

ANALISA SETTING RELAI ARUS LEBIH DAN RELAI GANGGUAN TANAH PADA TRANSFORMATOR DAYA 60 MVA DI GARDU INDUK 150 kV PATI

Umar¹, Sri Indah Puja Ningsih²

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

²Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Surakarta 57102 Telp 0271 717417

Email: Sriindah2109@gmail.com

Abstrak

Sistem proteksi merupakan bagian yang sangat penting dalam penyaluran energi listrik, yang berguna untuk melindungi atau mengamankan gangguan dalam penyaluran energi listrik agar terhindar dari beberapa resiko gangguan yang tidak diinginkan, oleh karena itu dibutuhkan sistem proteksi yang memenuhi syarat yaitu selektivitas, kehandalan, sensitive dan cepat. Gangguan yang sering terjadi di jaringan distribusi adalah gangguan hubung singkat yang dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan sistem tenaga listrik. Cara yang digunakan untuk mengurangi gangguan tersebut adalah dengan memasang suatu relai proteksi arus lebih dan relai gangguan tanah. Relai arus lebih dan relai gangguan tanah bekerja ketika ada arus lebih yang dirasakan oleh relai baik gangguan hubung singkat maupun beban lebih, dan kemudian menginstruksi pemutus tenaga (PMT) agar dapat membuka sesuai dengan karakteristik waktunya. Metode penelitian ini dengan mencari data ke gardu induk Pati kemudian melakukan analisa perhitungan. Hasil analisa perhitungan dibandingkan dengan setting yang ada pada gardu induk Pati. Analisa yang dilakukan bertujuan menghitung besar arus gangguan hubung singkat, kemudian menentukan setting relai proteksi. Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan nilai arus gangguan hubung singkat untuk tiga fasa yang paling terbesar yaitu 13745,94 \hat{e} -90 A dan nilai terkecil dari arus gangguan hubung singkat ke tanah yaitu 1625,87 \hat{e} -71,16 A. Hasil perbandingan data perhitungan dengan data terpasang pada gardu induk Pati mendekati sama atau tidak jauh berbeda. Nilai setting TMS yang didapatkan dari hasil perhitungan untuk OCR sisi penyulang 20kV adalah 0,12, OCR sisi incoming adalah 0,2, dan GFR sisi penyulang adalah 0,25, GFR sisi incoming adalah 0,37. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi relai yang terpasang masih dalam kondisi baik atau bekerja sesuai dengan nilai settingnya.

Kata kunci: relai arus lebih; relai gangguan tanah; setting relai; sistem proteksi

Pendahuluan

Energi listrik merupakan salah satu energi utama yang mempunyai peranan penting dalam kehidupan manusia. Kebutuhan energi listrik di Indonesia sangatlah meningkat, sejalan dengan perkembangan teknologi. Sampai saat ini sistem penyaluran energi listrik tidak lepas dari berbagai gangguan, yang dapat merusak peralatan sistem tenaga listrik. Transformator adalah suatu alat listrik statis yang berfungsi merubah tegangan guna penyaluran daya listrik dari suatu rangkaian ke rangkaian lain melalui gandengan magnet berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik (Badaruddin, 2014). Dibutuhkan proteksi yang handal untuk mengamankan transformator dari berbagai gangguan internal maupun eksternal.

Gangguan yang sering terjadi di dalam sistem tenaga listrik adalah gangguan hubung singkat. Gangguan hubung singkat terdiri dari gangguan simetris dan tidak simetris. Gangguan simetris dapat dibedakan berupa gangguan tiga fasa simetris, sedangkan gangguan tidak simetris dapat meliputi gangguan tunggal satu fasa ke tanah, gangguan ganda, dan gangguan ganda ke tanah (Gonen, 1986). Jika gangguan tidak diatasi hal ini akan menyebabkan gangguan tersandungnya relai, koordinasi yang tidak tepat atau relai memiliki waktu delay yang lama (Kamal, 2014).

