
**STUDI ANALISA PERHITUNGAN DAN PENGATURAN RELAI ARUS
LEBIH DAN RELAI GANGGUAN TANAH PADA KUBIKEL CAKRA 20
KV DI PT XYZ**

Budi Yanto Husodo¹,Muhalan²

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Mercu Buana , Jakarta Barat
Email: husodo2008@gmail.com

Abstrak - Gangguan hubung singkat fasa ke tanah dan fasa-fasa merupakan salah satu permasalahan yang mungkin timbul dalam pengoperasian transformator daya dalam sebuah Gardu Induk. Gangguan yang disebabkan oleh adanya hubung singkat menimbulkan banyak kerugian, kerugian pada sistem transmisi kelistrikan maupun kerugian di pihak konsumen energi listrik. Salah satu cara untuk mengatasi gangguan ini adalah dengan cara memasang peralatan pengaman pada transformator. Relai arus lebih merupakan relai proteksi yang bekerja dengan Pemutus Tenaga (Circuit Breaker). Gangguan hubung singkat fasa ke tanah dan fasa-fasa menimbulkan arus gangguan hubung singkat yang besarnya melebihi setting arus pada relai arus lebih, sehingga relai arus lebih memicu Pemutus Tenaga bekerja sesuai dengan setting waktu

yang diterapkan, sehingga resiko kerusakan pada sistem kelistrikan dapat dihindar.

Kata kunci: arus hubung singkat, relai arus lebih, setting relai

PENDAHULUAN

Listrik merupakan salah satu komoditi strategis dalam perekonomian Indonesia, karena selain digunakan secara luas oleh masyarakat terutama untuk keperluan penerangan, listrik juga merupakan salah satu sumber energi utama bagi sektor industri. Di dalam penyediaan tenaga listrik, dapat dibedakan secara jelas tiga proses penyampaian tenaga listrik, yaitu pembangkitan, transmisi, dan distribusi yang dapat dianggap sebagai produksi atau pembuatan, pengangkutan, dan penjualan eceran tenaga listrik (Arismunandar, 1995).

Pada pelaksanaannya, penyaluran atau pendistribusian tenaga listrik ini

terdapat resiko gangguan hubung singkat fasa-fasa atau fasa-tanah atau biasa juga terjadi pada sambungan dan akan menjadi gangguan permanen. Untuk mengatasi hal tersebut maka diperlukan pengaturan/penyetelan relai yang baik agar relai dapat memproteksi peralatan-peralatan listrik lain dari gangguan arus hubung singkat maupun beban lebih.

Relai proteksi

Relai Proteksi merupakan bagian penting dalam sebuah sistem tenaga elektrik, tidak memiliki manfaat pada saat sistem berada dalam kondisi normal, namun sangat dibutuhkan bilamana sistem tengah mengalami gangguan dan kondisi tidak normal. Relai Proteksi dibutuhkan untuk menginisiasi pemutusan dan mengisolasi daerah yang mengalami gangguan dan menjaga agar daerah yang tidak mengalami gangguan tetap dapat menjalankan fungsinya. Secara umum pengertian sistem proteksi ialah cara untuk mencegah atau membatasi kerusakan peralatan akibat gangguan, sehingga kelangsungan penyaluran tenaga listrik dapat dipertahankan.

Gangguan pada sistem distribusi tenaga listrik hampir seluruhnya merupakan gangguan hubung singkat, yang akan menimbulkan arus yang cukup besar. Semakin besar sistemnya semakin besar gangguannya. Arus yang besar bila tidak segera dihilangkan akan merusak peralatan yang dilalui arus gangguan. Untuk melepaskan daerah yang terganggu itu maka diperlukan suatu sistem proteksi, yang pada dasarnya adalah alat pengaman yang bertujuan untuk melepaskan atau membuka sistem yang terganggu, sehingga arus gangguan ini akan padam.

Adapun tujuan dari sistem proteksi antara lain :

- Untuk menghindari atau mengurangi kerusakan akibat gangguan pada peralatan yang terganggu atau peralatan yang dilalui oleh arus gangguan.
- Untuk melokalisir (mengisolir) daerah gangguan menjadi sekecil mungkin.
- Untuk dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada

konsumen serta memperkecil bahaya bagi manusia.

