

STUDI PENGATURAN RELAY ARUS LEBIH DAN RELAY HUBUNG TANAH PENYULANG TIMOR 4 PADA GARDU INDUK

STUDI KASUS : GARDU INDUK DAWUAN

Ali Akmal¹⁾, Ketut Abimanyu²⁾

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik^{1),2)}

Universitas Sangga Buana YPKP^{1),2)}

de.akmal_skdsf@yahoo.co.id¹⁾, ketut.abimanyu@gmail.com²⁾

ABSTRAK

Seiring dengan semakin meningkatnya konsumen energi listrik di Indonesia, penyaluran energi listrik kepada konsumen diharapkan dapat berjalan secara optimal. Sistem distribusi merupakan bagian dari penyaluran energi listrik, namun permasalahan yang sering dijumpai pada sistem distribusi yaitu gangguan arus hubung singkat.

Tujuan dari studi ini untuk mengetahui besarnya gangguan arus hubung singkat, baik pada 3 fasa, 2 fasa, maupun 1 fasa ke tanah. Perhitungan tersebut digunakan untuk menentukan pengaturan relay arus lebih dan relay hubung tanah. Kegiatan ini dilakukan pada penyulang timor 4 gardu induk Dawuan, Karawang.

Hasil Perhitungan didapatkan bahwa besarnya arus gangguan pada jarak 0% dari penyulang untuk 3 fasa sebesar 11593,379 A, untuk 2 fasa 10040,160 A, dan untuk 1 fasa ke tanah sebesar 288,456 A. Perhitungan untuk pengaturan relay proteksi hampir sesuai dengan data di lapangan, hal tersebut menunjukkan bahwa relay proteksi pada penyulang Timor 4 di gardu induk Dawuan masih baik dan belum perlu diatur ulang.

Kata kunci : *Relay Arus Lebih, Relay Hubung Tanah, Pengaturan Relay.*

I. PENDAHULUAN

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik (subsistem) yang berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik sampai ke konsumen, sistem distribusi dapat mengalami berbagai macam permasalahan sehingga mengakibatkan terputusnya penyaluran energi listrik kepada konsumen. Permasalahan yang sering dijumpai pada sistem distribusi yaitu gangguan arus hubung singkat.

Gangguan arus hubung singkat yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik, yaitu gangguan hubung singkat tiga fasa, gangguan hubung singkat dua fasa, dan gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah. Gangguan tersebut dapat bersifat temporer maupun permanen.

Besarnya arus gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi dalam suatu sistem distribusi tenaga listrik perlu diketahui sebagai dasar pengaturan relay proteksi yang digunakan untuk melindungi sistem distribusi.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Proteksi

Proteksi terhadap tenaga listrik adalah sistem pengamanan yang dilakukan terhadap peralatan-peralatan listrik yang terpasang pada sistem tenaga listrik tersebut.

Proteksi pada sistem tenaga listrik pada dasarnya terdiri atas pemutus tenaga (PMT) atau *circuit breaker* (CB) yang bekerja memutus rangkaian jika terjadi gangguan. Peralatan utama yang dipergunakan untuk mendeteksi dan memerintahkan peralatan proteksi bekerja adalah relay pengamanan.

2.2 Pengertian Relay Pengaman

Relay pengamanan merupakan suatu alat baik elektronik maupun magnetik yang dirancang untuk merasakan dan mendeteksi suatu kondisi ketidaknormalan pada sistem tenaga listrik. Jika terjadi gangguan maka relay secara otomatis akan memberikan sinyal perintah untuk membuka pemutus tenaga (PMT) agar bagian yang terganggu dapat dipisahkan dari sistem.

2.3 Relay Arus Lebih

2.3.1 Pengertian Relay Arus Lebih

Relay arus lebih dikenal dengan OCR (*Over Current Relay*) merupakan peralatan yang mensinyalir atau merasakan adanya gangguan arus lebih, baik yang disebabkan oleh adanya gangguan hubung singkat maupun beban lebih yang berada dalam wilayah proteksinya.

2.3.2 Pengaturan Relay Arus Lebih

Pengaturan arus pada relay arus lebih dilakukan berdasarkan arus nominal transformator tenaga dan arus beban yang mengalir di penyulang pada sisi primer maupun sisi sekunder. Pengaturan arus pada relay arus lebih menggunakan rumus sebagai berikut:

$$= 1,05 \times I_{\text{beban}} \dots \dots \dots \frac{I_{\text{set}} (\text{primer})}{I_{\text{set}} (\text{sekunder})} \dots \dots \dots (1)$$

$$= I_{\text{set}} (\text{primer}) \times \frac{1}{\text{Rasio CT}} \dots \dots \dots (2)$$

