenaga, dan juga mengganggu belangsungnya aliran daya pada daerah yang tidak terganggu, yaitu dengan mengatur koordinasi pada peralatan proteksi. Didalam penelitian ini, peralatan proteksi yang digunakan yaitu rele arus lebih dan sekring pemutus. Perhitungan arus gangguan hubung singkat pada penelitian ini adalah dengan menggunakan metode impedansi. Agar dapat menganalisa koordinasi rele arus lebih dan sekring pemutus yang berada di sepanjang Penyulang Radak dan Penyulang Sui Deras, dengan panjang penyulang masing-masing 51,1 Kms dan 102,18 Kms, maka perhitungan arus gangguan hubung singkat dibagi menjadi lima titik gangguan berdasarkan persentase panjang penyulang, yaitu 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Ada 4 jenis gangguan hubung singkat yang dihitung, yaitu gangguan hubung singkat tiga fasa, gangguan hubung singkat dua fasa, gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah, dan gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah. Dari keempat jenis gangguan hubung singkat tersebut, gangguan hubung singkat tiga fasa lah yang paling besar yaitu 2193,6423 A pada 0% panjang jaringan, kemudian gangguan hubung yang terkecil adalah gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah yaitu 78,1155 A pada 100% panjang saluran Penyulang Sui Deras arah Pinang. Setelah mendapatkan arus gangguan hubung singkat pada kelima titik gangguan, maka dilanjutkan dengan menghitung setting rele untuk mencari pick-up dan waktu kerjanya menggunakan rele dengan karakteristik standar invers (SI). Hasil dari perhitungan tersebut dibuat menjadi sebuah kurva arus berbanding waktu. Dari kurva tersebut, maka dapat dilihat koordinasi dari masing-masing peralatan proteksi. Setelah itu, kurva koordinasi berdasarkan perhitungan dibandingkan dengan kurva koordinasi berdasarkan di lapangan. Ternyata masih terdapat kesalahan koordinasi di lapangan, yaitu pada jarak 0% Penyulang Radak dan Penyulang Sui Deras, waktu peleburan FCO lebih lama dibandingkan dengan trip CB cadangan di depannya, yaitu CB Radak untuk Penyulang Radak, dan CB Sui Deras untuk Penyulang Sui Deras. Begitu pula untuk gangguan pada ujung jaringan Penyulang Sui Deras yang tidak terdeteksi oleh *recloser* dan CB di depannya. Maka perlu settingan ulang pada CB Radak dan CB Sui Deras agar tidak terjadi kesalahan koordinasi yang terjadi pada 0% panjang saluran.

Kata kunci : *Gangguan hubung singkat, Rele arus lebih, Sekring pemutus, Koordinasi proteksi*

1. Pendahuluan

Pelayanan penyaluran daya listrik yang andal merupakan tuntutan yang di harapkan oleh konsumen kepada PT PLN. Oleh karena itu mutu, dan kontinuitas penyaluran daya listrik harus dapat terealisasi seoptimal mungkin agar dapat memenuhi kebutuhan daya konsumen. Seiring dengan berlangsungnya penyaluran daya, terkadang timbul gangguan yang menyebabkan terhentinya penyaluran daya listrik kepada konsumen. Gangguan dapat terjadi akan banyak hal dan juga bermacam-macam jenisnya, salah satunya adalah gangguan hubung singkat pada penyulang distribusi. Untuk mengatasi permasalahan gangguan hubung singkat, PT PLN Area Pontianak menggunakan peralatan pengaman arus lebih yaitu pemutus tenaga / *circuit breaker* (CB) yang dikendalikan oleh rele arus lebih / *overcurrent relay* (OCR) dan sekring pemutus / *fuse cut out* (FCO) yang dapat mengamankan sistem di sisi jaringan tegangan menengah pada penyulang untuk memotong arus gangguan dan mengamankan tempat yang tidak terganggu. Dalam kasus gangguan hubung singkat, peralatan proteksi harus dapat berkoordinasi dengan baik. Untuk dapat mengatur peralatan proteksi harus dilakukan perhitungan-perhitungan yang pas serta harus dapat menentukan dimana peralatan proteksi tersebut dipasang dan menyesuaikan karakteristik peralatan proteksi terhadap apa yang dibutuhkan.

2. Teori Dasar

2.1. Gangguan Hubung Singkat

Hubung singkat/*short circuit* merupakan salah satu jenis gangguan yang bisa terjadi di sistem tenaga listrik. Menurut IEC 60909, gangguan hubung singkat didefinisikan sebagai hubungan koduksi sengaja atau tidak sengaja melalui hambatan atau impedansi yang cukup rendah antara dua atau lebih titik yang dalam keadaan normalnya mempunyai beda potensial (bertegangan). Gangguan hubung singkat terdiri dari gangguan temporer atau permanen, rata-rata jumlah gangguan temporer lebih tinggi dibandingkan gangguan permanen. Kebanyakan gangguan temporer diamankan dengan *circuit breaker* (CB) atau pengaman lain. Gangguan permanen adalah gangguan yang menyebabkan kerusakan permanen pada sistem. Pada saluran bawah tanah hampir semua gangguan adalah gangguan permanen. Kebanyakan gangguan peralatan akan menyebabkan hubung singkat. Gangguan permanen hampir semuanya menyebabkan pemutusan/gangguan pada konsumen.

2.2. Perhitungan Impedansi Total

Perhitungan impedansi bertujuan untuk mencari impedansi total, yaitu terdapat beberapa data impedansi yang harus di jumlahkan seperti impedansi sumber, impedansi transformator, resistansi pentanahan transformator, dan impedansi saluran dimana nantinya impedansi total diperlukan dalam perhitungan arus hubung singkat. Berikut adalah langkah-langkah perhitungan impedansi total :

a. Menghitung impedansi sumber

Impedansi sumber didapatkan dari total impedansi keseluruhan sistem pembangkit yang terinterkoneksi menuju penyulang yang akan dihitung.

b. Impedansi transformator urutan positif Impedansi transformator urutan positif

$$Z_{t1} = j Z_t \% \frac{V_d^2}{S_t} [\Omega]$$

Impedansi transformator urutan nol

$$Z_{t0} (Y-Y) = 10 \times Z_{t1} [\Omega]$$

$$Z_{t \text{ p.u.}} = j \frac{Z_t}{Z_{\text{dasar}}} [\text{pu}]$$

Dimana :

Z_t = impedansi transformator tenaga [Ω]