Standar Relai Arus Lebih I.D.M.T

Karakteristik pemutusan arus/waktu Relai I.D.M.T bervariasi sesuai dengan kebutuhan waktu pemutusan yang diperlukan dan karakteristik dari peralatan proteksi lain yang dipergunakan dalam jaringan. Untuk keperluan ini, IEC 60255 mendefinisikan sejumlah karakteristik standar sebagai berikut:

Standard Inverse (SI)

Very Inverse (VI)

Extremely Inverse (EI)

Definite Time (DT)

Untuk tipe Relai lainnya, langkah penyetelan mungkin sangat terbatas untuk mendapatkan pengaturan yang kontinyu. Sebagai tambahan, pada umumnya hampir semua Relai arus lebih dilengkapi dengan elemen penyetelan instantaneous. Dalam banyak kasus, penggunaan kurva standar SI telah memberikan hasil yang memuaskan, namun bila diskriminasi yang diinginkan tidak dapat dicapai, maka dapat digunakan kurva VI atau EI.

Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Rumus dasar yang digunakan untuk menghitung besarnya arus gangguan hubung singkat 3 fasa adalah :

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

Sehingga arus gangguan hubung singkat 3 fasa dapat dihitung sebagai berikut :

$$I_{3 fasa} = \frac{V_{ph}}{Z_{1eq}} = \frac{20000}{\frac{\sqrt{3}}{Z_{1eq}}}$$

$$I_{3 fasa} = \frac{11547}{Z_{1eq}}$$

Gangguan hubung singkat 2 fasa

Rumus dasar yang digunakan untuk menghitung besarnya arus gangguan hubung singkat 2 fasa adalah :

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

Sehingga arus gangguan hubung singkat 2 fasa dapat dihitung sebagai berikut :

$$I_{2 fasa} = \frac{V_{ph-ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq}} = \frac{20000}{Z_{1eq} + Z_{2eq}}$$

Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Pada gangguan satu fasa ke tanah misal fasa A mengalami gangguan akan menyebabkan kenaikan arus pada fasa A dan drop tegangan di

fasa A (menjadi nol) sedangkan arus pada fasa yang lain menjadi nol yang diikuti dengan kenaikan tegangan fasa yang lain (fasa B dan Fasa C tidak sama dengan nol sedangkan arus fasa B sama besarnya dengan fasa C yaitu nol ampere) (Tjahjono, 2000).

Gangguan tidak simetris menyebabkan arus tidak seimbang dalam sistem, sehingga dibutuhkan komponen simetris untuk perhitungannya sebagaimana uraian di atas. Sehingga arus gangguan hubung singkat 1 Fasa ke tanah dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 I_{1fasa} &= \frac{3 * V_{ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}} \\
 &= \frac{3 * \frac{20000}{\sqrt{3}}}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}} \\
 I_{1fasa} &= \frac{34641,016}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}} \\
 &= \frac{34641,016}{2 * Z_{1eq} + Z_{0eq}}
 \end{aligned}$$

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan cara mengumpulkan data-data spesifikasi transformator daya dan setting relai

arus kemudian melakukan pengamatan dan pengambilan data Gardu Induk. Berdasarkan data-data yang ada, dilakukan analisa dan perhitungan besar arus gangguan terhadap relai proteksi sehingga relai arus bekerja dan mentriapkan pemutus tenaga / CB (*Circuit Breaker*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Di Gardu Induk Jambi terdapat 3 jenis trafo tenaga dengan tegangan kerja 150/20 kV. Dimana masing-masing trafo berkapasitas 60 MVA. Karena pada trafo 2 memasok 5 penyulang, maka diperlukan penyetelan relai yang baik agar relai dapat memproteksi peralatan-peralatan listrik yang lain dari arus gangguan hubung singkat maupun beban lebih. Adapun data-data yang diperlukan untuk analisis ini adalah sebagai berikut:

- Merk = TRAFINDO
- Daya = 50 MVA
- Tegangan = 150 / 20 KV
- Impedansi (Z %) = 12,15%
- Teg Primer = 150 KV
- Teg sekunder = 20 KV

- Ratio CT Trafo = 2000/5
- Arus Nominal Trafo = 1443,4
- Hub. belitan trafo = YNyn0(d11)
- Ground Resistor = 14 ohm

Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

Data Hubung Singkat di bus sisi primer (150kV) di Gardu Induk adalah sebesar 2.586 MVA. Maka impedansi sumber (X_s) adalah :

$$X_{s(sisi\ 150kV)} = \frac{150^2}{2586} = 8,7\ Ohm$$

Untuk mengetahui Impedansi di sisi sekunder, yaitu di bus sisi 20 kV maka:

$$X_{s(sisi\ 20kV)} = \frac{20^2}{150^2} \times 8,7 = 0,155\ Ohm$$

Besarnya reaktansi trafo tenaga satu di Gardu Induk adalah 12,13%, agar dapat mengetahui besarnya nilai reaktansi urutan positif, negatif dan reaktansi urutan nol dalam ohm, maka perlu dihitung dulu besar nilai ohm pada 100 % nya.

