

Studi Koordinasi Relai Arus Lebih dan Gangguan Tanah pada Penyulang Gardu Induk 20 kV Marisa

Andry E.P Ismail ¹⁾, Taufik Ismail Yusuf ²⁾, Ervan Hasan Harun ³⁾

^{1),2),3)} Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo
email: andry.ismail26@gmail.com

Abstrak

Pada sistem distribusi biasanya terjadi *black out* (sistem kelistrikan mati) diakibatkan karena kesalahan koordinasi antara pengaman penyulang masuk sebagai pengaman cadangan dengan salah satu penyulang keluar sebagai pengaman utama, sehingga jika di salah satu penyulang mengalami gangguan maka penyulang yang lainnya juga ikut terganggu. Untuk itu diperlukan koordinasi proteksi yang sensitif, cepat dan selektif pada penyulang masuk dan penyulang keluar. Pada penelitian ini, dilakukan perhitungan arus hubung singkat untuk melihat pengaruh panjang jaringan terhadap arus hubung singkat, serta menentukan setelan relai untuk mengetahui kondisi koordinasi antara pengaman penyulang keluar dengan penyulang masuk berdasarkan waktu kerja relai terhadap arus gangguan yang terjadi pada penyulang Gardu Induk 20 kV Marisa. Dari hasil penelitian didapat bahwa arus gangguan hubung singkat terbesar adalah arus gangguan 3 fasa di penyulang keluar MR 4 jika dibandingkan dengan penyulang keluar lainnya. Kondisi koordinasi antara relai arus lebih (OCR) penyulang masuk MR 2.1 dengan relai arus lebih (OCR) penyulang keluar MR 1 dan MR 6 tidak begitu bagus, karena penyulang MR 1 dan MR 6 nilai arus gangguan di tengah-tengah jaringan lebih kecil dari setelan arus (*Iset*) OCR MR 2.1 sehingga membuat relai OCR MR 2.1 sebagai pengaman cadangan tidak dapat berkerja jika pengaman utama gagal berkerja pada saat terjadi gangguan hubung singkat di ujung jaringan. Sedangkan untuk koordinasi MR 2.1 dengan MR 3 dan MR 4 sudah bagus karena relai penyulang masuk dapat berkerja pada saat gangguan di ujung jaringan dan relainya tidak berkerja secara bersamaan. Adapun kondisi koordinasi antara relai gangguan tanah (GFR) penyulang masuk MR 2.1 dengan relai gangguan tanah (GFR) penyulang keluar MR 1, MR 3, MR 4, MR 6 sudah bagus karena gambar kurvanya tidak saling berpotongan sehingga relai tidak akan berkerja secara bersamaan dan memiliki waktu kerja relai yang cepat untuk memerintahkan pemutus tenaga (PMT) berkerja.

Kata Kunci: Perhitungan Arus Gangguan, Setelan Relai, Waktu Kerja Relai

Abstract

Andry E. Pranata Ismail. 2019. A Coordination Study of Overcurrent Relay and Ground Fault at Feeder of Substation, Departmen of Electrical, Faculty of Engineering, State University of Gorontalo. The principal supervisor is Taufik Ismail Yusuf, ST., M.SI. and the co-supervisor is Ervan Hasan Harun, MT. Commoly, the distribution system encounters blackout due to error coordination between incoming feeder protection as a back-up feeder with one of the outgoing feeders as a primary feeder. Thus if one of the freeders has interference. Another feeder will be interfered too. Therefore, it is necessary to have sentisive. Quick. and selective protection coordination at the incoming and outgoing feeders. The research calculated short circuit current to find out the effect of network length on the short circuit current and to decide the relay setting to know the condition of coordination between outgoing reeder protection with incoming feeder based on relay working time on the interference current occurred at Substation feeder 20 kv Marisa. Based on the research finding, it found that the highest short circuit interference current wasa interference current of 3 phases at outgoing feder MR 4 if compared to other outgoing feeders. The condition of coornination between Over Current Relay (OCR) of incoming feeder MR 2,1 with Over Current Relay (OCR) of outgoing feeder MR 1 and MR 6 was not quite good, due to the feeder MR 1 and MR 6 had interference current value in the middle of network that was lower than *Iset* of OCR MR 2.1, thun it made OCR MR 2.1 relay as back-up protection could not work if the primary protection failed to work within short circuit interference in the work end. Meanwhile, the coordination of MR 2.1 with MR 3 and MR 4 was good due to the incoming feeder relay could work during interference in the network end and the relay did not work simultaneously. In addition, the coordination condition between Ground Fault Rwlay (GFR) at incoming feeder MR

2.1 whit Ground Fault Relay (GFR) of outgoing feeder MR 1, MR 3. MR 4 relay did not work simulataneously and had quick relay working time to instruct the Circuit Breaker (PMT) to work.

Keyword: Interference Circuit Catculation Relay Setting, Relay Working Time

Diterima September 2018
Disetujui Oktober 2018
Dipublikasi Desember 2018

©2018 Andry E.P Ismail, Taufik Ismail Yusuf, Ervan Hasan Harun
Under the license CC BY-SA 4.0

Pendahuluan

P.T PLN (Persero) merupakan BUMN yang menyediakan tenaga listrik bagi seluruh lapisan masyarakat yang semakin hari semakin dibutuhkan keberadaannya. Untuk memenuhi keandalan ketersediaan dan penyaluran energi listrik, kebutuhan sistem proteksi yang memadai sangat diperlukan. Fungsi peralatan sistem proteksi adalah untuk mengidentifikasi gangguan dan memisahkan bagian jaringan yang terganggu dari bagian lain yang masih dalam keadaan normal serta sekaligus mengamankan bagian ini dari kerusakan yang dapat menyebabkan kerugian yang lebih besar.