$Z_t \%$ = persentase impedansi transformator tenaga [%]

V_d = tegangan dasar [kV]

S_t = kapasitas transformator tenaga [MVA]

c. Menghitung impedansi saluran

Impedansi saluran urutan positif dan negatif

$$Z_{1\text{saluran}} = Z_{2\text{saluran}}$$

$$Z_{1\text{saluran p.u.}} = \frac{Z_{1\text{saluran}}}{Z_d} [\text{pu}]$$

Impedansi saluran urutan nol

$$Z_{0\text{saluran p.u.}} = \frac{Z_{0\text{saluran}}}{Z_d} [\text{pu}]$$

Dimana :

Z_1 = impedansi urutan positif [Ω]

Z_2 = impedansi urutan negatif [Ω]

Z_0 = impedansi urutan nol [Ω]

d. Menghitung impedansi total

Impedansi urutan positif dan negatif

$$Z_1 = Z_2$$

$$Z_1 = Z_{1\text{sumber}} [\text{pu}] + Z_{t1} [\text{pu}] + Z_{1\text{saluran}} [\text{pu}]$$

Impedansi urutan nol

$$Z_0 = Z_{0\text{sumber}} + Z_{t0} [\text{pu}] + 3R_n [\text{pu}] + Z_{0\text{saluran}} [\text{pu}]$$

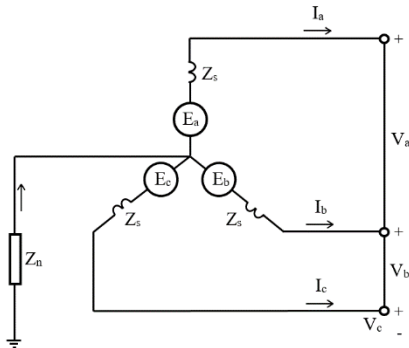
Dimana :

R_n = Resistansi pentanahan titik netral generator [Ω]

2.3. Perhitungan Arus Hubung Singkat

Apabila terjadi hubung singkat pada suatu sistem tenaga, maka besar arus gangguan hubung singkat itu tergantung pada lokasi gangguan dan jenis gangguan. Berikut adalah perhitungan arus hubung singkat tiga fasa, hubung singkat dua fasa ke tanah, dan hubung singkat satu fasa ke tanah :

a. Hubung Singkat Tiga Fasa

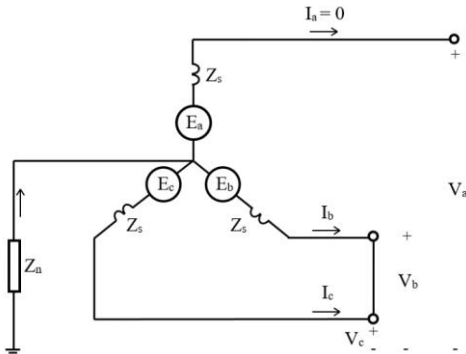


Gambar 1. Hubung Singkat Tiga Fasa
Sumber : Hadi Saadat

besar arus hubung singkat tiga fasa adalah :

$$I_f = I_{a1} = \frac{E_a}{Z_1} \text{ [pu]}$$

b. Hubung Singkat Dua Fasa

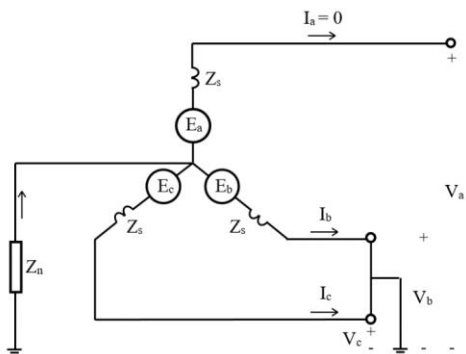


Gambar 2. Hubung Singkat Dua Fasa
Sumber : Hadi Saadat

besar arus hubung singkat dua fasa adalah :

$$I_f = I_{a1} = -I_{a2} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2} \text{ [pu]}$$

c. Hubung Singkat Dua Fasa Ke Tanah

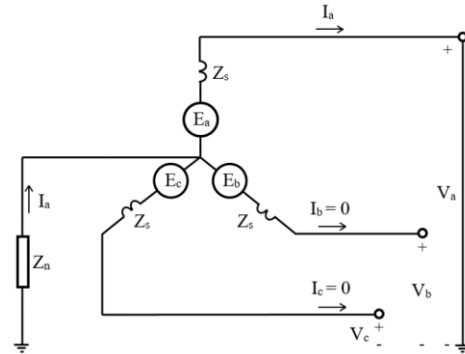


Gambar 3. Hubung Singkat Dua Fasa Ke Tanah
Sumber : Hadi Saadat

besar arus hubung singkat dua fasa ke tanah adalah :

$$I_f = I_{a1} = \frac{E_a}{Z_1 + \frac{(Z_2 \cdot Z_0)}{(Z_2 + Z_0)}} \text{ [pu]}$$

d. Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah



Gambar 4. Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah
Sumber : Hadi Saadat

besar arus hubung singkat satu fasa ke tanah adalah :

$$I_f = 3I_{a1} = \frac{3E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \text{ [pu]}$$

maka, arus hubung singkat sebenarnya adalah :

$$I_{\text{sebenarnya}} = I_f \times I_d \text{ [A]}$$

Dimana :

E_a = tegangan yang dibangkitkan generator [pu]

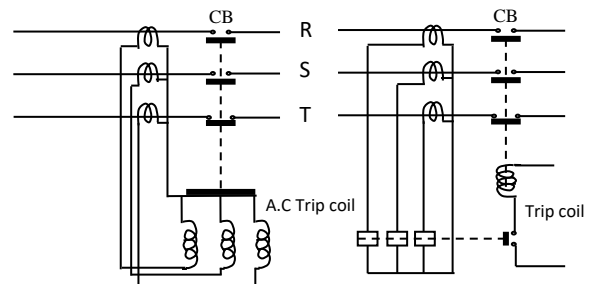
Z_1 = impedansi urutan positif [pu]

Z_2 = impedansi urutan negatif [pu]

I_f = arus gangguan [pu]