Besarnya nilai ohm pada 100 % yaitu :

$$X_{t(pada\ 100\%)} = \frac{kV(sisi\ bus\ 2)^2}{MVA\ trafo}$$

$$X_{t(pada\ 100\%)} = \frac{20^2}{50} = 8\ Ohm$$

Nilai reaktansi trafo tenaga :

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

$$X_t = 12,15\% \cdot 8 = 0,972\ Ohm$$

- Reaktansi urutan nol (X_{t0})

Karena trafo daya yang mensuplai penyulang mempunyai hubungan Ynyn0 yang tidak mempunyai belitan delta di dalamnya, maka besarnya X_{t0} berkisar antara 9 s.d. 14 . X_{t1} , dalam perhitungan ini diambil nilai X_{t0} lebih kurang 10 . X_{t1} . Jadi $X_{t0} = 10 \cdot 0,972 = 9,72\ ohm$.

Dari data yang diperoleh bahwa jenis penghantar yang digunakan pada penyulang hanya menggunakan satu buah tipe kabel yaitu XLPE 210 mm².

Panjang penyulang = 5,309 km, dengan panjang penghantar XLPE 210 mm² = 5,309. $Z_1 = Z_2$ (XLPE 210) = (0,118 + j0,095) Ω / km x 5,309 = 0,624 + j0, 504 Ohm. Z_0 (XLPE 210) = (0,255 + j0,024) Ω / km x 5,309 = 1,354 + j0,127 Ohm. Dengan demikian nilai impedansi penyulang untuk lokasi gangguan

dengan jarak 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang, sebagai berikut :

Tabel 4.1 Impedansi Penyulang Urutan Positif & Negatif

(% Panjang)	Impedansi Penyulang (Z_1 & Z_2)
0	$0\% \cdot (0,624 + j0,504) = 0 \text{ Ohm}$
25	$25\% \cdot (0,624 + j0,504) = 0,156 + j0,126 \text{ Ohm}$
50	$50\% \cdot (0,624 + j0,504) = 0,312 + j0,252 \text{ Ohm}$
75	$75\% \cdot (0,624 + j0,504) = 0,468 + j0,378 \text{ Ohm}$
100	$100\% \cdot (0,624 + j0,504) = 0,624 + j0,504 \text{ Ohm}$

Tabel 4.2 Impedansi Penyulang Urutan Nol

(% Panjang)	Impedansi Penyulang (Z_0)
0	$0\% \cdot (1,354 + j0,127) = 0 \text{ Ohm}$
25	$25\% \cdot (1,354 + j0,127) = 0,339 + j0,032 \text{ Ohm}$
50	$50\% \cdot (1,354 + j0,127) = 0,677 + j0,064 \text{ Ohm}$
75	$75\% \cdot (1,354 + j0,127) = 1,016 + j0,095 \text{ Ohm}$
100	$100\% \cdot (1,354 + j0,127) = 1,354 + j0,127 \text{ Ohm}$

Menghitung Impedansi Ekuivalen Jaringan

Perhitungan Z_{1eq} dan Z_{2eq} :

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{iS}(\text{sisi } 20 \text{ kV}) + Z_{iT} + Z_{1\text{penyulang}}$$

$$= j0,155 + j0,972 + Z_{1\text{penyulang}}$$

Karena lokasi gangguan diasumsikan terjadi pada 0%,25%, 50%, 75% dan

100% panjang penyulang , maka Z_{1eq} (Z_{2eq}) yang didapat adalah :

Tabel 4.3 Impedansi Ekuivalen Z_{1eq} (Z_{2eq})

(% Panjang)	Impedansi Z_{1eq} (Z_{2eq})
0	$0 + j1,127 \text{ Ohm}$
25	$0,156 + j1,253 \text{ Ohm}$
50	$0,312 + j1,379 \text{ Ohm}$
75	$0,468 + j1,505 \text{ Ohm}$
100	$0,624 + j1,631 \text{ Ohm}$

Perhitungan Z_0 eq :

$$Z_0 \text{ eq} = Z_{ot} + 3R_N + Z_0 \text{ penyulang}$$

$$= j9,72 + 3 \times 14 + Z_0 \text{ penyulang}$$

$$= j9,72 + 42 + Z_0 \text{ penyulang}$$

Untuk lokasi gangguan di 0%,25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang, maka perhitungan Z_0eq menghasilkan :