Pengaturan arus pada relay arus lebih digunakan untuk menentukan nilai setelan waktu atau *time multiplier setting* (TMS). Rumus untuk menentukan nilai setelan waktu sebagai berikut:

$$t = \text{TMS} \times \frac{0,14}{\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} \dots \dots \dots (3)$$

2.4 Relay Hubung Tanah

2.4.1 Pengertian Relay Hubung Tanah

Relay hubung tanah dikenal dengan GFR (*Ground Fault Relay*) pada dasarnya mempunyai prinsip kerja sama seperti relay arus lebih namun memiliki perbedaan dalam pengaplikasiannya. Bila relay arus lebih mendeteksi adanya hubungan singkat antar fasa, maka relay hubung tanah mendeteksi adanya hubung singkat ke tanah. Di bawah ini merupakan gambar rangkaian pengawatan relay hubung tanah.

2.4.2 Pengaturan Relay Hubung Tanah

Pengaturan arus pada relay hubung tanah dipilih sekitar 10% dari nilai arus gangguan tanah terkecil (arus gangguan pada 100% panjang penyulang). Hal tersebut dilakukan untuk mengantisipasi penghantar fasa bersentuhan dengan benda lain yang menimbulkan tahanan tinggi sehingga

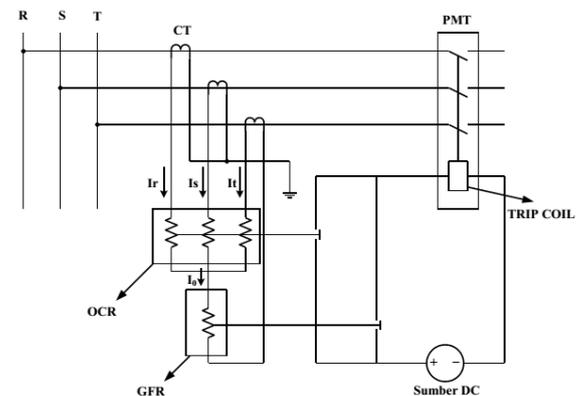
menyebabkan arus gangguan hubung singkat menjadi kecil.

Pengaturan arus untuk relay hubung tanah pada sisi primer maupun pada sisi sekunder arus gangguan terkecil, yaitu:

$$= 0,1 \times I_f 100\% \text{ panjang penyulang} \dots \dots \dots \frac{I_{\text{set}} (\text{primer})}{I_{\text{set}} (\text{sekunder})} \dots \dots \dots (4)$$

$$= I_{\text{set}} (\text{primer}) \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \dots \dots \dots (5)$$

Pengaturan arus pada relay arus hubung tanah digunakan untuk menentukan nilai setelan waktu atau *time multiplier setting* (TMS). Tipe relay hubung tanah yang digunakan biasanya sama dengan tipe relay arus hubung singkat sehingga perhitungan pengaturan waktu menggunakan rumus yang sama dengan relay arus lebih.



Gambar 1. Rangkaian Pengawatan OCR dan GFR

2.5 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat dapat didefinisikan sebagai gangguan yang terjadi akibat adanya penurunan kekuatan dasar isolasi (*basic insulation strength*) antara kawat fasa dengan kawat fasa atau antara kawat fasa dengan tanah yang menyebabkan kenaikan arus secara berlebihan atau biasa juga disebut gangguan arus lebih.

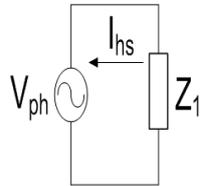
Rumus dasar yang digunakan untuk menghitung besarnya arus gangguan hubung singkat, yaitu:

$$I = \frac{V}{Z} \dots \dots \dots (6)$$

2.5.1 Perhitungan Arus Hubung Singkat

2.5.1.1 Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Rangkain gangguan hubung singkat tiga fasa dapat disederhanakan seperti gambar berikut.



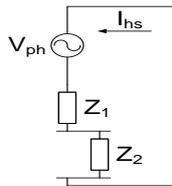
Gambar 2. Hubungan Jala-Jala Urutan Untuk Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Berdasarkan persamaan (6) maka besarnya arus gangguan hubung singkat tiga fasa, yaitu:

$$I_{3\text{fasa}} = \frac{V_{f-n}}{Z_{1\text{eq}}} \dots \dots \dots (7)$$

2.5.1.2 Arus Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

Rangkain gangguan hubung singkat tiga fasa dapat disederhanakan seperti gambar berikut.