2.4. Rele Arus Lebih

Rele arus lebih merupakan rele termurah dan paling sederhana. Untuk maksud koordinasi waktu kerja dalam sistem, kadang-kadang memang sulit, sebab jika terjadi perubahan dalam sistem (jaringan), maka perlu dilakukan pengaturan/evaluasi rele dan kadang-kadang bisa terjadi tempatnya harus dipindah. Rele arus lebih ini cocok untuk pengamanan/alat proteksi sistem distribusi dan pusat pelayanan konsumen. Juga bisa dipakai pada beberapa jaringan subtransmisi bilamana biaya untuk pemakaian rele jarak kurang ekonomis. Gambar 5 adalah diagram rele arus lebih :



Gambar 5. Tipe Rele Arus Lebih
Sumber : Deshpande

Rele arus lebih bisa memiliki salah satu dari karakteristik waktu vs arus berikut ini yang cocok untuk penggunaan khusus dalam sistem :

- Karakteristik waktu vs arus sesaat
- Karakteristik waktu vs arus tertentu
- Karakteristik waktu vs arus balik

2.5. Setting Rele

Berikut adalah perhitungan Setting Rele Arus Lebih :

a. Pick-Up Setting Rele

PU setting, atau *plug setting* digunakan untuk menentukan arus PU dari rele, dan arus gangguan yang dilihat oleh rele dinyatakan sebagai kelipatan dari ini. Nilai ini biasanya disebut sebagai *plug setting multiplier* (PSM).

$$PSM = \frac{OLF \times I_{nom}}{CTR}$$

$$PSM = \frac{1,25 \times I_{nom}}{CTR}$$

b. Setting Waktu Kerja Rele

Berikut adalah setting waktu kerja rele yang telah ditentukan dengan formulasi matematika berdasarkan standar yang didefinisikan oleh IEC:

$$t = \frac{k\beta}{(I_f/I_s)^\alpha - 1} + L$$

Konstanta α dan β menentukan kemiringan karakteristik rele. Maka dapat ditulis :

1. Standard invers (SI)

$$t = \frac{0,14}{I^{0,02} - 1} \text{ tms}$$

2. Very invers (VI)

$$t = \frac{13,5}{I - 1} \text{ tms}$$

3. Extremely invers

$$t = \frac{80}{I^2 - 1} \text{ tms}$$

4. Long time invers

$$t = \frac{120}{I - 1} \text{ tms}$$

Dimana :

OLF = faktor overload yang akan diproteksi

I_{nom} = arus nominal

CTR = rasio transformator arus

t = waktu kerja rele

k = faktor pengali

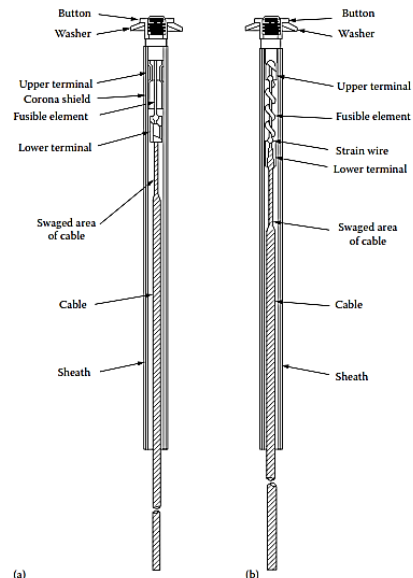
I_f = arus gangguan

I_s = penyetelan arus

L = konstanta

2.6. Sekring Pemutus (*Fuse Cut Out*)

Sekring pemutus adalah peralatan arus lebih dengan meleburnya bagian yang dapat membuka rangkaian yaitu (*Fuse Link*) yang dipanaskan dan dileburkan secara langsung oleh berlalunya arus lebih pada saat terjadi kondisi beban lebih atau hubungan singkat. Oleh karena itu, tujuan sekring adalah untuk menghilangkan gangguan permanen dengan memutuskan bagian yang terganggu dari saluran atau peralatan dari sistem. Sekring dirancang untuk melebur dalam waktu yang ditentukan untuk nilai arus gangguan yang diberikan. Karakteristik waktu-arus (TCC) dari sekring terdiri dari dua kurva yaitu kurva lebur minimum dan kurva *total-clearing*.



Gambar 6. (a) *Fuse Link* Di Bawah 10 A dan (b) *Fuse Link* 10 – 100 A

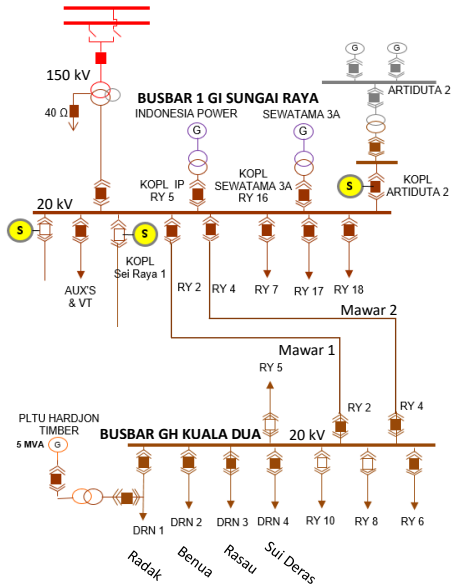
Sumber : *Gonen Turan*

2.7. Koordinasi Peralatan Proteksi

Proses memilih peralatan proteksi arus lebih dengan pengaturan waktu arus tertentu, dan pengaturannya yang sesuai secara seri di sepanjang penyulang distribusi, untuk menghilangkan gangguan dari saluran dan peralatan sesuai dengan urutan operasi yang telah ditetapkan dikenal sebagai koordinasi. Ketika dua peralatan proteksi yang dipasang secara seri memiliki karakteristik yang memberikan urutan operasi yang ditentukan, maka keduanya dikatakan terkoordinasi atau selektif. Di sini, peralatan yang diatur untuk beroperasi terlebih dahulu untuk mengisolasi gangguan (atau memadamkan arus gangguan) didefinisikan sebagai peralatan proteksi. Peralatan yang memproteksi cadangan tetapi hanya beroperasi jika peralatan proteksi utamanya gagal beroperasi untuk menghilangkan gangguan didefinisikan sebagai peralatan yang dilindungi.