Tabel 4.4 Impedansi Ekuivalen Z_{0eq}

(% Panjang)	Impedansi Z_0 eq
0	$42 + j9,72 \text{ Ohm}$
25	$42,339 + j9,752 \text{ Ohm}$
50	$42,677 + j9,784 \text{ Ohm}$
75	$43,016 + j9,815 \text{ Ohm}$
100	$43,354 + j9,847 \text{ Ohm}$

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

(%)	Jarak	Arus Hubung Singkat (A)		
		3 fasa	2 fasa	1 fasa
0	0	10245,79	8873,11	793,18
25	1,327	9215,51	7980,94	780,6
50	2,655	8373,56	7758,34	768,42
75	3,982	7672,64	6645,39	756,6
100	5,309	7080,1	6132,77	745,15

Setelan Relai Arus Lebih Penyulang

Untuk setelan relai yang terpasang di penyulang dihitung berdasarkan arus beban maksimum. Untuk relai

inverse biasa diset sebesar 1,05 sampai dengan 1,1 x Imaks, sedangkan untuk relai definite diset sebesar 1,2 sampai dengan 1,3 x Imaks. Persyaratan lain yang harus dipenuhi yaitu untuk penyetelan waktu minimum dari relai arus lebih (terutama di penyulang tidak lebih kecil dari 0,3 detik). Keputusan ini diambil agar relai tidak sampai trip lagi akibat adanya arus inrush dari trafo-trafo distribusi yang sudah tersambung di jaringan distribusi, pada saat PMT penyulang tersebut di masukan.

Setelan Arus

$$I_{\text{beban}} = 381,26 \text{ Ampere, CT} = 400/5A$$

$$I_{\text{set (primer)}} = 1,05 \times I_{\text{beban}} = 1,05 \times 381,26 \text{ Ampere} = 400,32 \text{ Ampere}$$

Nilai arus tersebut merupakan nilai setelan pada sisi primer, sedangkan nilai yang akan disetkan pada relai adalah nilai sekundernya. Oleh karena itu dihitung menggunakan nilai rasio trafo arus yang terpasang pada penyulang. Besarnya arus pada sisi sekundernya adalah :

$$I_{\text{set (sekunder)}} = I_{\text{set (primer)}} \times \frac{1}{\text{RatioCT}} \text{ A} = 400,32 \times \frac{5}{400} \text{ A}$$

$$= 5,004 \text{ A} \approx 5 \text{ A}$$

Setelan TMS (Time Multiplier Setting)

Arus gangguan yang dipilih untuk menentukan besarnya setting TMS relay OCR sisi penyulang 20 kV transformator tenaga yaitu arus gangguan hubung singkat tiga fasa di 0% panjang penyulang. Waktu kerja paling hilir yang ditetapkan t = 0,3 detik. Keputusan ini diambil agar relai tidak sampai trip lagi akibat adanya arus inrush dari trafo-trafo distribusi yang sudah tersambung di jaringan distribusi, pada saat PMT penyulang tersebut di masukan.

Jadi didapat :

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

$$0,3 = \frac{0,14 \text{ Tms}}{\left(\frac{10245,79}{400,32}\right)^{0,02} - 1}$$

$$\text{Tms} = 0,144$$

Setelan Relai Arus Lebih Incoming Setelan Arus

Arus nominal trafo pada sisi 20 kV :

$$I_n (\text{sisi } 20 \text{ kV}) = \frac{kVA}{kV \sqrt{3}} = \frac{50000}{20\sqrt{3}} = 1443,38 \text{ Ampere}$$

$$I_{\text{set primer}} = 1,05 \cdot I_{\text{beban}}$$

$$= 1,05 \cdot 1443,38$$

Ampere

$$= 1515,55 \text{ Ampere}$$

Nilai setelan pada sisi sekunder :

$$I_{\text{set (sekunder)}} = I_{\text{set (primer)}} \times \frac{1}{\text{RatioCT}} \text{ A}$$

$$= 1515,55 \times \frac{5}{2000} \text{ A}$$

$$= 3,789 \text{ A}$$

$$\approx 4 \text{ A}$$

Setelan TMS (Time Multiplier Setting) Incoming

$$t \text{ incoming} = (0,3+0,4) = 0,7 \text{ detik}$$

Jadi didapat :

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

$$0,7 = \frac{0,14 \text{ Tms}}{\left(\frac{10245,79}{1515,55}\right)^{0,02} - 1}$$

$$\text{Tms} = 0,195$$

Setelan Relai Gangguan Tanah Penyulang

Setelan Arus

Setelan arus gangguan tanah di penyulang diset 10% x arus gangguan tanah terkecil di penyulang tersebut. Hal ini dilakukan untuk menampung tahanan busur.