Pengaman sistem distribusi mempergunakan *over current relay (OCR)* sebagai pengaman antar fasa yaitu hubung singkat 3 fasa atau 2 fasa dan *ground fault relay (GFR)* sebagai pengaman hubung singkat 1 fasa atau 2 fasa ke tanah, yang pemasangannya dapat di penyulang masuk (*incoming feeder*) sebagai penghubung dari sekunder trafo daya ke busbar 20 kV dan penyulang keluar (*outgoing feeder*) sebagai penghubung dari busbar ke beban dan gardu hubung.

Pada sistem distribusi biasanya terjadi *black out* (sistem kelistrikan mati) diakibatkan karena kesalahan koordinasi antara pengaman *incoming feeder* sebagai pengaman cadangan dengan salah satu *outgoing feeder* sebagai pengaman utama, sehingga jika di salah satu penyulang mengalami gangguan maka penyulang yang lainnya juga ikut terganggu. Untuk itu diperlukan koordinasi proteksi yang sensitif, cepat dan selektif pada penyulang masuk dan penyulang keluar.

Pada penelitian ini, dilakukan perhitungan arus hubung singkat untuk melihat pengaruh panjang jaringan terhadap arus hubung singkat, serta menentukan setelan relai untuk mengetahui kondisi koordinasi antara pengaman penyulang keluar dengan penyulang masuk berdasarkan waktu kerja relai terhadap arus gangguan yang terjadi pada penyulang Gardu Induk 20 kV Marisa

Metode

Penelitian ini melalui beberapa tahapan sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Studi literatur dimaksudkan untuk mempelajari berbagai sumber referensi atau teori, (buku, paper, jurnal ilmiah) yang berkaitan dengan penelitian koordinasi relai menggunakan metode per unit untuk perhitungan arus hubung singkat.

2. Pengambilan Data

pengambilan data dalam penelitian ini bertempat di Gardu Induk Marisa, Gardu Induk Isimu dan PT PLN Persero Area Gorontalo Data Yang di Butuhkan.

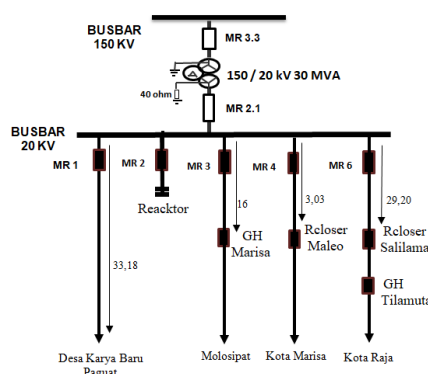
3. Analisa Dan Perhitungan

Perhitungan dilakukan untuk melihat hasil arus hubung singkat terhadap panjang jaringan dan kondisi koordinasi relai antara penyulang masuk dan penyulang keluar berdasarkan setelan relai dan waktu kerja relai terhadap panjang jaring.

Hasil Dan Pembahasan

a. Sistem Distribusi Tegangan Menengah 20 kV Gardu Induk Marisa

Sistem distribusi tenaga listrik area Gorontalo adalah sistem jaringan tiga fasa dengan tegangan nominal 20 kV yang disalurkan melalui Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) menggunakan tiang distribusi yang berbahan besi dan/atau beton. Adapun sistem distribusi 20 kV Gardu Induk Marisa dengan kapasitas 30 MVA dengan daya hubung singkat 605 MVA di sisi primer 150 kV dan memiliki 6 penyulang, terdiri dari 1 penyulang masuk MR.2.1 dan 4 penyulang keluar MR 1, MR 3, MR 4, MR 6 yang aktif untuk menyalurkan energi listrik ke konsumen (pemakai listrik) dan MR 2 *reaktor*. Hal ini dapat di lihat pada gambar (4.1)



Gambar 3. Singeline Gardu Induk Marisa 20 kV

b. Perhitungan Impedansi

• Impedansi Sumber

Data MVA hubung singkat pada sisi primer GI Marisa yaitu : 605 MVA Sisi tegangan tinggi 150 kV

$$MVA_{\text{dasar}} : 100 \text{ MVA}$$

$$kV_{\text{dasar}} : 150 \text{ kV}$$

$$Z_{\text{dasar}} = \frac{kV_{\text{dasar}}^2}{MVA_{\text{dasar}}} = \frac{150^2}{100} = 225 \text{ ohm}$$

$$X_s = \frac{kV_{\text{dasar}}^2}{MVA_{sc}} = \frac{150^2}{605} = 37,19 \text{ ohm}$$

Dalam satuan per unit (p.u)

$$Z_s \text{ p.u} = \frac{37,19}{225} = j 0,1652 \text{ p.u}$$

- **Impedansi Trafo Tenaga**

Perhitungan impedansi suatu *transformator* yang diambil adalah harga reaktansinya, sedangkan tahananannya diabaikan karena harganya kecil. Besar reaktansi trafo tenaga di Gardu Induk Marisa adalah 12% dengan kapasitas trafo 30 MVA, dihitung dengan menggunakan rumus :

1. **Reaktansi urutan positif**

$$X_t \text{ baru} (X_{t1} = X_{t2}) = X_t (\%) \times \left(\frac{kV_{\text{lama}}}{kV_{\text{baru}}} \right)^2 \times \frac{MVA \text{ baru}}{MVA \text{ lama}}$$

$$X_t \text{ baru sisi } 150 \text{ kV} = 12\% \times \left(\frac{150}{150} \right)^2 \times \frac{100}{30} = 0,4 \text{ p.u}$$

$$X_t \text{ baru sisi } 20 \text{ kV} = 12\% \times \left(\frac{20}{20} \right)^2 \times \frac{100}{30} = 0,4 \text{ p.u}$$