3. Kondisi Penyulang Radak Dan Penyulang Sui Deras

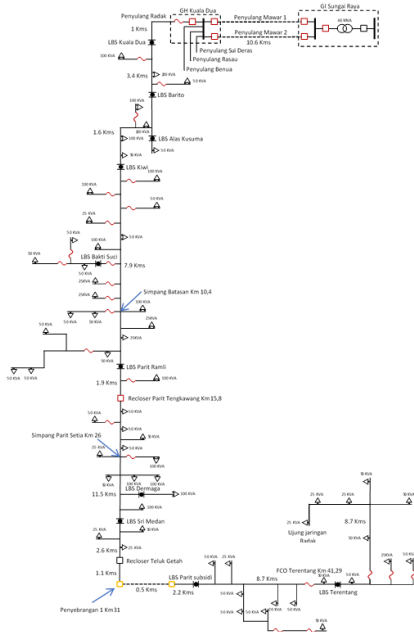
3.1. GI Sungai Raya Dan GH Kuala Dua



Gambar 7. GI Sungai Raya Dan GH Kuala Dua
Sumber : Data Aset PLN Area Pontianak 2016

Gambar 7 merupakan hubungan GI Sungai Raya dan GH Kuala Dua yang merupakan sumber dari Penyulang Radak dan Penyulang Sui Deras. Terdapat tiga pembangkit yang melayani busbar 1 GI Suingai Raya, yaitu Pembangkit Artiduta 2, Pembangkit Sewatama 3A, dan Pembangkit Indonesia Power. Kedua busbar tersebut terhubung melalui Penyulang Mawar 1 dan Penyulang Mawar 2, dengan penampang berlapis XLPE berukuran 150 mm², sepanjang 10,6 Kms.

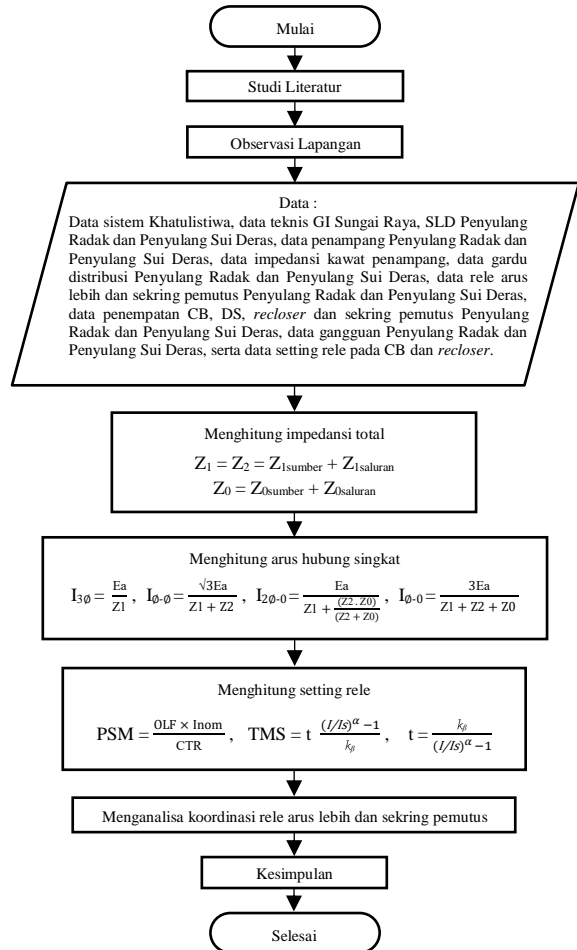
3.2. Penyulang Radak



Gambar 8. SLD Penyulang Radak GI - Radak
Sumber : Data Aset Gardu Distribusi PLN Rayon Rasau Jaya 2018

Gambar 8 merupakan SLD Penyulang Radak.

3.3. Diagram Alir Penelitian



4. KOORDINASI RELE ARUS LEBIH DAN SEKRING PEMUTUS UNTUK MENGAMANKAN SISTEM AKIBAT GANGGUAN HUBUNG SINGKAT

4.1. Menentukan Besaran Dasar Dan Per Unit

Sebelum memulai langkah perhitungan, maka semua besaran dalam perhitungan harus di ubah dalam bentuk besaran dasar.

- Tegangan dasar ditentukan 20 kV
- Daya dasar ditentukan 60 MVA
- Mencari impedansi dasar

$$Z_d = \frac{V_d}{I_d} = \frac{V_d}{S_d / V_d} = \frac{V_d^2}{S_d} = \frac{(20)^2}{60} = 6,6667 \Omega$$

- Mencari arus dasar

$$I_d = \frac{S_d}{\sqrt{3} \cdot V_d} = \frac{60000}{\sqrt{3} \cdot 20} = 1732,0508 \text{ A}$$

- e. Mencari tegangan yang dibangkitkan generator per unit

$$V_f \text{ p.u.} = \frac{V_s}{V_d} = \frac{20}{20}$$

$$= 1 \text{ p.u.}$$

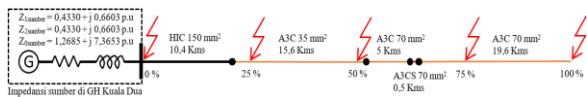
4.2. Mencari Impedansi Sumber

Impedansi sumber didapatkan dari perhitungan impedansi ekuivalen sistem pembangkit yang melayani penyulang. Lalu impedansi ekuivalen sistem (sumber) di bus GH Kuala Dua sebesar :

Impedansi di Bus 41 GH Kuala Dua (Bus41)
 Impedansi urutan Positif di Bus 41 $Z_{bus1} = 0.4330 + j 0.6603 \text{ p.u.}$
 Impedansi urutan Negatif di Bus 41 $Z_{bus2} = 0.4330 + j 0.6603 \text{ p.u.}$
 Impedansi urutan Nol di Bus 41 $Z_{bus0} = 1.2685 + j 7.3653 \text{ p.u.}$

4.3. Menghitung Impedansi Saluran Penyulang Radak

Untuk menghitung impedansi saluran, maka penyulang dibagi menjadi beberapa persen panjang yaitu 0 %, 25 %, 50 %, 75 %, dan 100 %, pada total panjang penyulang 51,1 Kms. Sehingga dapat diilustrasikan pada gambar 9.