$$I_{\text{set primer}} = 0,1 \times 745 = 74,5 \text{ Ampere}$$

$$I_{\text{set (sekunder)}} = I_{\text{set (primer)}} \times \frac{1}{\text{RatioCT}} \text{ A}$$

$$= 74,5 \times \frac{5}{400} \text{ A}$$

$$= 0,93 \text{ A}$$

Setelan TMS (Time Multiplier Setting)

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

$$0,3 = \frac{0,14 \text{ Tms}}{\left(\frac{793,18}{74,5}\right)^{0,02} - 1}$$

$$\text{Tms} = 0,104$$

Setelan Relai Gangguan Tanah Incoming

Setelan Arus

Setelan arus relai gangguan tanah di incoming 20 kV harus lebih sensitif,hal ini berfungsi sebagai cadangan bagi relai di penyulang 20 kV dibuat 8% x arus gangguan tanah terkecil.

$$I_{\text{set primer}} = 0,08 \times 745$$

$$= 59,6 \text{ Ampere}$$

$$I_{\text{set (sekunder)}} = I_{\text{set (primer)}} \times \frac{1}{\text{RatioCT}} \text{ A}$$

$$= 59,6 \times \frac{5}{2000} \text{ A}$$

$$= 0,149 \text{ A}$$

Setelan TMS (Time Multiplier Setting)

$$t \text{ incoming} = (0,3+0,4) = 0,7 \text{ detik}$$

Jadi didapat :

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

$$0,7 = \frac{0,14 \text{ Tms}}{\left(\frac{793,18}{59,6}\right)^{0,02} - 1}$$

$$\text{Tms} = 0,27$$

Tabel 4.9 Pemeriksaan Waktu Kerja Relai Untuk Gangguan 3 Fasa

Lokasi Gangguan (% Panjang)	Waktu Kerja Relay Incoming (detik)	Waktu Kerja Relay Penyulang (detik)	Selisih Waktu (Grading Time) (detik)
0%	0,701	0,301	0,4
25%	0,743	0,311	0,432
50%	0,785	0,322	0,463
75%	0,828	0,331	0,497
100%	0,872	0,341	0,531

Tabel 4.10 Pemeriksaan Waktu Kerja Relai Untuk Gangguan 2 Fasa

Lokasi Gangguan (% Panjang)	Waktu Kerja Relay Incoming (detik)	Waktu Kerja Relay Penyulang (detik)	Selisih Waktu (Grading Time) (detik)
0%	0,759	0,315	0,444
25%	0,808	0,327	0,481
50%	0,822	0,33	0,492
75%	0,91	0,348	0,562
100%	0,963	0,359	0,604

Tabel 4.11 Pemeriksaan Waktu Kerja Relai Untuk Gangguan 1 Fasa ke Tanah

Lokasi Gangguan (% Panjang)	Waktu Kerja Relay Incoming (detik)	Waktu Kerja Relay Penyulang (detik)	Selisih Waktu (Grading Time) (detik)
0%	0,711	0,301	0,410
25%	0,716	0,303	0,413
50%	0,721	0,305	0,416
75%	0,725	0,307	0,418
100%	0,729	0,309	0,420

KESIMPULAN

- 1 Dari hasil perhitungan dapat dilihat bahwa besarnya arus gangguan hubung singkat di pengaruhi oleh jarak titik gangguan, semakin jauh jarak titik gangguan maka semakin kecil arus gangguan hubung singkatnya, begitu pula sebaliknya.
- 2 Waktu kerja relai di penyulang lebih cepat di bandingkan dengan waktu terjadi incoming dengan selisih waktu (grading time) rata-rata sebesar 0,4 detik.
- 3 Dari hasil perhitungan di atas, nampak bahwa data yang ada di lapangan masih dalam kondisi yang sesuai (perbedaannya tidak terlalu jauh), sehingga dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan setting OCR-GFR yang ada di lapangan masih dalam kondisi baik.

DAFTAR PUSTAKA

Hendra Marta Yudha. 2008. *Rela Proteksi – Prinsip dan Aplikasi*. Palembang : Jurusan

- Teknik Elektro Fakultas
Teknik Universitas Sriwijaya.
- Gonen, Turan. 1986. *Electrical Power Distribution System Engineering*. New York : McGraw-Hill Book Company
- Grigsby, Lenoanrd L. 2006. *Electrical Power Engineering Handbook – Power System Stability and Control*. Boca Raton : Taylor & Francis Group, LLC.