Sistem transmisi dan distribusi merupakan sistem yang besar dan rumit yang membutuhkan sejumlah besar relai proteksi bekerja satu sama lain untuk menjamin operasi yang aman dan dapat diandalkan secara keseluruhan (Sajad, 2015). Sistem proteksi yang digunakan adalah relai arus lebih (OCR) dan relai gangguan tanah (GFR). Relai arus lebih memainkan peran penting dalam operasi perlindungan sistem distribusi tenaga listrik yaitu peralatan yang mensinyalir adanya arus lebih yang melebihi *setting* (Tjahjono, 2015). Hal yang perlu diperhatikan dalam *setting* OCR ialah kecepatan, sensitivitas, reliabilitas dan selektivitas (Badekar, 2009).

Relai gangguan tanah atau *Ground Fault Relay* (GFR) pada dasarnya mempunyai prinsip kerja yang sama dengan relai arus lebih atau *Over Current Relay* (OCR), namun memiliki perbedaan dalam kegunaannya. Relai arus lebih digunakan untuk mendeteksi hubung singkat fasa ke fasa, sedangkan relai gangguan tanah mendeteksi adanya hubung singkat fasa ke tanah.

Sebaiknya dalam penyetelan relai proteksi, arus gangguan yang dihitung tidak hanya titik gangguan itu saja, tetapi juga arus gangguan yang mengalir ditiap cabang dalam jaringan yang menuju ke titik gangguan, untuk itu diperlukan cara untuk menghitung arus gangguan hubung singkat yang dapat membantu dalam perhitungan penyetelan relai proteksi dalam sistem tenaga listrik. Berdasarkan *IEC 60255* terdapat 3 karakteristik relai arus lebih IDMT, yaitu *Standard Inverse* (SI), *Very Inverse* (VI) dan *Extremely Inverse* (EI). Waktu operasi dari karakteristik relai arus lebih yang paling kecil adalah *Extremely Inverse*, kemudian diikuti dengan karakter *Very Inverse* dan *Standard Inverse*.

Berdasarkan uraian diatas penelitian ini bertujuan untuk menghitung arus hubung singkat, kemudian hasil dari perhitungan arus hubung singkat digunakan untuk menghitung nilai *setting* relai arus lebih dan relai gangguan tanah. Selanjutnya hasil perhitungan dianalisis dengan membandingkan nilai *setting* yang ada pada PT PLN (Persero) dan nilai *setting* yang didapatkan dalam perhitungan, guna untuk mengurangi kerusakan maupun gangguan yang terjadi dalam transformator daya.

Metode

Perancangan penelitian dan pembuatan laporan ini menggunakan beberapa metode, antara lain:

Studi literatur

Studi literatur merupakan langkah awal yang digunakan untuk mencari informasi atau referensi mengenai jurnal, artikel dan mempelajari buku-buku yang berhubungan dengan tema penelitian.

Pengambilan data

Pengumpulan data dilakukan di Gardu Induk 150kV Pati PT. PLN (Persero) Trans JBT APP Semarang dan PT. PLN (Persero) Rayon Pati meliputi data *single line diagram* gardu induk 150 kV Pati beserta data transformator 1 60 MVA 150/20 kV, penyulang, relai proteksi arus lebih dan gangguan tanah serta penyetelan proteksi dari relai tersebut.

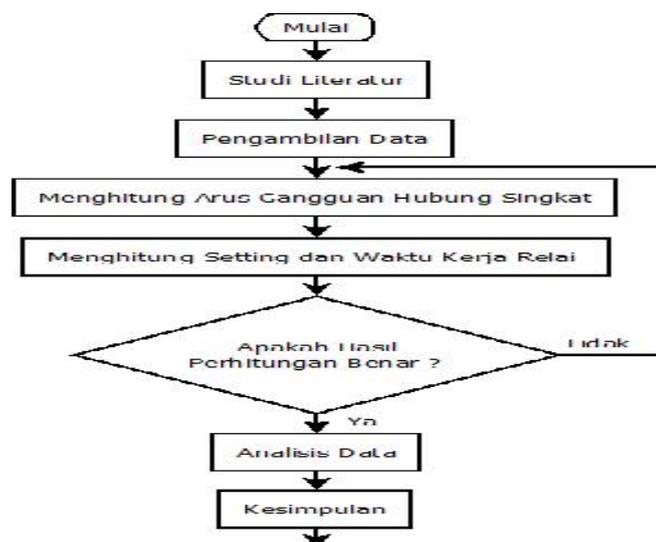
Perhitungan data

Perhitungan dilakukan dengan tujuan pengolahan data untuk mendapatkan nilai *setting* relai sesuai dengan kondisi di lapangan.