2. **Reaktansi urutan nol (X_{t0})**

Karena trafo daya pada Gardu Induk Marisa mempunyai hubungan belitan Ynyn0 (d5) dimana kapasitas belitan delta (d) biasanya adalah sepertiga dari kapasitas belitan Y (belitan yang di pakai untuk menyalurkan daya, sedangkan belitan delta tetap ada di dalam tetapi tidak dikeluarkan kecuali satu terminal delta untuk ditanahkan). Maka :

$$X_{t0} = 3 \times X_{t1}$$

$$3 \times 0,4 = 1,2 \text{ p.u}$$

- **Impedansi Penyulang**

Sisi tegangan rendah 20 kV

$$kV_{\text{dasar}} = 20 \text{ kV}$$

$$MVA_{\text{dasar}} = 100 \text{ MVA}$$

$$Z_{\text{dasar}} = \frac{kV_{\text{dasar}}^2}{MVA_{\text{dasar}}} = \frac{20^2}{100} = 4 \text{ ohm}$$

- **Impedansi Penyulang MR 1**

Data yang diperoleh bahwa jenis penghantar yang digunakan pada penyulang MR 1 hanya menggunakan satu buah tipe kabel yaitu AAAC 70 mm² dengan Panjang penyulang = 33,18 km

$$Z1 \text{ p.u} = \frac{(0,4608 + j3,3572) \times 33,18}{4} = 3,8223 + j2,9629 \text{ p.u}$$

$$Z0 \text{ p.u} = \frac{(0,6088 + j1,6447) \times 33,18}{4} = 5,0500 + j13,6427 \text{ p.u}$$

- **Panjang jaringan jarak 1 %**

$$\begin{aligned} Z1 \text{ p.u} (1\%) &= 1\% \times (3,822336 + j2,962974) \\ &= 0,0382 + j0,0296 \text{ p.u} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z0 \text{ p.u} (1\%) &= 1\% \times (5,049996 + j13,64279) \\ &= 0,0505 + j0,1364 \text{ p.u} \end{aligned}$$

Dengan melakukan hitungan yang sama seperti di atas maka hasil nilai impedansi dari tiap penyulang untuk lokasi dengan jarak 1%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 100% panjang jaringan dapat diketahui.

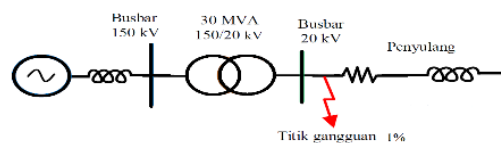
- **Impedansi Ekuivalen Jaringan**

Perhitungan besar nilai impedansi urutan positif (Z_{1eq}) dan negaif (Z_{2eq}) dapat langsung dengan cara menjumlahkan impedansi yang ada, sedangkan untuk perhitungan impedansi ekuivalen urutan nol (Z_{0eq}), karena trafo daya pada Gardu Induk Marisa titik netralnya di tanahkan dengan tahanan (R_n) sebesar 40 ohm.

Maka R_n dalam p.u :

$$\frac{R_n}{Z_{base}} = \frac{40}{4} = 10 \text{ p.u}$$

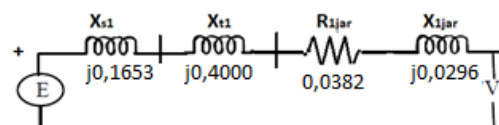
Jadi $3R_n = 3 \times 10 = 30 \text{ p.u}$



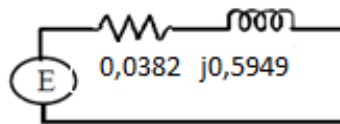
Gambar 4. Diagram satu garis untuk penyulang titik gangguan 1%

- **Impedansi Ekuivalen Penyulang MR 1**

- **Urutan Positif pada panjang jaringan jarak 1%**

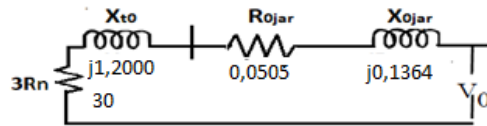


Gambar 5. Diagram ekuivalen urutan positif jarak 1% (MR 1)

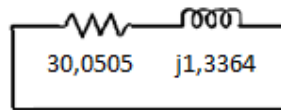


Gambar 6. Penyederhaan ekivalen urutan positif jarak 1% (MR 1)

- **Urutan Nol pada panjang jaringan jarak 1%**



Gambar 7. Diagram ekivalen jaringan urutan nol jarak 1% (MR 1)



Gambar 8. Penyederhanaan ekivalen jaringan urutan nol jarak 1% (MR 1)

Dengan menggunakan cara yang sama seperti diatas maka didapat hasil penyederhanaan impedansi ekivalen urutan positif, negatif dan urutan nol penyulang MR 1, pada lokasi 0%, 1%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% dan 100% panjang jaringan dapat diketahui.

• **Perhitungan Arus Gangguan Sisi tegangan rendah 20 kV**

MVAdasar : 100 MVA

kVdasar : 20 kV

Tegangan dalam (p.u) : 1,0 p.u

• **Arus Dasar**

$$\begin{aligned} I_{\text{dasar}} &= \frac{MV_{\text{Adasar}}}{\sqrt{3} \times kV_{\text{dasar}}} \times 1000 \\ &= \frac{100}{\sqrt{3} \times 20 \times 1000} \\ &= 2886,75 \text{ A} \end{aligned}$$

• **Arus Hubung Singkat Penyulang MR 1**

- **Arus Hubung Singkat 3 Fasa Jarak 1%**

$$\begin{aligned} I_{f3\text{fasa}} &= \frac{V}{Z_{1eq}} \\ &= \frac{1,0 \text{ p.u}}{(0,0382 + j0,5949)} \\ &= \frac{1,0 \text{ p.u}}{0,5961 \angle 86,3238^\circ} \\ I_{f3\text{fasa}} &= 1,6774 \angle -86,3238^\circ \text{ p.u} \\ I_{f3\text{fasa}} &= 1,6774 \times 2886,75 \text{ A} \\ &= 4842,4 \text{ A} \end{aligned}$$