Gambar 3. Hubungan Jala-Jala Urutan Untuk Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

Berdasarkan persamaan (6) maka besarnya arus gangguan hubung singkat dua fasa, yaitu:

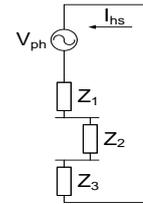
$$I_{2\text{fasa}} = \frac{V_{f-f}}{Z_{1\text{eq}} + Z_{2\text{eq}}} \dots \dots \dots (8)$$

Karena $Z_1 = Z_2$, maka

$$I_{2\text{fasa}} = \frac{V_{f-f}}{2Z_{1\text{eq}}} \dots \dots \dots (9)$$

2.5.1.3 Arus Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa

Rangkain gangguan hubung singkat tiga fasa dapat disederhanakan seperti gambar berikut.



Gambar 4. Hubungan Jala-Jala Urutan Untuk Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah

Berdasarkan persamaan (6) maka besarnya arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, yaitu:

$$I_{1\text{fasa}} = \frac{3V_{f-n}}{Z_{0\text{eq}} + Z_{1\text{eq}} + Z_{2\text{eq}}} \dots \dots \dots (10)$$

2.5.2 Perhitungan Impedansi

2.5.2.1 Impedansi Sumber

Untuk dapat mengetahui besarnya gangguan hubung singkat di titik tertentu pada penyulang, maka diperlukan besarnya impedansi pada penyulang. Besarnya impedansi penyulang tergantung pada impedansi transformator dan besarnya impedansi transformator tergantung pada impedansi sumber.

$$X_{S(\text{sisi } 150 \text{ kV})} = \frac{kV^2_{(\text{sisi primer})}}{\text{MVA}_{(\text{bus sisi primer})}} [\Omega] \dots \dots \dots (11)$$

$$X_{S(\text{sisi } 20 \text{ kV})} = \frac{kV^2_{(\text{sekunder})}}{kV^2_{(\text{primer})}} \times X_{S(\text{primer})} [\Omega] \dots \dots \dots (12)$$

2.5.2.2 Impedansi Transformator

Impedansi pada transformator ditulis dengan menggunakan persentase, hal tersebut menyatakan penurunan tegangan sebuah transformator ketika beban penuh akibat tahanan belitan transformator.

Besar nilai ohm pada sisi sekunder transformator menggunakan rumus:

$$X_{t(\text{pada } 100\%)} = \frac{kV^2_{(\text{sisi sekunder})}}{\text{MVA}} [\Omega] \dots \dots \dots (13)$$

Setelah mendapatkan impedansi transformator maka kita bisa mendapatkan reaktansi urutan positif, reaktansi urutan negatif, reaktansi urutan nol. Untuk reaktansi urutan positif dan reaktansi urutan negatif didapatkan melalui persamaan:

$$X_{t1} = \% \text{ Reaktansi} \times X_{t(100\%)} [\Omega] \dots \dots \dots (14)$$

Pada transformator dengan hubungan belitan Yyd atau terdapat belitan delta di dalamnya, kapasitas belitan delta biasanya sepertiga dari kapasitas belitan bintang (belitan yang dipakai untuk menyalurkan daya). Maka besarnya reaktansi urutan nol menggunakan rumus:

$$X_{t0} = 3 \times X_{t1} [\Omega] \dots \dots \dots (15)$$

3.5.2.3 Impedansi Penyulang

Untuk perhitungan impedansi penyulang, perhitungannya tergantung dari besarnya impedansi per km dari penyulang yang akan dihitung, dimana besar nilainya tergantung pada jenis penghantar, besar kecilnya penampang, dan panjang penghantarnya.

Impedansi penyulang untuk urutan positif dan negatif pada titik lokasi tertentu menggunakan rumus:

$$Z_1 = Z_1 \times \text{panjang penyulang titik tertentu} [\Omega] \dots \dots \dots (16)$$

Sedangkan impedansi penyulang untuk urutan nol pada titik lokasi tertentu menggunakan rumus:

$$Z_0 = Z_0 \times \text{panjang penyulang titik tertentu} [\Omega] \dots \dots \dots (17)$$

3.5.2.4 Impedansi Ekuivalen Jaringan

Perhitungan impedansi ekuivalen jaringan menggunakan impedansi positif, negatif, dan nol. Impedansi tersebut tersambung seri sehingga perhitungan merupakan penjumlahan dari impedansi-impedansi tersebut.

Impedansi ekuivalen jaringan untuk urutan positif dan negatif dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut.

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{s1} + Z_{t1} + Z_1 \dots \dots \dots (18)$$

Sedangkan impedansi ekuivalen jaringan untuk urutan nol dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Z_{0eq} = Z_{t0} + Z_0 + 3RN \dots \dots \dots (19)$$

III. DATA TEKNIS

3.1 Data Transformator

Transformator pada gardu induk Dawuan terdapat tiga buah, karena penyulang Timor 4 disuplai dari transformator 1 maka data yang diambil hanya transformator 1. Berikut merupakan data lengkap transformator.