Analisa data

Analisa data adalah suatu proses pemahaman tentang sistem proteksi yang diteliti, dengan membandingkan data di lapangan dengan data hasil perhitungan apakah data yang didapat sesuai dengan parameter perhitungan atau belum, yang nantinya akan dianalisis dan diambil kesimpulan dari penelitian yang dilakukan.

Flowchart



Gambar 2. Flowchart penelitian

Hasil dan Pembahasan

Data-data yang diperlukan untuk menghitung arus gangguan hubung singkat adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Data Trafo 1 Pati

Data Trafo Tenaga	
Merk	UNINDO
Kapasitas daya	60 MVA
Tegangan	150/20 kV
Arus hubung singkat	10392
Impedansi	12,12 %
Rasio CT	300/1
Arus nominal	1732,1
Vektor grup	Ynyn0+d

Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

a. Menghitung V per unit

$$V_{(pu)} = \frac{\text{kV sebenarnya}}{\text{kV dasar}} = \frac{20\text{kV}}{20\text{kV}} = 1$$

$$I_{\text{dasar}} = \frac{\text{kVA}}{\sqrt{3} \cdot \text{kV}} = \frac{60000}{\sqrt{3} \cdot 20} = 1732,1$$

$$Z_{\text{dasar}} = \frac{\text{MVA}}{\frac{\text{kV}^2}{20^2}} = \frac{60}{60} = 6,67 \text{ ohm}$$

b. Menghitung Impedansi Sumber sisi 20kV

$$Z_{\text{sumber}} = \frac{\text{kV}^2}{\text{MVA}_{hs}} = \frac{20^2}{10392} = j0,038$$

$$Z_{pu} = j \frac{Z_{\text{sumber}}}{Z_{\text{dasar}}} = j \frac{0,038}{6,67} = j0,005$$

c. Menghitung reaktansi transformator

Besarnya reaktansi transformator 1 di gardu induk Pati adalah :

$$X_{(\text{pada } 100\%)} = \frac{\text{kV}^2}{\text{MVA}_{hs}} = \frac{20^2}{60} = 6,67 \text{ ohm}$$

Nilai reaktansi transformator tenaga :

Reaktansi urutan positif dan negatif ($X_{t1}=X_{t2}$)

$$X_{t1} = X_{t1}(\%) \times X_t(\text{ohm}) = 12,12\% \times 6,67 = 0,808 \text{ Ohm}$$

Reaktansi urutan nol (X_{t0})

Transformator daya mempunyai belitan Ynyn0+d yang mempunyai belitan delta, maka reaktansi urutan nol, sebagai berikut :

$$X_{t0} = 3 \times X_{t1} = 3 \times 0,808 = 2,424 \text{ Ohm}$$

d. Menghitung impedansi penyulang

Jenis penghantar berdasarkan data yang diperoleh, penyulang PTI 14 menggunakan penghantar AAAC 240mm² dengan panjang 7,2 km. Impedansi urutan positif (Z_1) = impedansi urutan negatif (Z_2)

$$Z_1 = Z_2 (\text{AAAC } 240) = (0,1344 + j0,3158) /\text{km} \times 7,2 = 0,967 + j2,273$$

$Z_1 = Z_2$ dalam pu

$$= \frac{0,967 + j2,273}{6,67} = 0,144 + j0,34$$

$$Z_0 (\text{AAAC } 240) = (0,2824 + j1,6034) /\text{km} \times 7,2 = 2,033 + j11,544$$