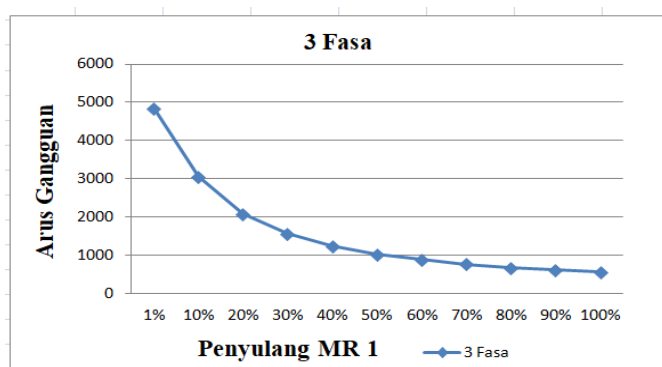
- **Arus Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah jarak 1%**

$$\begin{aligned}
 I_{f1\text{fasa}} &= \frac{3 \times V}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}} \\
 &= \frac{3 \times V}{2 \times Z_{1eq} + Z_{0eq}} \\
 &= \frac{3 \times 1}{2 \times (0,0382 + j0,5949) + (30,0505 + j1,3364)} \\
 &= \frac{3}{30,2327 \angle 4,7932} \\
 &= 0,0992 \angle -4,7932^\circ \text{ A} \\
 &= 0,0992 \times 2886,75 \text{ A} \\
 &= 286,5 \text{ A}
 \end{aligned}$$

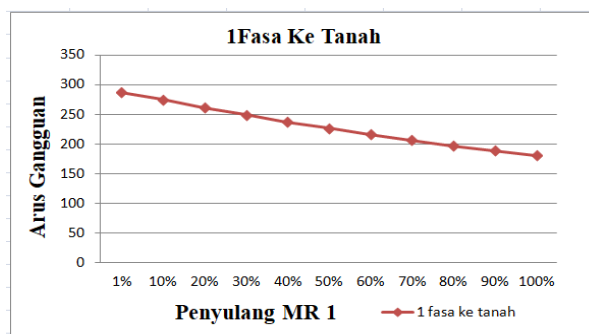
Dengan menggunakan cara perhitungan yang sama seperti diatas maka didapat hasil arus hubung singkat 3 fasa dan 1 fasa ke tanah, penyulang MR1, MR3 ,MR4 ,MR6 pada jarak 1%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 100% dapat diketahui.

Dengan hasil perhitungan di atas maka dapat dibuat kurva arus gangguan (A) pada panjang penyulang (%) sebagai berikut

1. **Penyulang MR 1**

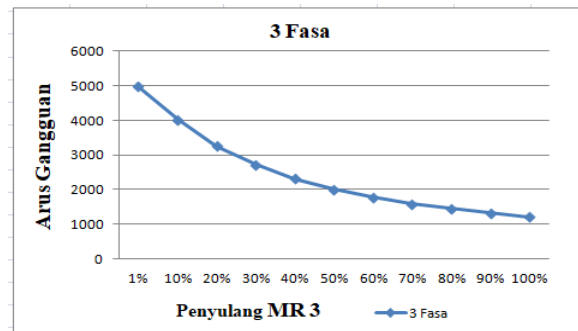


Gambar 9. Kurva arus hubung singkat 3 fasa (MR 1)

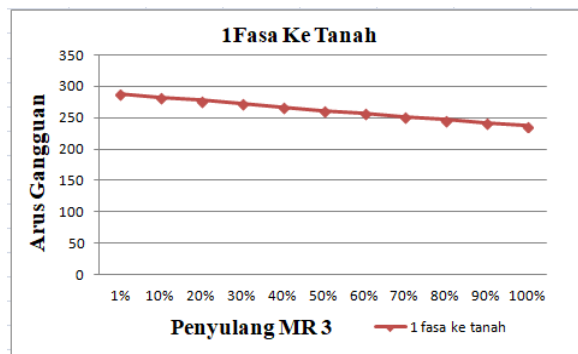


Gambar 10. Kurva arus hubung singkat 1fasa ke tanah (MR 1)

1. Penyulang MR 3

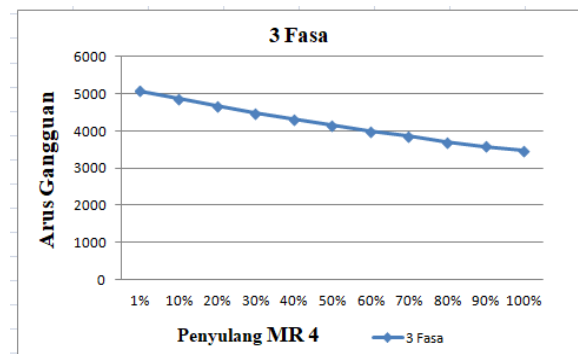


Gambar 11. Kurva arus hubung singkat 3 fasa (MR 3)

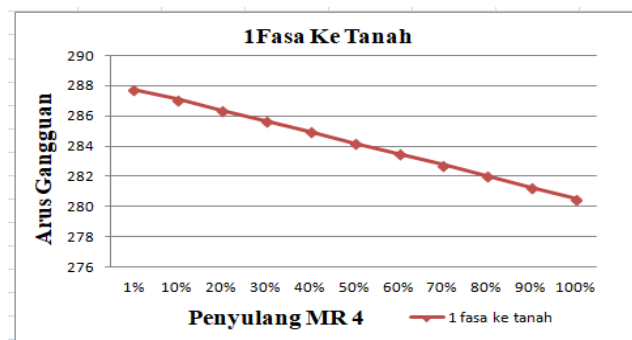


Gambar 12. Kurva arus hubung singkat 1fasa ke tanah (MR 3)