Tabel 1. Data Transformator

No.	Nama Data	Isi Data
1.	Merk	ABB
2.	Daya	60 MVA
3.	Impedansi (Z%)	13,39 %
4.	Tegangan	150/20 KV
5.	Rasio Transformator CT	2000/5
6.	Hubungan Belitan	YNyn0 (d)
7.	Tahanan Pentanahan	40 ohm

3.2 Data Penyulang

Penyulang Timor 4 menggunakan kabel AL240 dan A3C150 seperti terlihat pada tabel berikut.

Tabel 2. Data Kabel Penyulang Timor 4

No.	Jenis Penghantar	Panjang (km)	Impedansi Urutan Positif (Ω)	Impedansi Urutan Nol (Ω)
1.	AL240	2,4	0,275 + j 0,029	0,125 + j 0,097
2.	A3C150	8,35	0,363 + j 1,618	0,216 + j ,331

3.2.1 Data OCR dan GFR Sisi Incoming

Berikut merupakan data relay arus lebih dan relay hubung tanah sisi incoming.

Tabel 3. Data OCR dan GFR Sisi Incoming

No.	Nama Data	Isi Data
1.	Merk	SEL
2.	Tipe	551 C
3.	No. Seri	2007092327
4.	Karakteristik	Normal <i>Inverse</i>
5.	Rasio CT	2000/5 A
6.	TMS OCR	0,25 detik

7.	TMS GFR	0,28 detik
----	---------	------------

3.2.2 Data OCR dan GFR Sisi Penyulang

Berikut merupakan data relay arus lebih dan relay hubung tanah sisi penyulang.

Tabel 4. Data OCR dan GFR Sisi Penyulang

No.	Nama Data	Isi Data
1.	Merk	MICOM
2.	Tipe	P123
3.	No. Seri	31506640
4.	Karakteristik	Normal <i>Inverse</i>
5.	Rasio CT	2000/5 A
6.	TMS OCR	0,2 detik
7.	TMS GFR	0,1 detik

IV. PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Impedansi Sumber

Data arus hubung singkat maksimum untuk tiga fasa pada bus sisi primer (150 kV) di gardu induk Dawuan sebesar 14,938 kA, sehingga Level hubung pendeknya sebesar 3.881,006 MVA. Besarnya nilai impedansi sumber berdasarkan rumus 11 dan 12, yaitu:

$$X_{s(sisi\ 150\ kV)} = \frac{kV^2}{MVA} = \frac{150^2}{3.881,006} = 5,797\ \Omega$$

$$X_{s(sisi\ 20\ kV)} = \frac{(20)^2}{(150)^2} \times 5,797 = 0,103\ \Omega$$

4.2 Perhitungan Reaktansi Transformator

Persen impedansi transformator 1 di gardu induk Dawuan sebesar 13,39%. Besarnya nilai reaktansi urutan positif, negatif, dan reaktansi urutan nol dalam ohm dapat diketahui setelah terlebih dahulu melakukan perhitungan berdasarkan rumus 13, yaitu:

$$X_{t(pada\ 100\%)} = \frac{kV^2(sisi\ 20\ kV)}{MVA} = \frac{(20)^2}{60} = 6,667\ \Omega$$

Sehingga besarnya nilai reaktansi urutan positif dan negatif berdasarkan rumus 14 dan 15, yaitu:

$$X_{t1} = 13,39\ \% \times 6,667 = 0,893\ \Omega$$

$$X_{t0} = 3 \times 0,893 = 2,679\ \Omega$$

4.3 Perhitungan Impedansi Penyulang

Impedansi penyulang diasumsikan terjadi pada lokasi gangguan dengan jarak 0 km, 2,65 km, 5,39 km, 8,09 km, dan 10,75 km atau pada titik 0%, 24,63%, 50,15%, 75,32%, dan 100% dari panjang penyulang.

Berdasarkan tabel 2 serta rumus 16 dan 17, maka didapat impedansi penyulang sebagai berikut.

Tabel 5. Impedansi Penyulang

No	Panjang Penyulang (%)	Jarak (Km)	Impedansi Urutan Positif (Ω)	Impedansi Urutan Nol (Ω)
1	0	0	0	0
2	24,63	2,65	0,354 + j 0,316	0,751 + j 0,475
3	50,15	5,39	0,946 + j 1,223	1,745 + j 4,908
4	75,32	8,09	1,529 + j 2,116	2,725 + j 9,276
5	100	10,75	2,104 + j 2,997	3,691 + j 13,580