Gambar 9. Ilustrasi Perhitungan Impedansi Saluran Penyulang Radak

Berikut adalah Perhitungan impedansi saluran urutan Penyulang Radak :

Pada jarak 100 % (51,1 Kms)
 HIC 150 mm² = 10,4 Kms
 A3C 35 mm² = 15,6 Kms
 A3C 35 mm² = 5 Kms
 A3CS 70 mm² = 0,5 Kms
 A3C 70 mm² = 19,6 Kms

- a. Impedansial saluran urutan positif dan negatif

$$100 \% = 10,4 (0,2162 + j 0,3305)$$

$$+ 15,6 (0,9217 + j 0,3790)$$

$$+ 5 (0,6452 + j 0,3678)$$

$$+ 0,5 (0,4608 + j 0,3572)$$

$$+ 19,6 (0,4608 + j 0,3572)$$

$$= 28,1151 + j 18,3683 \Omega$$

Sehingga impedansi saluran urutan positif dalam p.u adalah :

$$100 \% = \frac{28,1151 + j 18,3683}{6,6667}$$

$$= 4,2172 + j 2,7552 \text{ p.u.}$$

- b. Impedansial saluran urutan nol

$$100 \% = 10,4 (0,3631 + j 1,6180)$$

$$+ 15,6 (1,0697 + j 1,6665)$$

$$+ 5 (0,7932 + j 1,6553)$$

$$+ 0,5 (0,6088 + j 1,6447)$$

$$+ 19,6 (0,6088 + j 1,6447)$$

$$= 36,6664 + j 84,1595 \Omega$$

Sehingga impedansi saluran urutan nol dalam p.u adalah :

$$100 \% = \frac{36,6664 + j 84,1595}{6,6667}$$

$$= 5,4999 + j 12,6239 \text{ p.u.}$$

4.4. Menghitung Impedansi Total Penyulang Radak

Berikut adalah perhitungan impedansi total urutan pada Penyulang Radak :

- a. Impedansi total urutan positif dan negatif

$$Z_1 = Z_2 = Z_{1\text{sumber}} [\text{pu}] + Z_{1\text{saluran}} [\text{pu}]$$

$$100 \% = 0,4330 + j 0,6603$$

$$+ 4,2172 + j 2,7552$$

$$= 4,6502 + j 3,4155 \text{ p.u.}$$

- b. Impedansi total urutan nol

$$Z_0 = Z_{0\text{sumber}} [\text{pu}] + Z_{0\text{saluran}} [\text{pu}]$$

$$100 \% = 1,2685 + j 7,3653$$

$$+ 5,4999 + j 12,6239$$

$$= 6,7684 + j 19,9892 \text{ p.u.}$$

4.5. Menghitung Arus Hubung Singkat

- a. Hubung Singkat Tiga Fasa

Berikut adalah perhitungan arus hubung singkat tiga fasa :

$$100 \% = \frac{1 + j0}{4,6502 + j 3,4155}$$

$$= 0,1733 \angle -36,2967^\circ \text{ p.u.}$$

Maka, arus hubung singkat tiga fasa sebenarnya adalah :

$$I_{\text{Sebenarnya}} = I_f \times I_d [\text{A}]$$

$$100 \% = 0,1733 \angle -36,2967^\circ \times 1732,0508$$

$$= 300,1644 \angle -36,2967^\circ \text{ A}$$

- b. Hubung Singkat Dua Fasa

Berikut adalah perhitungan arus hubung singkat dua fasa :

$$100 \% = \frac{\sqrt{3} + j0}{2 (4,6502 + j 3,4155)}$$

$$= 0,1501 \angle -36,2967^\circ \text{ p.u.}$$

Maka, arus hubung singkat dua fasa sebenarnya adalah :

$$I_{\text{Sebenarnya}} = I_f \times I_d [A]$$

$$100 \% = 0,1501 \angle -36,2967^\circ \times 1732,0508 \\ = 259,9808 \angle -36,2967^\circ A$$

c. Hubung Singkat Dua Fasa Ke Tanah

$$100 \% = \frac{1 + j0}{4,6502 + j 3,4155 + \frac{(4,6502 + j 3,4155) \cdot (6,7684 + j 19,9892)}{(4,6502 + j 3,4155) + (6,7684 + j 19,9892)}} \\ = 0,0959 \angle -39,5640^\circ \text{ p.u}$$

Maka, arus hubung singkat dua fasa ke tanah sebenarnya adalah :

$$I_{\text{Sebenarnya}} = I_f \times I_d [A]$$

$$100 \% = 0,0959 \angle -39,5640^\circ \times 1732,0508 \\ = 166,1037 \angle -39,5640^\circ A$$

d. Hubung singkat satu fasa ke tanah

Berikut adalah perhitungan arus hubung singkat satu fasa ke tanah :

$$100 \% = \frac{3 + j0}{2 (4,6502 + j 3,4155) + 6,7684 + j 19,9892} \\ = 0,0959 \angle -59,0729^\circ \text{ p.u}$$

Maka, arus hubung singkat satu fasa ke tanah sebenarnya adalah :

$$I_{\text{Sebenarnya}} = I_f \times I_d [A]$$

$$100 \% = 0,0959 \angle -59,0729^\circ \times 1732,0508 \\ = 166,1037 \angle -59,0729^\circ A$$

4.6. Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat

Berikut adalah hasil perhitungan arus hubung singkat pada Penyulang Radak dan Penyulang Sui Deras, pada tabel 1 dan 2 :

Tabel 1. Arus Hubung Singkat Penyulang Radak

% Penyulang		Tiga fasa	Dua Fasa	Dua fasa ke tanah	Satu fasa ke tanah
0 %	0 Km	2193,6423 A	1899,7133 A	1071,6198 A	580,9298 A
25 %	12,77 Km	1013,0765 A	877,2837 A	540,9195 A	375,5086 A
50 %	25,55 Km	492,7684 A	426,7773 A	269,6803 A	255,1311 A
75 %	38,32 Km	372,2177 A	322,3346 A	205,2480 A	200,7447 A
100 %	51,1 Km	300,1644 A	259,9808 A	166,1037 A	166,1037 A

Tabel 2. Arus Hubung Singkat Penyulang Sui Deras

% Penyulang		Tiga fasa	Dua Fasa	Dua fasa ke tanah	Satu fasa ke tanah
0 %	0 Km	2193,6423 A	1899,7133 A	1071,6198 A	580,9298 A
25 %	25,73 Km	748,5923 A	648,3066 A	401,4894 A	284,9223 A
50 %	51,45 Km	320,0830 A	277,1281 A	176,3228 A	170,4338 A
75 %	77,18 Km	188,7935 A	163,5056 A	106,0015 A	116,9134 A
100 %	102,18 Km	133,1947 A	115,3546 A	78,1155 A	88,1614 A

4.7. Menghitung Setting Rele Arus Lebih

Pada kasus ini arus gangguan tanah lebih kecil dari arus beban yang terpasang (I_{nom}). Agar koordinasi rele arus lebih dan sekring pemutus

dapat di analisa pada penelitian ini, maka setting arus yang ditentukan menggunakan arus hubung singkat dua fasa.