2. Penyulang MR 4

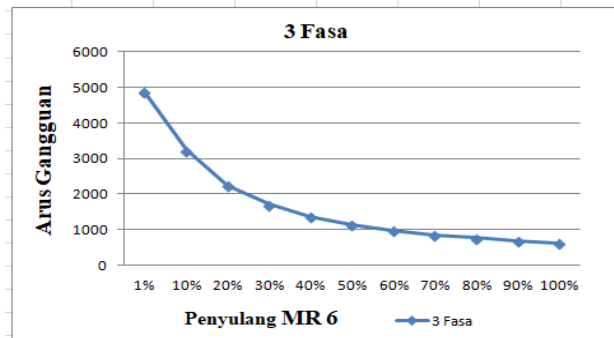


Gambar 13. Kurva arus hubung singkat 3 fasa (MR 4)

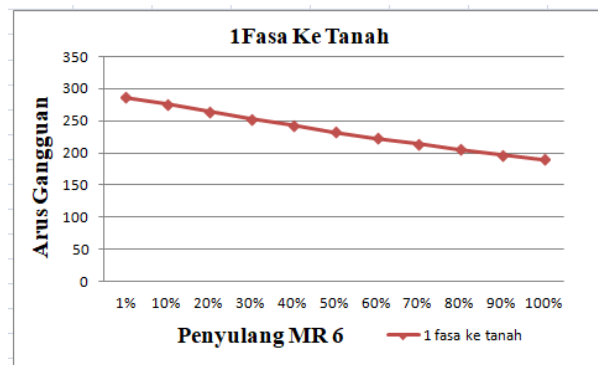


Gambar 14. Kurva arus hubung singkat 1fasa ke tanah (MR 4)

3. Penyulang MR 6



Gambar 15. Kurva arus hubung singkat 3 fasa (MR 6)



Gambar 16. Kurva arus hubung singkat 1fasa ke tanah (MR 6)

- **Analisa Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat**

Dari kurva di atas dapat dilihat bahwa besar arus gangguan hubung singkat 3 fasa dan satu fasa ke tanah dipengaruhi oleh jarak titik gangguan, semakin jauh jarak titik gangguan dari sumber semakin kecil arus gangguan hubung singkatnya dan semakin dekat jarak titik gangguan dari sumber semakin besar pula arus hubung singkatnya.

Selain itu dapat dilihat bahwa selisih arus gangguan terbesar adalah arus gangguan hubung singkat 3 fasa jika dibandingkan dengan arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah terhadap panjang jaringan, besar dan kecilnya arus gangguan dipengaruhi oleh impedansi ekuivalen jaringan. Impedansi ekuivalen gangguan hubung singkat 3 fasa terdiri dari rangkaian ekuivalen urutan positif yaitu impedansi sumber, impedansi trafo dan impedansi penyulang. Sedangkan untuk impedansi ekuivalen gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah terdiri dari rangkaian ekuivalen urutan positif, ekuivalen negatif dan ekuivalen urutan nol.

- **Setelan Relai Penyulang Keluar (*Outgoing Feeder*)**

- a. Setelan (OCR) Penyulang MR 1**

$$\begin{aligned} I_{set} &= 1,05 \times (\text{ arus beban puncak}) \\ &= 1,05 \times 30 \text{ A} \\ &= 31,5 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
T_{ms} &= \frac{t \left(\left(\frac{I_{f3fasa}}{I_{set}} \right)^a - 1 \right)}{\beta} \\
&= \frac{0,3 \times \left(\left(\frac{4842,4}{31,5} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} \\
&= 0,23 \\
&= \frac{0,3 \times \left(\left(\frac{4873,6}{21} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} \\
&= 0,25
\end{aligned}$$

b. Setelan GFR penyulang MR 1

$$\begin{aligned}
I_{set} &= 8\% \times (\text{gangguan di } 100\% \text{ panjang penyulang}) \\
&= 8\% \times 180,5 \\
&= 14,44 \\
T_{ms} &= \frac{t \left(\left(\frac{I_{f1fasa}}{I_{set}} \right)^a - 1 \right)}{\beta} \\
&= \frac{0,3 \times \left(\left(\frac{286,5}{14,44} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} \\
&= 0,13
\end{aligned}$$

• **Setelan Relai Penyulang Masuk (*Incoming Feeder*)**

a. Setelan OCR Penyulang Masuk MR 2.1

$$\begin{aligned}
I_{set} &= 1,05 \times (\text{arus nominal trafo}) \\
&= 1,05 \times 866 \text{ A} \\
&= 909,3 \text{ A} \\
T_{ms} &= \frac{\Delta t + t_{\text{outgoing}} \left(\left(\frac{I_{f3fasa}}{I_{set}} \right)^a - 1 \right)}{\beta} \\
&= \frac{0,4 + 0,3 \times \left(\left(\frac{4842,36}{909,3} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} \\
&= 0,17
\end{aligned}$$

b. Setelan GFR Penyulang Masuk MR 2.1

$$\begin{aligned}
I_{set} &= 10\% \times (\text{gangguan di } 100\% \text{ panjang penyulang MR 1}) \\
&= 10\% \times 180,48 \\
&= 18,05 \\
T_{ms} &= \frac{0,4 + 0,3 \times \left(\left(\frac{286,45}{18,05} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} \\
&= 0,28
\end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama maka stelan MR1, MR3, MR4, MR6 dapat diketahui. Seperti terlihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 1. Hasil setelan relai

Penyulang	Setelan	OCR	GFR
MR 2.1	Iset	909,3	18,05
	Tms	0,17	0,28
MR 1	Iset	31,5	14,44
	Tms	0,1	0,13
MR 3	Iset	2,1	18,95
	Tms	0,36	0,12
MR 4	Iset	50,4	22,44
	Tms	0,21	0,11
MR 6	Iset	21	15,2
	Tms	0,25	0,13