4.4 Perhitungan Impedansi Ekuivalen Jaringan

Perhitungan Z_{1eq} (urutan positif) dan Z_{2eq} (urutan negatif) berdasarkan rumus 18, yaitu:

$$Z_{1eq} = Z_{s(sisi\ 20kV)} + Z_{t1} + Z_{penyulang}$$

$$Z_{1eq} = j\ 0,103 + j\ 0,893 + Z_{penyulang}$$

$$Z_{1eq} = j\ 0,996 + Z_{penyulang}$$

Perhitungan Z_{0eq} (urutan nol) berdasarkan rumus 19, yaitu:

$$Z_{0eq} = Z_{(t0)} + 3R_N + Z_0\ (penyulang)$$

$$Z_{0eq} = j\ 2,679 + (3 \times 40) + Z_0\ (penyulang)$$

$$Z_{0eq} = 120 + j\ 2,679 + Z_0\ (penyulang)$$

Tabel 6. Impedansi Ekuivalen Jaringan Urutan Positif Dan Negatif

No.	Panjang Penyulang (%)	Jarak (Km)	Impedansi Urutan Positif dan Negatif (Ω)
1	0	0	j 0,996

2	24,63	2,65	0,354 + j 1,312
3	50,15	5,39	0,946 + j 2,219
4	75,32	8,09	1,529 + j 3,112
5	100	10,75	2,104 + j 3,993

Tabel 7. Impedansi Ekuivalen Jaringan Urutan Nol

No.	Panjang Penyulang (%)	Jarak (Km)	Impedansi Nol (Ω)
1	0	0	120 + j 2,679
2	24,63	2,65	120,751 + j 3,154
3	50,15	5,39	121,745 + j 7,587
4	75,32	8,09	122,725 + j 11,955
5	100	10,75	123,691 + j 16,259

4.5 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

Perhitungan arus gangguan hubung singkat tiga fasa dihitung berdasarkan rumus 8, yaitu:

$$I_{3fasa} = \frac{V_f}{Z_{1eq}} = \frac{20000}{\sqrt{3} Z_{1eq}} = \frac{11547,005}{Z_{1eq}}$$

Tabel 8. Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat Tiga Fasa

No.	Panjang Penyulang (%)	Jarak (Km)	Arus Hubung Singkat (A)
1	0	0	11593,379
2	24,63	2,65	8496,692
3	50,15	5,39	4787,316
4	75,32	8,09	3330,547
5	100	10,75	2558,610

Perhitungan arus gangguan hubung singkat dua fasa dihitung berdasarkan rumus 9, yaitu:

$$I_{2fasa} = \frac{V_f}{Z_{1eq} + Z_{2eq}} = \frac{20000}{2(Z_{1eq})}$$

Tabel 9. Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat Dua Fasa

No.	Panjang Penyulang (%)	Jarak (Km)	Arus Hubung Singkat (A)
1	0	0	11593,379
2	24,63	2,65	8496,692
3	50,15	5,39	4787,316
4	75,32	8,09	3330,547
5	100	10,75	2558,610

1	0	0	10040,16
2	24,63	2,65	7358,352
3	50,15	5,39	4145,937
4	75,32	8,09	2883,922
5	100	10,75	2215,575

Perhitungan arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dihitung berdasarkan rumus 10, yaitu:

$$I_{1fasa} = \frac{3 \times \frac{V_f}{\sqrt{3}}}{Z_{0eq} + Z_{1eq} + Z_{2eq}} = \frac{34641,015}{Z_{0eq} + 2(Z_{1eq})}$$

Tabel 10. Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat Satu Fasa

No.	Panjang Penyulang (%)	Jarak (Km)	Arus Hubung Singkat (A)
1	0	0	288,456
2	24,63	2,65	284,886
3	50,15	5,39	278,868
4	75,32	8,09	272,571
5	100	10,75	266,107

4.6 Pengaturan Arus Pada Relay Arus Lebih

4.6.1 Pengaturan Arus Pada Relay Arus Lebih Sisi Penyulang

Arus beban pada penyulang timor 4 sebesar 390 A, maka pengaturan arus berdasarkan rumus 1, yaitu:

$$I_{set} (primer) = 1,05 \times I_{set} (beban)$$

$$I_{set} (primer) = 1,05 \times 390 = 409,5 \text{ A}$$

Besarnya arus pada sisi sekundernya berdasarkan rumus 2, yaitu:

$$I_{set} (sekunder) = I_{set} (primer) \times \frac{1}{\text{Rasio CT}}$$

$$I_{set} (sekunder) = 409,5 \times \frac{5}{600} = 3,413 \text{ A}$$

4.6.2 Pengaturan TMS Relay Arus Lebih Sisi Penyulang

Arus gangguan yang dipilih untuk mengetahui besarnya nilai TMS relay arus lebih pada sisi penyulang yaitu arus gangguan hubung singkat tiga fasa di 0% panjang penyulang.

Waktu kerja paling hilir yang ditetapkan tidak kurang dari 0,3 detik. Namun

relay arus lebih sisi penyulang ini, waktu operasi yang diinginkan sebesar 0,4 detik.