4.8. Setting OCR Penyulang Radak

a. Setting OCR *recloser* Parit Tengkawang

$$I_{\text{nom}} = 48,2087 A , \quad CT = 1000/1$$

$$I_{\text{set primer}} (I_s) = 1,25 \times 48,2087 = 60,2609 A$$

$$1. \text{ Pick Up setting} = \frac{1,25 \times 48,2087}{1000/1} = 0,0603 A$$

2. Arus hubung singkat pada *recloser* Parit Tangkawang (30,92%) = 707,1963 A

3. Waktu kerja untuk *recloser* Parit Tengkawang ditentukan 0,1 detik

$$T_{\text{ms}} = 0,1 \frac{\left(\left(\frac{707,1963}{60,2609}\right)^{0,02} - 1\right)}{0,14} = 0,0361$$

4. Sehingga, waktu kerja rele pada setiap titik gangguan selama :

$$\text{Waktu kerja (t)} = \frac{0,14}{\left(\left(\frac{I_{\text{hs}}}{I_s}\right)^{0,02} - 1\right)} \text{ tms}$$

$$30,92\% = 0,1 \text{ detik}$$

$$50\% = 0,1267 \text{ detik}$$

$$75\% = 0,1482 \text{ detik}$$

$$100\% = 0,1702 \text{ detik}$$

b. Setting OCR CB Radak

$$I_{\text{nom}} = 141,4508 A , \quad CT = 300/5$$

$$I_{\text{set primer}} (I_s) = 1,25 \times 141,4508 = 176,8135 A$$

$$1. \text{ Pick Up setting} = \frac{1,25 \times 141,4508}{300/5} = 2,9469 A$$

2. Waktu kerja untuk CB Radak ditentukan (0,1 + Δt) = 0,1 + 0,4 = 0,5 detik

$$3. \text{ Tms} = 0,5 \frac{\left(\left(\frac{707,1963}{176,8135}\right)^{0,02} - 1\right)}{0,14} = 0,1003$$

4. Sehingga, waktu kerja rele pada setiap titik gangguan selama :

$$\text{Waktu kerja (t)} = \frac{0,14}{\left(\left(\frac{I_{\text{hs}}}{I_s}\right)^{0,02} - 1\right)} \text{ tms}$$

$$0\% = 0,2889 \text{ detik}$$

$$25\% = 0,4321 \text{ detik}$$

$$30,92\% = 0,5 \text{ detik}$$

$$50\% = 0,7889 \text{ detik}$$

$$75\% = 1,1605 \text{ detik}$$

$$100\% = 1,8236 \text{ detik}$$

4.9. Setting OCR Dan Pemilihan FCO Berdasarkan Hasil Perhitungan

Tabel 3 merupakan setting yang didapatkan dari hasil perhitungan.

Tabel 3 Setting Rele Pada CB Dan Recloser Berdasarkan Perhitungan

Rele	PickUp	t	TMS	Karakteristik
CB Mawar 1	4,1883 A	0,9 s	0,2269	(SI)
CB Mawar 2	4,1883 A	0,9 s	0,2269	(SI)
CB INC Kuala Dua 1	4,1883 A	0,6 s	0,1513	(SI)
CB INC Kuala Dua 2	4,1883 A	0,6 s	0,1513	(SI)
CB Radak	2,9469 A	0,5 s	0,1003	(SI)
CB Sui Deras	3,3324 A	0,6 s	0,0904	(SI)
RC Parit Tengawang	0,0603 A	0,1 s	0,0361	(SI)
RC Pematang 7	0,1798 A	0,35 s	0,0582	(SI)
RC Pendamar	0,0622 A	0,1 s	0,0309	(SI)
RC Pinang Luar	0,0489 A	0,1 s	0,0170	(SI)

Tabel 4 merupakan rating arus dan tipe sekring pemutus yang dipilih sesuai dengan arus nominalnya.

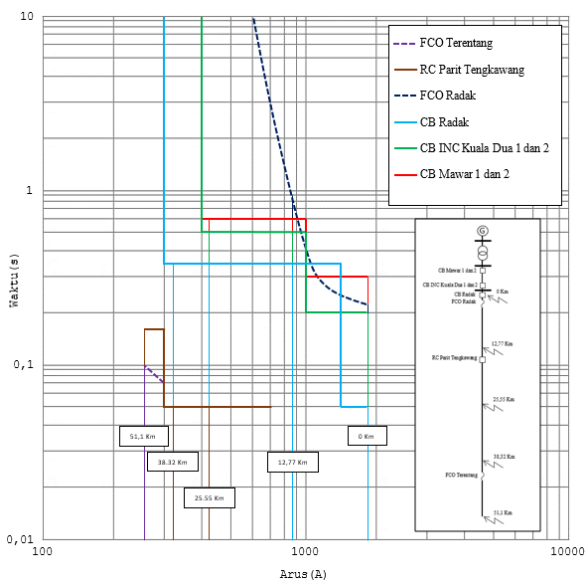
Tabel 4. Menentukan Rating Sekring Pemutus

Rele	Inom	Rating Yang Tersedia	Tipe
FCO Terentang	11,5470 A	12,5 A	T
FCO Parit Dermawan	7,6787 A	8 A	T
FCO Sungai Melati	6,4953 A	8 A	T
FCO Radak	141,4508 A	160 A	K
FCO Sui Deras	159,9549 A	160 A	K

4.10. Koordinasi Rele Arus Lebih Dan Sekring Pemutus Pada Penyulang Radak

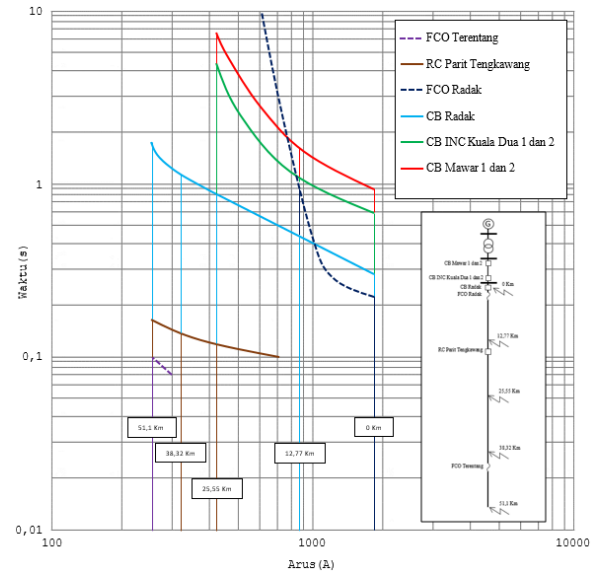
Berikut adalah kurva koordinasi rele arus lebih dan sekring pemutus pada Penyulang Radak :