Z_0 dalam pu

$$= \frac{2,033 + j11,544}{6,67}$$

$$= 0,304 + j1,73$$

Tabel 2. Impedansi penyulang

Panjang Saluran (%)	Impedansi Penyulang $Z_1 = Z_2$	Impedansi Penyulang Z_0
0	0 pu	0 pu
25	0,036 + j0,085 pu	0,076 + j0,432 pu
50	0,072 + j0,17 pu	0,152 + j0,865 pu
75	0,108 + j0,255 pu	0,228 + j1,297 pu
100	0,144 + j0,34 pu	0,304 + j1,73 pu

e. Menghitung Impedansi Ekuivalen Jaringan

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{iS(20kV)} + Z_T + Z_{penyulang}$$

$$= j0,038 + j0,808 + Z_{penyulang}$$

$Z_{1eq} = Z_{2eq}$ dalam pu

$$= \frac{j0,038 + j0,808}{6,67}$$

$$= j0,126 + Z_{penyulang}$$

Z_{0eq}

$$= Z_{0T} + 3R_N + Z_{0penyulang}$$

$$= j2,424 + (3 \times 1) + Z_{0penyulang}$$

Z_{0eq} dalam pu

$$= \frac{j2,424 + 3}{6,67}$$

$$= 0,44 + j0,363 + Z_{0penyulang}$$

Tabel 3. Impedansi ekuivalen

Panjang Saluran (%)	Impedansi Ekuivalen $Z_{1eq} = Z_{2eq}$	Impedansi Ekuivalen Z_{0eq}
0	0 + j0,126 pu	0,44 + j0,363 pu
25	0,036 + j0,211 pu	0,516 + j0,795 pu
50	0,072 + j0,296 pu	0,592 + j1,228 pu
75	0,108 + j0,381 pu	0,668 + j1,66 pu
100	0,144 + j0,466 pu	0,744 + j2,093 pu

f. Menghitung arus gangguan hubung singkat

Menghitung impedansi ekuivalen sesuai dengan lokasi gangguan, selanjutnya adalah menghitung arus hubung singkat dengan rumus dasar yaitu

$$I = \frac{V}{Z}$$

Arus gangguan hubung singkat tiga fasa

$$I_{3ph} = \frac{V}{Z_1}$$

$$= \frac{1 + j0}{0 + j0,126}$$

$$= \frac{1 \angle 0}{0,126 \angle 90}$$

$$= 7,936 \angle -90$$

$$= 7,936 \angle -90 \times 1732,1$$

$$= 13745,94 \angle -90 \text{ A}$$

Arus gangguan hubung singkat dua fasa

$$I_{2ph} = \frac{V_{ph}}{Z_1 + Z_2}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\sqrt{3} \cdot (1+j0)}{2 \cdot (0 + j0,126)} \\
 &= \frac{1,73 \angle 0}{0,252 \angle 90} \\
 &= 6,865 \angle -90 \\
 &= 6,865 \angle -90 \times 1732,1 \\
 &= 11890,86 \angle -90 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

$$\begin{aligned}
 I_{3ph} &= \frac{3 \cdot V}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \\
 &= \frac{3 \cdot (1+j0)}{2 \times (0 + j0,126) + (0,44 + j0,363)} \\
 &= \frac{3 \angle 0}{0,756 \angle 54,41} \\
 &= 3,968 \angle -54,41 \\
 &= 3,968 \angle -54,41 \times 1732,1 \\
 &= 6872,97 \angle -54,41
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat diatas, dapat digunakan untuk melakukan penyetelan relai arus lebih (OCR) dan relai gangguan tanah (GFR). Maka dapat dibuat suatu perbandingan besarnya arus gangguan berdasarkan lokasi gangguan yang dinyatakan dalam % dengan menggunakan tabel berikut ini :