Pengaturan TMS berdasarkan rumus 3, yaitu:

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

$$0,4 = \frac{0,14 \text{ TMS}}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}$$

$$\text{TMS} = \frac{0,4 \times \left(\left(\frac{11593,379}{409,5}\right)^{0,02} - 1\right)}{0,14}$$

$$\text{TMS} = 0,198 \text{ detik}$$

4.6.3 Pengaturan Arus Pada Relay Arus Lebih Pada Sisi Incoming

Penentuan setelan relay arus lebih pada sisi *incoming* sama halnya dengan di penyulang, yaitu harus diketahui terlebih dahulu nilai arus nominal transformator tenaga tersebut.

Berdasarkan data yang diperoleh pada tabel 1, maka arus nominal transformer pada sisi 20 kV yaitu:

$$I_n (\text{sisi } 20\text{kV}) = \frac{\text{kVA}}{\text{kV}\sqrt{3}}$$

$$I_n (\text{sisi } 20\text{kV}) = \frac{60000}{20\sqrt{3}} = 1732,051 \text{ A}$$

Arus beban sisi *incoming* sebesar 1732,051 A, maka pengaturan arus berdasarkan rumus 1, yaitu:

$$I_{set} (\text{primer}) = I_{beban} \times 1,05$$

$$I_{set} (\text{primer}) = 1732,051 \times 1,05$$

$$I_{set} (\text{primer}) = 1818,654 \text{ A}$$

Besarnya arus pada sisi sekundernya, yaitu:

$$I_{set} (\text{sekunder}) = I_{set} (\text{primer}) \times \frac{1}{\text{Rasio CT}}$$

$$I_{set} (\text{sekunder}) = 1818,654 \times \frac{1}{2000}$$

$$I_{set} (\text{sekunder}) = 4,547 \text{ A}$$

4.6.4 Pengaturan TMS Relay Arus Lebih Sisi Incoming

Arus gangguan yang dipilih untuk mengetahui besarnya nilai TMS relay arus lebih sisi *incoming* yaitu arus gangguan

hubung singkat tiga fasa di 0% panjang penyulang.

Jika waktu kerja relay sisi *incoming* didapat dengan cara waktu kerja relay di sisi hilir ditambah 0,4 detik, maka *t incoming* menjadi 0,7 detik (0,3 detik + 0,4 detik). Namun relay arus lebih sisi *incoming* ini, waktu operasi yang diinginkan sebesar 0,9 detik (0,4 detik + 0,5 detik).

Pengaturan TMS berdasarkan rumus 3, yaitu:

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

$$0,9 = \frac{0,14 \text{ TMS}}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}$$

$$\text{TMS} = \frac{0,9 \times \left(\left(\frac{11593,379}{1818,654}\right)^{0,02} - 1\right)}{0,14}$$

$$\text{TMS} = 0,243 \text{ detik}$$

4.7 Pengaturan Relay Hubung Tanah

4.7.1 Pengaturan Arus Relay Hubung Tanah Sisi Penyulang

Pengaturan arus relay hubung tanah menggunakan pedoman bahwa pengaturan arus gangguan tanah sisi penyulang ditetapkan 10% dari arus gangguan tanah terkecil pada penyulang tersebut. Maka pengaturan arus berdasarkan rumus 3, yaitu:

$$I_{set} (\text{primer}) = 10\% \times I_f 100\% \text{ pada panjang penyulang}$$

$$I_{set} (\text{primer}) = 0,1 \times 266,107$$

$$I_{set} (\text{primer}) = 26,611 \text{ A}$$

Besarnya arus pada sisi sekundernya, yaitu:

$$I_{set} (\text{sekunder}) = I_{set} (\text{primer}) \times \frac{1}{\text{Rasio CT}}$$

$$I_{set} (\text{sekunder}) = 26,611 \times \frac{1}{600} = 0,222 \text{ A}$$

4.7.2 Pengaturan TMS Relay Hubung Tanah Sisi Penyulang

Arus gangguan yang dipilih untuk menentukan besarnya nilai TMS yaitu arus gangguan hubung singkat satu fasa di 0% panjang penyulang.

Sama seperti relay arus lebih, waktu kerja paling hilir yang ditetapkan tidak kurang dari 0,3 detik. Sehingga didapat:

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

$$0,3 = \frac{0,14 \text{ TMS}}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}$$

$$TMS = \frac{0,3 \times \left(\left(\frac{288,456}{26,611}\right)^{0,02} - 1\right)}{0,14}$$

TMS = 0,105 detik

4.7.3 Pengaturan Arus Relay Hubung Tanah Sisi Incoming

Pengaturan arus relay hubung tanah sisi *incoming* harus lebih sensitif, hal ini berfungsi sebagai cadangan bagi relay di sisi penyulang. Sehingga pengaturan arus ditetapkan sebesar 8% dari arus gangguan tanah terkecil.