- **Pemeriksaan Selektifitas Kerja Relai Arus Gangguan 3 Fasa**

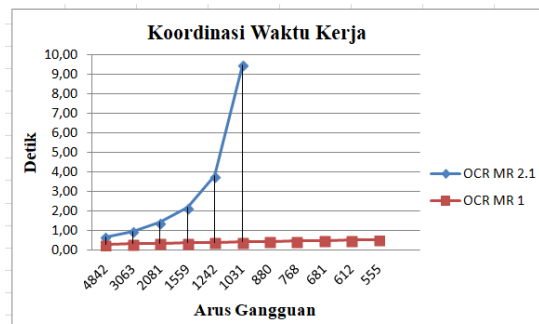
- a. **Waktu kerja relai pada arus gangguan penyulang MR 1 jarak 1%**

$$\text{OCR MR 2.1: } t(1\%) = \frac{0,14 \times 0,17}{\left(\left(\frac{4842,4}{909,3}\right)^{0,02} - 1\right)} = 0,70$$

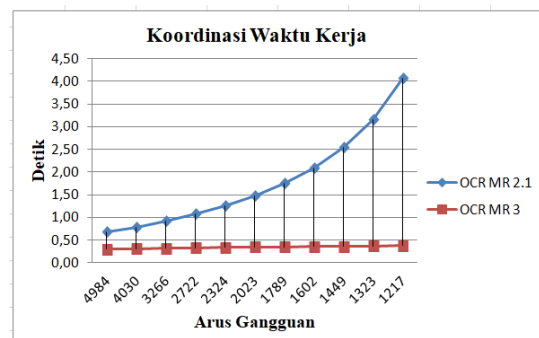
$$\text{OCR MR 1: } t(1\%) = \frac{0,14 \times 0,23}{\left(\left(\frac{4842,4}{31,5}\right)^{0,02} - 1\right)} = 0,30$$

Dengan cara yang sama perhitungan waktu kerja relai untuk lokasi gangguan dengan jarak tiap 10% panjang penyulang MR1, MR3, MR4, MR6 dapat diketahui.

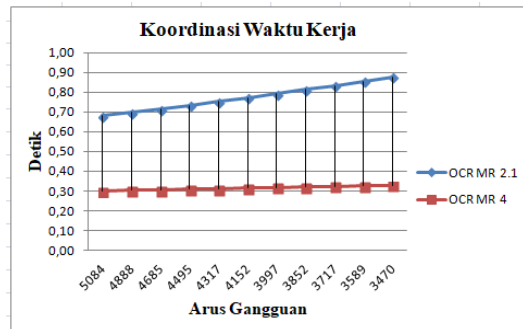
Dengan hasil perhitungan waktu kerja relai di atas, dibuat kurva koordinasi relai antara penyulang masuk MR 2.1 dengan penyulang keluar MR 1. Sebagai berikut :



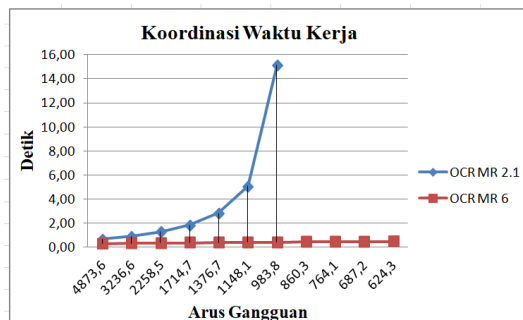
Gambar 17. Kurva waktu kerja relai OCR MR 2.1 dan OCR MR 1



Gambar 18. Kurva waktu kerja relai OCR MR 2.1 dan OCR MR 3



Gambar 19. Kurva waktu kerja relai OCR MR 2.1 dan OCR MR 4



Gambar 20. Kurva waktu kerja relai OCR MR 2.1 dan OCR MR 6

- **Analisa Koordinasi Waktu Kerja Relai Arus Lebih :**

- 1. Koordinasi Waktu Kerja relai MR 2.1 dan MR 1**

Dari tabel 4.9 di atas, relai penyulang masuk OCR MR 2.1 mulai berkerja pada jarak 50% arus gangguan 1031 A dengan waktu (t) 9,48 detik, hal ini dikarenakan relai OCR MR 2.1 arus settingnya sebesar 909,3 A. Bila arus gangguan terjadi di bawah nilai 909,3 A maka relai tersebut belum berkerja. Sedangkan untuk relai penyulang OCR MR 1 mulai berkerja pada arus gangguan di ujung jaringan jarak 100% dengan waktu 0,30 detik.

Dari gambar 4.27 terlihat bahwa koordinasi waktu kerja kerja relai MR 2.1 dengan MR 1 tidak terlalu bagus, meskipun terdapat selang waktu antara relai arus lebih sisi penyulang masuk dan relai arus lebih sisi penyulang keluar, yang menunjukkan bahwa koordinasi relai arus lebih sisi penyulang masuk dan relai arus lebih sisi penyulang keluar tidak akan berkerja secara bersamaan.

Koordinasinya tidak terlalu bagus karena jika arus gangguan nilainya 555 sampai 880 A, bila OCR MR 1 sebagai pengaman utama gagal berkerja maka pengaman cadangan yang seharusnya berkerja tidak dapat berkerja karena settingan arus pada sisi penyulang masuk OCR MR 2.1 yaitu 909,3 A lebih besar dari nilai arus gangguan 555 sampai 880 A

2. Koordinasi Waktu Kerja relai MR 2.1 dan MR 3

Dari tabel 4,10 terlihat bahwa relai penyulang masuk OCR MR 2.1 mulai berkerja pada jarak 100% arus gangguan 1217 A dengan waktu (t) 4,07 detik. Sedangkan untuk relai penyulang OCR MR 3 mulai berkerja pada arus gangguan di ujung jaringan jarak 100% dengan waktu 0,37 detik.