Tabel 4. Hasil Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

Panjang Saluran (%)	Hubung Singkat Tiga Fasa	Hubung Singkat Dua Fasa	Hubung Singkat Satu Fasa ke tanah
0	13745,94 \angle -90 A	11890,86 \angle -90 A	6872,97 \angle -54,41 A
25	8092,07 \angle -80,31 A	7001,24 \angle -80,31 A	3846,26 \angle -64,21 A
50	5685,89 \angle -76,32 A	4920,41 \angle -76,32 A	2647,12 \angle -67,98 A
75	4373,86 \angle -74,17 A	3783,50 \angle -74,17 A	2015,63 \angle -69,94 A
100	3551,26 \angle -72,82 A	3073,36 \angle -72,82 A	1625,87 \angle -71,16 A

Setting Relai Arus Lebih dan Relai Gangguan Tanah

Trafo arus yang terpasang pada penyulang PTI 14 mempunyai rasio 600/5 ampere, dengan arus beban maksimum sebesar 480 A. Relai arus lebih dan relai gangguan tanah yang digunakan adalah dengan karakteristik *standard inverse*.

a. *Setting* relai arus lebih penyulang 20kV

Relai *inverse* biasanya diset antara 1,05 sampai dengan 1,1 x Imaks. *Setting* relai juga perlu diperhatikan karena arus dan waktu kerja relai penyulang harus bekerja lebih cepat daripada relai *incoming*, lalu *incoming* harus bekerja lebih cepat dari sisi 150 kV. Waktu kerja relai arus lebih di penyulang diambil selama 0,3 detik dan relai di *incoming* lebih lama 0,4 detik.

$$\begin{aligned}
 I_{set \text{ (primer)}} &= 1,05 \times I \text{ beban} \\
 &= 1,05 \times 480 = 504 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{set \text{ (sekunder)}} &= I_{set \text{ (primer)}} \times \frac{1}{\text{ratioCT}} \\
 &= 504 \times \frac{1}{600} \\
 &= 4,2 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Setting TMS:

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{0,14 \text{ tms}}{\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} \\
 0,3 &= \frac{0,14 \text{ Tms}}{\left(\frac{13745,94}{504}\right)^{0,02} - 1} \\
 \text{Tms} &= 0,12
 \end{aligned}$$

b. *Setting* relai arus lebih pada *incoming* 20kV

Setelan arus nominal trafo 20kV :

$$\begin{aligned}
 I_{n(20kV)} &= \frac{MVA}{kV \sqrt{3}} \\
 &= \frac{60000}{20 \sqrt{3}} \\
 &= 1732,1 \\
 I_{set(primer)} &= 1,05 \times I_{beban} \\
 &= 1,05 \times 1732,1 = 1818,7 \text{ A} \\
 I_{set(sekunder)} &= I_{set(primer)} \times \frac{1}{\text{RatioCT}} \text{ A} \\
 &= 1818,7 \times \frac{1}{2000} \text{ A} \\
 &= 0,909 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Setting TMS:

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{0,14 \text{ Tms}}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} \\
 0,7 &= \frac{0,14 \text{ Tms}}{\left(\frac{13745,94}{1818,7}\right)^{0,02} - 1} \\
 \text{Tms} &= 0,2
 \end{aligned}$$

c. *Setting* relai gangguan tanah pada penyulang 20kV

Arus primer yang digunakan untuk setting arus gangguan tanah diambil dari arus gangguan hubung singkat 1 fase ke tanah yang terkecil, hal ini dilakukan untuk menampung tahanan busur. Sisi penyulang di *setting* 0,5 detik dan sisi incoming lebih lama 1 detik.

$$\begin{aligned}
 I_{set(primer)} &= 0,1 \times 1625,87 \\
 &= 162,587 \text{ A} \\
 I_{set(sekunder)} &= I_{set(primer)} \times \frac{1}{\text{RatioCT}} \\
 &= 162,587 \times \frac{1}{600} \\
 &= 1,35 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Setting TMS :

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{0,14 \times \text{Tms}}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} \\
 0,5 &= \frac{0,14 \times \text{Tms}}{\left(\frac{6872,97}{162,587}\right)^{0,02} - 1} \\
 &= 0,25
 \end{aligned}$$

d. *Setting* relai gangguan tanah pada *incoming* 20kV

Setting arus gangguan tanah di *incoming* 20 kV harus bekerja lebih sensitif, karena digunakan untuk cadangan bagi relai di sisi penyulang 20 kV, maka diatur 8% x nilai arus gangguan tanah yang paling terkecil.