4.10.1. Koordinasi Berdasarkan Di Lapangan



Gambar 10. Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Dan Sekring Pemutus Pada Penyulang Radak Berdasarkan Di Lapangan

4.10.2. Koordinasi Berdasarkan Perhitungan



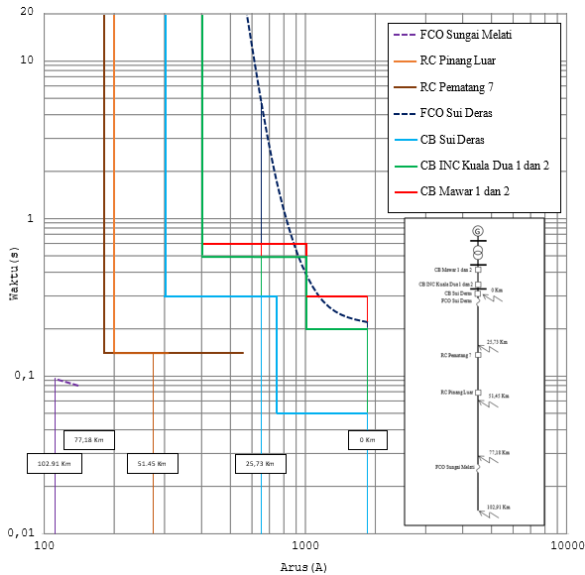
Gambar 11. Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Dan Sekring Pemutus Pada Penyulang Radak Berdasarkan Perhitungan

Berdasarkan kurva koordinasi rele arus lebih dan sekring pemutus pada Penyulang Radak di lapangan yang ditunjukkan pada gambar 10, rele pada CB Radak berpotongan dengan rele pada CB INC Kuala Dua 1 dan 2 serta CB Mawar 1 dan 2. Ini akan mengakibatkan CB INC Kuala Dua 1 dan 2 serta CB Mawar 1 dan 2 akan trip terlebih dahulu dibandingkan CB Radak pada arus gangguan 1000 A sampai dengan 1507 A. Sedangkan FCO Radak yang fungsinya sebagai pengaman utama pada GH Kuala Dua bekerja lebih lama dibandingkan dengan CB Radak dan CB INC Kuala Dua 1 dan 2. Untuk gangguan pada jarak 12,77 Km hingga ujung jaringan sudah baik. Agar rele arus lebih dan sekring pemutus di lapangan dapat berkoordinasi dengan baik sesuai dengan fungsinya, maka setting rele pada CB Radak, CB INC Kuala Dua 1 dan 2 serta CB Mawar 1 dan 2 harus di perlambat lagi waktunya untuk memberi kesempatan FCO Radak agar dapat bekerja terlebih dahulu, dengan waktu kerja 0,2889 detik pada rele CB Radak, 0,6 detik pada rele CB INC Kuala Dua 1 dan 2, serta 0,9 detik untuk rele CB Mawar 1 dan 2, seperti yang ditunjukkan pada gambar 11, dengan menggunakan karakteristik standar invers (SI).

4.11. Koordinasi Rele Arus Lebih Dan Sekring Pemutus Pada Penyulang Sui Deras

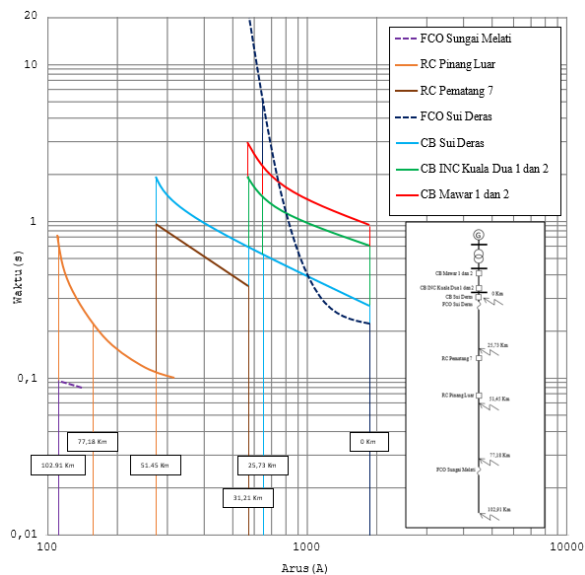
Berikut adalah kurva koordinasi rele arus lebih dan sekering pemutus pada Penyulang Sui Deras :

4.11.1 Koordinasi Berdasarkan Di Lapangan



Gambar 12. Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Dan Sekring Pemutus Pada Penyulang Sui Deras Berdasarkan Di Lapangan

4.11.2 Koordinasi Berdasarkan Perhitungan



Gambar 13. Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Dan Sekring Pemutus Pada Penyulang Sui Deras Berdasarkan Perhitungan

Berdasarkan kurva koordinasi rele arus lebih dan sekering pemutus pada Penyulang Sui Deras di lapangan yang ditunjukkan pada gambar 12, FCO Sui Deras yang fungsinya juga sebagai pengaman utama pada GH Kuala Dua bekerja lebih lama dibandingkan dengan CB Radak dan CB INC Kuala Dua 1 dan 2. Sedangkan RC Pinang Luar tidak dapat berfungsi dengan baik karena pick up nya lebih besar dibandingkan dengan RC Pematang 7 di depannya, begitu pula setting waktu nya yang sama dengan RC Pematang 7

yaitu 0,15 detik, sehingga apabila terjadi gangguan pada jarak 51,45 Km, RC Pinang Luar dan RC Pematang 7 akan bekerja secara bersamaan. Untuk gangguan yang berada pada ujung jaringan juga hanya terdeteksi oleh FCO Sungai Melati saja dan tidak terkoordinasi dengan *recloser* di depannya. Karena itu, agar RC Pinang Luar dapat berkoordinasi dengan baik, maka setting arus minimumnya harus diperkecil lagi sebesar 110 A, dan setting waktu nya selama 0,05 detik untuk karakteristik *definite*, tetapi apabila menggunakan rele dengan karakteristik standar invers maka dapat memasukan TMS sebesar 0,0170, seperti yang ditunjukkan pada gambar 13. Sedangkan untuk setting rele pada CB INC Kuala Dua 1 dan 2 serta CB Mawar 1 dan 2 harus di perlambat lagi waktunya untuk memberi kesempatan FCO Sui Deras agar dapat bekerja terlebih dahulu, dengan waktu kerja 0,6 detik pada rele CB INC Kuala Dua 1 dan 2, serta 0,9 detik untuk rele CB Mawar 1 dan 2, seperti setting rele untuk Penyulang Radak.