Dari gambar 4.28 dapat dilihat bahwa terdapat selang waktu antara relai arus lebih sisi penyulang masuk dan relai arus lebih sisi penyulang keluar, hal ini menunjukkan bahwa koordinasi relai arus lebih sisi penyulang masuk dan relai arus lebih sisi penyulang keluar tidak akan berkerja secara bersamaan, maka sudah memenuhi kriteria koordinasi.

3. Koordinasi Waktu Kerja relai MR 2.1 dan MR 4

Koordinasi OCR MR 2.1 dan MR 1 sudah bagus, kurvanya tidak saling berpotongan dan tidak memiliki tunda waktu yang lama

4. Koordinasi Waktu Kerja relai MR 2.1 dan MR 6

Koordinasi relai MR 2.1 dengan MR 6 tidak bagus karena OCR MR 2.1 berkerja pada titik gangguan 983,8 di tengah- tengah panjang jaringan. Hal ini menunjukan bahwa bila pengaman utama yaitu relai sisi penyulang keluar gagal berkerja maka relai pengaman cadangan yaitu relai sisi penyulang masuk tidak dapat berkerja pada arus gangguan di ujung jaringan

• Pemeriksaan Selektifitas Kerja Relai Arus Gangguan 1 Fasa ke Tanah

1. Waktu kerja relai (t) jarak 1 % pada arus gangguan penyulang MR 1

OCR MR 2.1:

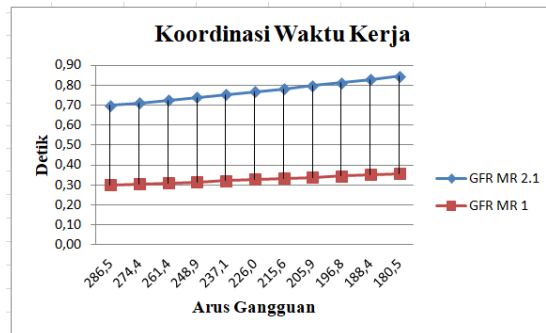
$$t(1\%) = \frac{0,14 \times 0,28}{\left(\left(\frac{286,5}{18,05}\right)^{0,02} - 1\right)} = 0,70$$

OCR MR 1:

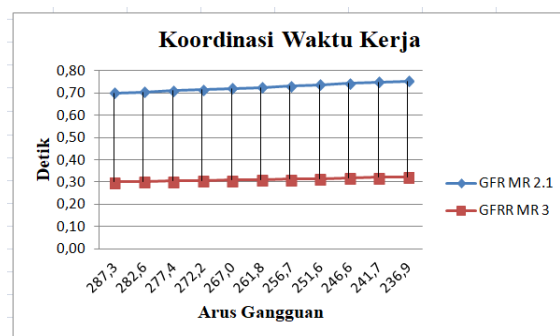
$$t(1\%) = \frac{0,14 \times 0,23}{\left(\left(\frac{286,5}{14,44}\right)^{0,02} - 1\right)} = 0,30$$

Dengan cara yang sama perhitungan waktu kerja relai untuk lokasi gangguan dengan jarak tiap 10% panjang penyulang, dapat diketahui.

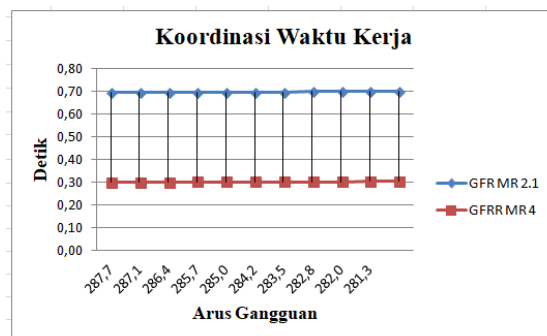
Dengan hasil perhitungan waktu kerja relai di atas, dibuat kurva koordinasi relai antara penyulang masuk MR 2.1 dengan penyulang keluar MR 1. Sebagai berikut :



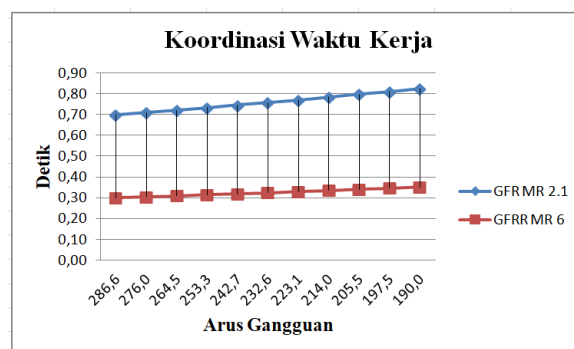
Gambar 21. Kurva waktu kerja relai *GFR MR 2.1* dan *GFR MR 1*



Gambar 22. Kurva waktu kerja relai *GFR MR 2.1* dan *GFR MR 3*



Gambar 23. Kurva waktu kerja relai *GFR MR 2.1* dan *GFR MR 4*



Gambar 24. Kurva waktu kerja relai *GFR MR 2.1* dan *GFR MR 6*

- **Analisa Koordinasi Waktu Kerja Relai GFR:**

- 1. Koordinasi Waktu Kerja relai GFR MR 2.1 dan MR 1**

Dari gambar 4.31 dapat dilihat bahwa terdapat selang waktu antara relai gangguan tanah sisi penyulang masuk (*GFR* MR 2.1) dan relai gangguan tanah sisi penyulang keluar (*GFR* MR 1), ini menunjukkan bahwa *GFR* MR 2.1 dan *GFR* MR1 tidak akan berkerja secara bersamaan, maka sudah memenuhi kriteria koordinasi. Relai penyulang keluar memiliki waktu kerja lebih cepat dibandingkan dengan relai penyulang masuk, hal ini dimaksudkan bahwa relai penyulang masuk berkerja sebagai pengaman cadangan ketika pengam utama yaitu relai penyulang keluar gagal berkerja.