$$\begin{aligned}
 I_{set(primer)} &= 0,08 \times 1625,87 \\
 &= 130,06 \text{ A} \\
 I_{set(sekunder)} &= I_{set(primer)} \times \frac{1}{\text{ratioCT}} \\
 &= 130,06 \times \frac{1}{2000} \\
 &= 0,32 \text{ Ampere}
 \end{aligned}$$

Setting TMS:

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{0,14 \times \text{Tms}}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} \\
 1 &= \frac{0,14 \times \text{Tms}}{\left(\frac{6872,97}{130,06}\right)^{0,02} - 1} \\
 \text{Tms} &= 0,57
 \end{aligned}$$

Waktu Pemeriksaan Kerja Relai

a. Pemeriksaan waktu kerja relai 3 fasa

Penyulang 20kv:

$$t = \frac{0,14 \times Tms}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}$$

$$= \frac{0,14 \times 0,12}{\left(\frac{13745,94}{504}\right)^{0,02} - 1}$$

$$= 0,24$$

Incoming 20kV:

$$t = \frac{0,14 \times 0,2}{\left(\frac{13745,94}{1818,7}\right)^{0,02} - 1}$$

$$= 0,68$$

Tabel 5. Waktu Kerja Relai Gangguan Tiga Fasa

Lokasi Gangguan	Waktu Kerja Relai Penyulang	Waktu Kerja Relai Incoming	Selisih Waktu
0%	0,24	0,68	0,44
25%	0,28	0,93	0,65
50%	0,34	1,21	0,87
75%	0,42	1,64	1,22
100%	0,56	2,15	1,59

b. Pemeriksaan waktu kerja relai 2 fasa

Penyulang 20kV:

$$t = \frac{0,14 \times 0,24}{\left(\frac{11890,86}{504}\right)^{0,02} - 1}$$

$$= 0,51$$

Incoming 20kV:

$$t = \frac{0,14 \times 0,2}{\left(\frac{11890,86}{1818,7}\right)^{0,02} - 1}$$

$$= 0,73$$

Tabel 6. Waktu Kerja Relai Gangguan Dua Fasa

Lokasi Gangguan	Waktu Kerja Relai Penyulang	Waktu Kerja Relai Incoming	Selisih Waktu
0%	0,51	0,73	0,22
25%	0,62	1,03	0,41
50%	0,73	1,40	0,67
75%	0,81	2	1,19
100%	0,93	2,8	1,87

c. Pemeriksaan waktu kerja relai 1 fasa ke tanah

Penyulang 20kv:

$$t = \frac{0,14 \times 0,25}{\left(\frac{6872,97}{162,587}\right)^{0,02} - 1}$$

$$= 0,45$$

Incoming 20kV:

$$t = \frac{0,14 \times 0,57}{\left(\frac{6872,97}{130,06}\right)^{0,02} - 1}$$

$$= 0,97$$

Tabel 7. Waktu Kerja Relai Gangguan Satu Fasa ke Tanah

Lokasi Gangguan	Waktu Kerja Relai Penyulang	Waktu Kerja Relai Incoming	Selisih Waktu
0%	0,45	0,97	0,52
25%	0,53	1,14	0,61
50%	0,61	1,26	0,65
75%	0,68	1,42	0,74
100%	0,74	1,56	0,82

Berdasarkan tabel diatas, bahwa waktu kerja relai di penyulang 20 kV jauh lebih cepat dibanding waktu kerja relai di incoming 20 kV. Selain itu, jarak penyulang juga berpengaruh terhadap besar kecilnya selisih waktu (*grading time*). Semakin jauh jarak lokasi, maka semakin besar selisih waktu kerja relai.