5. Penutup

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisa dan hasil perhitungan maka dibuatlah beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Berdasarkan hasil perhitungan besarnya arus gangguan hubung singkat berpengaruh terhadap tahap terjadinya gangguan, maka dapat dinyatakan arus hubung singkat tiga fasa > arus hubung singkat dua fasa ke tanah > arus hubung singkat satu fasa ke tanah. Akan tetapi arus hubung singkat dua fasa ke tanah pada ujung jaringan lebih kecil daripada arus hubung singkat satu fasa.
- Berdasarkan hasil perhitungan arus hubung singkat, semakin panjang penyulang maka semakin kecil arus gangguannya. Ini dikarenakan tol dari impedansi penyulang akan semakin besar apabila penampang semakin panjang. Pada Penyulang Radak arus gangguan terbesar terjadi pada 0 Km, yaitu gangguan hubung singkat tiga fasa sebesar 2193,6423 A, sedangkan arus gangguan terkecil terjadi pada 51,1 Km, yaitu gangguan satu fasa ke tanah dan dua fasa ke tanah sebesar 166,1037 A. Untuk Penyulang Sui Deras arus gangguan terbesar sama dengan arus gangguan pada Penyulang Radak, yaitu 2193,6423 A pada 0 Km gangguan hubung singkat tiga fasa, sedangkan arus gangguan terkecil terjadi pada 102,18 Km, yaitu

gangguan dua fasa ke tanah sebesar 78,1155 A.

- c. Berdasarkan hasil perhitungan, rele arus lebih tidak bisa mendeteksi gangguan tanah, hal ini disebabkan karena arus nominal yang melewati rele lebih besar dibandingkan dengan arus hubung singkat gangguan tanah yang terjadi. Untuk mendeteksi arus gangguan tanah dibutuhkan rele jenis lainnya.
- d. Berdasarkan data di lapangan, masih terdapat kesalahan koordinasi pada peralatan proteksi, yaitu pada jarak 0 Km Penyulang Radak dan Penyulang Sui Deras, waktu pelepasan FCO lebih lama dibandingkan dengan trip CB cadangan di depannya, yaitu CB Radak untuk Penyulang Radak, dan CB Sui Deras untuk Penyulang Sui Deras. Begitu pula untuk gangguan pada ujung jaringan Penyulang Sui Deras yang tidak terdeteksi oleh *recloser* dan CB di depannya.

5.2. Saran

Dari hasil analisa koordinasi rele arus lebih dan sekering pemutus pada Penyulang Radak dan Penyulang Sui Deras, maka di sarankan :

- a. Agar rele arus lebih dan sekering pemutus dapat berkoordinasi dengan baik, sebaiknya perlu setingan ulang pada CB Radak dan CB Sui Deras agar tidak terjadi kesalahan koordinasi yang terjadi pada jarak 0 Km.
- b. Pada RC Pematang 7 dan RC Pinang Luar sebaiknya di seting agar waktu kerjanya tidak bersamaan, yaitu dengan memberi jarak waktu kerja sebesar 0,1 detik untuk karakteristik definite.
- c. Sebaiknya menggunakan rele dengan karakteristik standar inverse (SI) agar seting waktu dapat di atur sesuai kebutuhan, dan lebih baik dalam berkoordinasi dengan rele maupun sekering pemutus lainnya.
- d. Karena masih banyak gangguan pada kedua penyulang ini, sebaiknya perlu ditingkatkan lagi pemangkasan pohon-pohon yang berada di sekitaran jaringan, juga perlu pengawasan dan penyuluhan mengenai dampak dan bahaya yang diakibatkan dari layang-layang terhadap jaringan listrik.
- e. Sebaiknya perlu pemeriksaan dan perawatan kembali peralatan swithching dan penggerak pada CB yang terpasang, manakala ada yang sudah tidak dapat beroperasi dengan efektif lagi.

Daftar Pustaka

- [1] Saadat, Hadi. 1999. *Power System Analysis*. New York : McGraw-Hill Company.

- [2] Gers, Juan M. Holmes, Edward J. 2011. *Protection of Electricity Distribution Networks 3rd Edition*. London : IET.
- [3] Hodgkiss. J.W. 1981. *Power system protection 2 system and methods*. United Kingdom : Peter Peregrinus Ltd.
- [4] Deshpande, M.V. 1991. *Switchgear and Protection*. New Delhi : Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited.
- [5] Gonen, Turan. 1986. *Electric Power Distribution System Engineering*. New York : McGraw-Hill.
- [6] SPLN 64 1985. *Petunjuk Pemilihan Dan Penggunaan Pelebur Pada Sistem Distribusi Tegangan Menengah*. Jakarta : PT PLN (Persero).
- [7] Hardiansyah. 2011. *Proteksi Sistem Tenaga*. Pontianak : Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
- [8] Sirait, Bonar. 2016. *Diktat Sistem Distribusi*. Pontianak : Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
- [9] Tim Penyusun. 2009. *Buku Petunjuk Batasan Operasi dan Pemeliharaan Peralatan Penyaluran Tenaga Listrik : Pemisah (PMS) No. Dokumen: 8-22/HARLUR-PST/2009*. Jakarta : PT PLN (Persero).
- [10] PT. PLN (Persero). 1997. *PBO-SSO*. Jakarta : PT. PLN (Persero) Pusat Pendidikan dan Pelatihan.
- [11] Data Aset PT. PLN (Persero) AP2B Kalbar, APD Pontianak, Rayon Rasau Jaya.

Biography



Bagus Budi Kusuma, Lahir di Kuala Dua pada tanggal 29 November 1994. Menempuh Pendidikan Strata I (S1) Di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura sejak tahun 2013. Penelitian ini diajukan sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Konsentrasi Teknik Tenaga Listrik di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

Disahkan Oleh :

Pembimbing Utama,

Dr. Ir. H.M. Iqbal Arsyad, MT
NIP. 196609071992031002

Pembimbing Pembantu,

Ir. Bonar Sirait, M.Sc
NIP. 195608131983021001