I_{set} (primer)
= 8% x I_f 100% pada panjang penyulang
 I_{set} (primer) = 0,08 x 266,107
 I_{set} (primer) = 21,289 A

Besarnya arus pada sisi sekundernya adalah:

I_{set} (sekunder) = I_{set} (primer) x $\frac{1}{\text{Rasio CT}}$
 I_{set} (sekunder) = 21,289 x $\frac{5}{600}$ = 0,177 A

4.7.4 Pengaturan TMS Relay Hubung Tanah Sisi Incoming

Arus gangguan yang dipilih untuk menentukan besarnya nilai TMS yaitu arus gangguan hubung singkat satu fasa di 0% panjang penyulang.

Waktu kerja *incoming* ditambah 0,4 detik, sehingga t *incoming* menjadi 0,7 detik (0,3 detik + 0,4 detik). Maka besarnya nilai TMS sebagai berikut.

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

$$0,7 = \frac{0,14 \text{ TMS}}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}$$

$$TMS = \frac{0,7 \times \left(\left(\frac{288,456}{21,289}\right)^{0,02} - 1\right)}{0,14}$$

TMS = 0,268 detik

4.8 Pemeriksaan Waktu Kerja Relay

Pemeriksaan waktu kerja relay dimaksudkan untuk mengetahui waktu kerja relay terhadap besarnya arus gangguan di tiap titik gangguan yang diasumsikan terjadi pada 0%, 24,63%, 50,15%, 75,32%, 100% dari panjang penyulang.

Untuk memudahkan dalam melihat secara keseluruhan waktu kerja relay arus lebih dan relay gangguan tanah pada sisi penyulang maupun sisi *incoming* di berbagai lokasi gangguan baik pada gangguan tiga fasa, dua fasa, maupun satu fasa ke tanah, maka hasil pemeriksaan waktu kerja relay dibuat tabel seperti berikut.

Tabel 11. Pemeriksaan Waktu Kerja Relay Gangguan Tiga Fasa

Panjang Penyulang (%)	Waktu Kerja Relay Incoming (Detik)	Waktu Kerja Relay Penyulang (Detik)	Selisih Waktu (Detik)
0	0,901	0,401	0,500
24,63	1,086	0,443	0,643
50,15	1,741	0,550	1,191
75,32	2,794	0,648	2,147
100	4,966	0,743	4,223

Tabel 12. Pemeriksaan Waktu kerja Relay Gangguan Dua Fasa

Panjang Penyulang (%)	Waktu Kerja Relay Incoming (Detik)	Waktu Kerja Relay Penyulang (Detik)	Selisih Waktu (Detik)
0	0,979	0,419	0,560
24,63	1,200	0,466	0,734
50,15	2,047	0,585	1,462
75,32	3,672	0,696	2,976
100	8,599	0,807	7,792

Tabel 13. Pemeriksaan Waktu Kerja Relay Gangguan Satu Fasa

Panjang Penyulang (%)	Waktu Kerja Relay Incoming (Detik)	Waktu Kerja Relay Penyulang (Detik)	Selisih Waktu (Detik)
0	0,701	0,301	0,400
24,63	0,705	0,303	0,402
50,15	0,711	0,306	0,405
75,32	0,717	0,309	0,409
100	0,724	0,312	0,412

4.9 Perbandingan Hasil Perhitungan Dengan Data di Lapangan

Untuk memudahkan dalam melihat perbandingan perhitungan arus gangguan dengan data di lapangan maka perbandingan arus gangguan dibuat tabel seperti berikut.

Tabel 14. Perbandingan Arus Gangguan Tiga Fasa

Panjang Penyulang (%)	Data di Lapangan	Data Perhitungan	Galat (%)
0	11596,51 A	11593,379 A	0,027
24,63	8509,27 A	8496,692 A	0,148
50,15	4791,67 A	4787,316 A	0,091
75,32	3330,74 A	3330,547 A	0,006
100	2561,34 A	2558,610 A	0,107

Tabel 15. Perbandingan Arus Gangguan Dua Fasa

Panjang Penyulang (%)	Data di Lapangan	Data Perhitungan	Galat (%)
0	10042,87 A	10040,160 A	0,027
24,63	7369,25 A	7358,352 A	0,148
50,15	4149,70 A	4145,937 A	0,091

75,32	2884,51 A	2883,922 A	0,020
100	2218,19 A	2215,575 A	0,118

Tabel 16. Perbandingan Arus Gangguan Satu Fasa

Panjang Penyulang (%)	Data di Lapangan (A)	Data Perhitungan (A)	Galat (%)
0	288,46 A	288,456 A	0,001
24,63	284,89 A	284,886 A	0,001
50,15	278,87 A	278,868 A	0,001
75,32	272,56 A	272,571 A	0,004
100	266,11 A	266,107 A	0,001

Untuk memudahkan dalam melihat perbandingan perhitungan TMS relay arus lebih dan relay hubung tanah maka perbandingan TMS dibuat tabel seperti berikut.