Hasil Perbandingan Perhitungan dengan Data di Lapangan

Tabel 8. Perbandingan Hasil Perhitungan dengan Data di Lapangan

No	Jenis Relai	Data Hasil Perhitungan	Data di Lapangan
1	OCR (<i>Incoming</i>)	TMS = 0,2 Ratio CT = 2000/5 A	TMS = 0,17 Ratio CT = 2000/5 A
2	OCR (Penyulang)	TMS = 0,12 Ratio CT = 600/5 A	TMS = 0,15 Ratio CT = 600/5 A
3	GFR (<i>Incoming</i>)	TMS = 0,37 Ratio CT = 2000/5 A	TMS = 0,43 Ratio CT = 2000/5 A
4	GFR (Penyulang)	TMS = 0,25 Ratio CT = 600/5 A	TMS = 0,3 Ratio CT = 600/5 A

Penutup

Berdasarkan hasil perhitungan *setting* analisa relai arus lebih dan relai gangguan tanah diatas, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Arus gangguan hubung singkat tertinggi yang didapat dalam perhitungan adalah pada gangguan 3 fasa sebesar 13745,94 \angle -90 A, gangguan 2 fasa sebesar 11890,86 \angle -90 A dan gangguan 1 fasa ke tanah sebesar 6872,97 \angle -54,41 A.
2. Penyetelan OCR pada sisi penyulang 20kV didapat nilai TMS = 0,12 dengan waktu kerja $t = 0,3s$, sedangkan *setting* relai pada sisi *incoming* 20 kV didapat nilai TMS = 0,2 dengan waktu kerja $t = 0,7s$.
3. Penyetelan relai GFR pada sisi penyulang 20 kV didapat nilai TMS sebesar 0,25 dengan waktu kerja $t = 0,5s$, dan nilai TMS pada sisi *incoming* 20 kV sebesar 0,37 dengan waktu kerja 1s.
4. Jarak lokasi gangguan juga mempengaruhi nilai arus gangguan hubung singkat, semakin jauh jarak lokasi gangguan maka semakin kecil arus gangguan hubung singkatnya.
5. Selisih waktu kerja relai di *incoming* lebih lama dari waktu kerja relai di penyulang disebut *grading time*, yang maksudnya adalah relai di penyulang harus bekerja lebih cepat dari relai *incoming*. Besar dan kecilnya nilai waktu relai dipengaruhi oleh jarak.
6. Hasil perhitungan dengan data yang ada di lapangan, kondisi relai masih dalam kondisi baik, karena nilai yang didapat dalam perhitungan tidak jauh berbeda dengan data yang ada dilapangan.

Daftar Pustaka

- A. Kamal, S. Sankar, and R. Soundarapandian. (2014), “*Optimal Over Current Relay Coordination of a Real Time Distribution System with Embedded Renewable Generation*”. India: Indian Journal of Science and Technology.
- A. Tjahjono, A. Priyadi, M.H. Alfa, K.F. Purnomo, M. Pujiantara. (2015), “*Optimum Coordination of Overcurrent Relays in Radial System with Distributed Generation Using Modified Firefly Algorithm*”.
- Badaruddin, Budi Wirawan. (2014), “*Setting Koordinasi Over Current Relay Pada Trafo 60 MVA 150/20 kV dan Penyulang 20 kV*”. Jakarta : Jurnal Sinergi. Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta.
- Badekar, P P., et al. (2009), “*Optimum Time Coordination of Overcurrent Reles in Distribution System Using Big-M (Penalty) Method*”. Visvesvaraya National Institue of Technology Nagpur (Maharashtra).
- Gonen, Turan. (1986), “*Electrical Power Distribution System Engineering*”. New York : McGraw-Hill Book Company.
- Sajad Samadinasab, Farhad Namdari, Nader Shojaei, Mohammad Bakhshipou. (2015), “*Optimal Coordination of Overcurrent and Distance Relays Using Hybrid Differential Evolutionary and Genetic algorithms (DE-GA)*”. Iran: International Electrical Engineering Journal (IEEJ)
- William D. Stevenson, JR., (1984), “*Analisis Sistem Tenaga Listrik*”, Edisi Ke Empat, Erlangga, Jakarta