- 2. Koordinasi Waktu Kerja relai MR 2.1 dan MR 3**

Koordinasi Waktu Kerja relai MR 2.1 dan MR 3 sudah bagus terlihat dari gambar kurva 4.32 tidak saling berpotongan dan memiliki waktu kerja yang lebih cepat. Dengan waktu kerja pada arus gangguan terkecil yaitu MR 2.1: 0,75 detik dan MR 4: 0,32 detik

- 3. Koordinasi Waktu Kerja relai MR 2.1 dan MR 4**

Koordinasi Waktu Kerja relai MR 2.1 dan MR 4 sudah bagus terlihat dari gambar kurva 4.33 tidak saling berpotongan dan memiliki waktu kerja yang lebih cepat. Dengan waktu kerja pada arus gangguan terkecil yaitu MR 2.1: 0,70 detik dan MR 4: 0,30 detik.

- 4. Koordinasi Waktu Kerja relai MR 2.1 dan MR 6**

Koordinasi Waktu Kerja relai MR 2.1 dan MR 6 sudah bagus terlihat dari gambar kurva 4.34 tidak saling berpotongan dan memiliki waktu kerja yang lebih cepat. Dengan waktu kerja pada arus gangguan terkecil yaitu MR 2.1: 0,83 detik dan MR 4: 0,35 detik.

- **Setelan Relai Pada Gardu Induk Marisa**

Setelan relai pada Gardu Induk Marisa menggunakan karakteristik *inverse* untuk setelan relai penyulang masuk. Sedangkan untuk setelan relai penyulang keluar menggunakan karakteristik *devinite* dimana waktu kerja relai tidak tergantung pada besar kecilnya arus gangguan, relai akan memutus pada saat arus gangguan melebihi setelan arus yang ditentukan.

Kesimpulan

1. Besar dan kecilnya arus gangguan hubung singkat sangat dipengaruhi oleh panjang jaringan atau jarak titik gangguan. Semakin jauh letak titik gangguan dari sumber, maka semakin kecil pula arus yang ditimbulkan. Arus gangguan hubung singkat 3 fasa dan 1 fasa ke tanah terbesar yaitu pada penyulang keluar MR 4 jika dibandingkan dengan penyulang keluar lainnya
2. Kondisi koordinasi antara relai arus lebih (*OCR*) penyulang masuk MR 2.1 dengan relai arus lebih (*OCR*) penyulang keluar MR 1 dan MR 6 tidak begitu bagus, karena

penyulang MR 1 dan MR 6 nilai arus gangguan di tengah-tengah jaringan lebih kecil dari setelan arus (Iset) OCR MR 2.1 sehingga membuat relai OCR MR 2.1 sebagai pengaman cadangan tidak dapat berkerja jika pengaman utama gagal berkerja pada saat terjadi gangguan hubung singkat di ujung jaringan. Sedangkan untuk koordinasi MR 2.1 dengan MR 3 dan MR 4 sudah bagus karena relai penyulang masuk dapat berkerja pada saat gangguan di ujung jaringan dan relainya tidak berkerja secara bersamaan.

Kondisi koordinasi antara relai gangguan tanah (*GFR*) penyulang masuk MR 2.1 dengan relai gangguan tanah (*GFR*) penyulang keluar MR 1, MR 3, MR 4, MR 6 sudah bagus karena gambar kurvanya tidak saling berpotongan sehingga relai tidak akan berkerja secara bersamaan dan memiliki waktu kerja relai yang cepat untuk memerintahkan pemutus tenaga (PMT) berkerja.

3. Setelan relai berdasarkan perhitungan yang dibuat menggunakan karakteristik *inverse* di penyulang keluar dan penyulang masuk. Sedangkan setelan relai Gardu Induk Marisa menggunakan karakteristik *devinite* untuk setelan penyulang keluar dan *inverse* untuk setelan penyulang masuk. Karena metode yang digunakan berbeda, maka setelan yang dibuat berdasarkan perhitungan ini bisa menjadi acuan PLN jika setelan relai menggunakan karakteristik *inverse*.

Saran

1. Penelitian ini masih menggunakan alat manual yaitu kalkulator dan software manual yaitu microsoft Excel, sebaiknya penelitian selanjutnya menggunakan MATLAB atau ETAP.
2. Daerah koordinasinya dapat diperluas yaitu dengan koordinasi relai antara penyulang masuk, relai penyulang keluar dan relai yang terdapat pada recloser atau gardu hubung (GH).

Daftar Pustaka

- Affandi, I. 2009. *Analisa Setting Relai Arus Lebih Dan Relai Gangguan Tanah Pada Penyulang Sadewa Di GI Cawang*. Universitas Indonesia. Depok.
- Dermawan, E. dan Nugroho. D. *Analisa Koordinasi Over Current Relay Dan Ground Fault Relay Di Sistem Proteksi Feeder Gardu Induk 20 kV Jababeka*. Universitas Muhammadiyah Jakarta. Jurnal Elektum Vol. 14 No. 2
- Harun, E.H. 2013. *Bahan Ajar Analisis Sistem Tenaga Listrik (Revisi 2013)*. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo. Gorontalo
- Sarimun, W. 2016. *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Edisi kedua. Garamond

Yusmartato. Ramayulis. dan A, Hasibuan. 2018. Penentuan Nilai Arus Pemutusan Pemutus Tenaga Sisi 20 KV pada Gardu Induk 30 MVA Pangururan. *Journal of Electrical Technology*. 3(4):53-58.