Tabel 17. Perbandingan Relay Arus Lebih

No.	Kriteria	Data di Lapangan	Data Perhitungan
1.	TMS OCR sisi penyulang	0,2 detik	0,198 detik
2.	Rasio OCR sisi penyulang	600/5 A	600/5 A
3.	TMS OCR sisi incoming	0,25 detik	0,243 detik
4.	Rasio OCR sisi incoming	2000/5 A	2000/5 A

Tabel 18. Perbandingan Relay Hubung Tanah

No.	Kriteria	Data di Lapangan	Data Perhitungan
1.	TMS GFR sisi penyulang	0,1 detik	0,105 detik
2.	Rasio GFR sisi	600/5 A	600/5 A

	penyulang		
3.	TMS GFR sisi <i>incoming</i>	0,28 detik	0,268 detik
4.	Rasio GFR sisi <i>incoming</i>	2000/5 A	2000/5 A

Berdasarkan seluruh tabel perbandingan dapat terlihat bahwa hasil perhitungan dengan data yang ada di lapangan masih dalam kondisi yang sesuai (perbedaannya tidak terlalu jauh), sehingga dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan pengaturan relay arus lebih dan relay gangguan tanah yang terpasang di lapangan masih beroperasi secara normal dan belum memerlukan pengaturan ulang.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat dikemukakan, yaitu:

1. Besarnya arus gangguan hubung singkat di pengaruhi oleh jarak lokasi gangguan, semakin jauh jarak lokasi gangguan maka semakin kecil arus gangguan hubung singkatnya.
2. Hasil perhitungan untuk pengaturan OCR dan GFR hampir sesuai dengan data di lapangan. Hal tersebut menunjukkan bahwa relay yang terpasang pada penyulang Timor 4 di gardu induk Dawuan masih beroperasi secara normal dan belum memerlukan pengaturan ulang.
3. Selisih waktu kerja relay memperlihatkan bahwa semakin jauh jarak terjadinya gangguan maka waktu kerja relay semakin besar. Hal itu membuktikan bahwa jarak mempengaruhi waktu kerja relay.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan, yaitu:

1. Kebutuhan listrik yang meningkat setiap tahun memungkinkan terjadinya penambahan beban maupun penambahan panjang penyulang, diharapkan segera melakukan penyesuaian terhadap relay arus lebih dan relay hubung tanah berdasarkan beban maksimum dan impedansi jaringan.

2. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan membuat simulasi terlebih dahulu menggunakan software komputer untuk memastikan tingkat keakuratan nilai TMS dan waktu pengoperasian relay.
3. Penelitian ini dapat pula dijadikan referensi untuk dikembangkan menjadi analisis pada gardu induk yang ada di seluruh Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Affandi, Irfan. (2009). *Analisa Setting Relai Arus Lebih Dan Relai Gangguan Tanah Pada Penyulang Sadewa Di Gi Cawang*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- [2] Marta Yudha, Hendra. (2008). *Proteksi Rele: Prinsip dan Aplikasi*. 28 Oktober 2016 16:00. Palembang: Universitas Sriwijaya.
eprints.unsri.ac.id/317/1/desaian-buku-proteksi_2008i.pdf
- [3] Pranayuda, Fajar, Achmad Solichan, dan M. Toni Prasetyo. (2012). *Analisis Penyetelan Proteksi Arus Lebih Penyulang Cimalaka Di Gardu Induk 70 KV Sumedang*. Semarang: Jurnal Media ElektriKa. Vol. 5, No. 2:11-26.
- [4] Saputera, Eko. (2011). *Analisis Sympathetic Trip Pada Trafo 1 Hyundai 60 Mva 150/20 Kv, Di Gardu Induk Kiara Condong PLN APD Bandung*. Tugas Akhir. Universitas Pendidikan Indonesia.
- [5] Stevenson, William D. Jr. (1993). *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta: Erlangga
- [6] Suswanto, Daman. (2010). *Analisis Gangguan Pada Jaringan Distribusi*. 29 Oktober 2016 09:00.
<https://daman48.files.wordpress.com/2010/11/materi-13-analisis-gangguan-pada-jaringan-distribusi1.pdf>
- [7] Wahyu Hidayat, Ade. (2013). *Analisa Setting Rele Arus Lebih Dan Rele Gangguan Tanah Pada Penyulang Topan Gardu Induk Teluk Betung*. Skripsi. Universitas Lampung.