

Analisa Gangguan Satu Fasa ke Tanah yang Mengakibatkan Sympathetic Trip pada Penyulang yang tidak Terganggu di PLN APJ Surabaya Selatan

Julius Sentosa Setiadji¹, Tabrani Machmudsyah², Rusli Kongdoro

¹Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra

²PT. PLN(Persero) Distribusi Jawa Timur

E-mail: julius@petra.ac.id

Abstrak

Sistem distribusi tenaga listrik 20 kV di Jawa Timur menggunakan sistem pentanahan dengan tahanan tinggi 500 Ohm sehingga arus gangguan satu fasa ke tanah maksimum adalah sebesar 25 Ampere. Untuk mendeteksi arus gangguan ini digunakan DGR (*Directional Ground Relay*). Apabila pada penyulang Semolo terjadi gangguan satu fasa ke tanah, maka penyulang Gebanglor dan Srikana yang dicatu dari bus yang sama dengan penyulang Semolo (bus Nissin) juga ikut trip (*sympathetic trip*). Penyebab terjadinya *sympathetic trip* adalah arus total kebocoran dari *arrester*, *body* trafo dan *body* panel TR GTT pada penyulang Gebanglor dan Srikana yang melebihi *tap setting* arus DGR sebesar 2 Ampere. Setelah dilakukan perbaikan, arus total kebocoran *arrester* pada penyulang Gebanglor menjadi sebesar 0.046 Ampere dan penyulang Srikana sebesar 0.026 Ampere.

Kata kunci: penyulang, gangguan satu fasa ke tanah, *sympathetic trip*, dan *directional ground relay*.

Abstract

Twenty kilovolts power distribution network system at East Java use high resistance (500 Ω) grounding system that makes maximum single phase to ground fault current 25 Amperes. To detect this fault current, a Directional Ground Relay (DGR) is used. If a single phase to ground fault occurs on Semolo feeder, then Gebanglor feeder and Srikana feeder which are supplied by the same bus with Semolo feeder (Nissin bus) will also trip (*sympathetic trip*). *Sympathetic trip* is caused by the total leakage current of *arresters*, *transformers* and low voltage panels on Gebanglor feeder dan Srikana feeder which is more than 2 Amperes (*tap current setting* of DGR is 2 Amperes). After maintenance, the total leakage current of the *arresters* on Gebanglor feeder is 0.046 Amperes and Srikana feeder is 0.026 Amperes.

Keywords: feeder, single phase to ground fault, *sympathetic trip*, and *directional ground relay*.

Pendahuluan

Salah satu gangguan yang terjadi pada jaringan 20 kV sistem distribusi adalah gangguan 1 fasa ke tanah. Karena PLN Distribusi Jawa Timur menerapkan pola-1 : pengamanan distribusi *High Resistance* 500 Ohm, maka arus gangguan 1 fasa ke tanah maksimum 25 A. Arus gangguan ini relatif kecil, untuk itu digunakan *Directional Ground Relay* (DGR) yang sensitif terhadap arus gangguan kecil dengan dilengkapi sudut (arah).

Permasalahan timbul jika terjadi gangguan 1 fasa ke tanah pada penyulang Semolo dari bus 20 kV Nissin, maka penyulang Gebanglor dan Srikana yang juga dicatu oleh bus Nissin akan ikut terganggu (trip). Hal ini akan mengganggu pasokan tenaga listrik ke konsumen PLN. Fenomena ini disebut dengan *sympathetic trip* (jatuh bersamaan).

Directional Ground Relay (DGR)

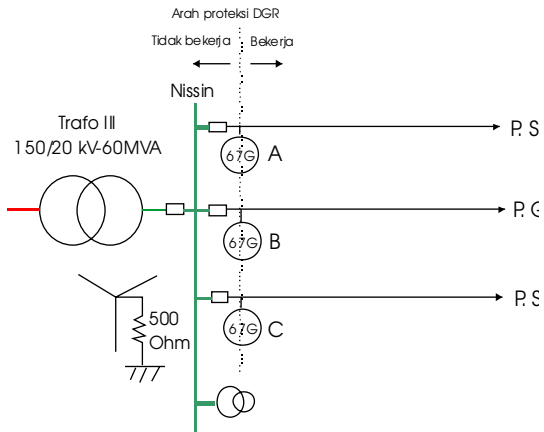
DGR (*Directional Ground Relay*) bekerja berdasarkan komponen arus urutan nol (I_0) dan tegangan urutan nol (V_0) yang mana I_0 dideteksi oleh ZCT (*Zero Current Transformer*) dan V_0 dideteksi oleh GPT (*Ground Potential Transformer*).

Apabila terjadi ketidakseimbangan tegangan pada sistem maka GPT akan mendeteksi V_0 . Apabila terjadi ketidakseimbangan arus pada sistem maka ZCT akan mendeteksi I_0 .

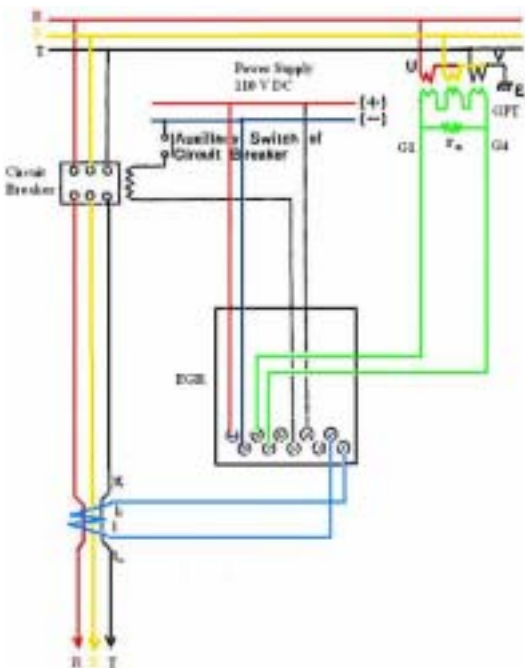
DGR merupakan rele tanah yang disertai dengan arah, sehingga digunakan untuk memproteksi satu arah saja. ZCT dipasang pada masing-masing penyulang, sedangkan GPT dipasang pada bus Nissin.

DGR yang digunakan pada penyulang Semolo, Gebanglor dan Srikana adalah rele tipe statik yakni tipe EGR-EC dengan konstruksi *drawout*. *External connection* dan *internal connection* dari DGR tipe EGR-EC dapat dilihat pada gambar 3 dan gambar 4.

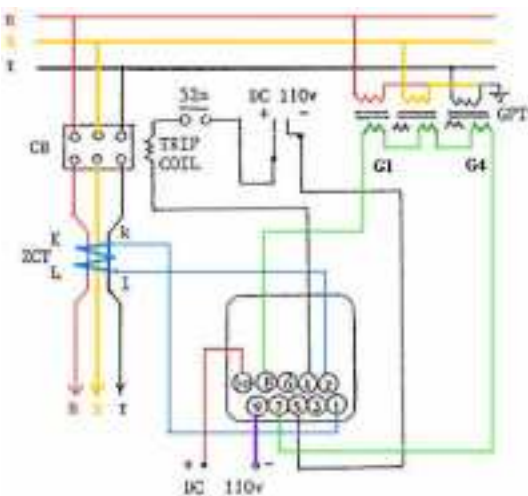
Catatan: Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Juni 2006. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Elektro volume 6, nomor 2, September 2006.



Gambar 1. Pemasangan DGR Besarta Arah Proteksinya

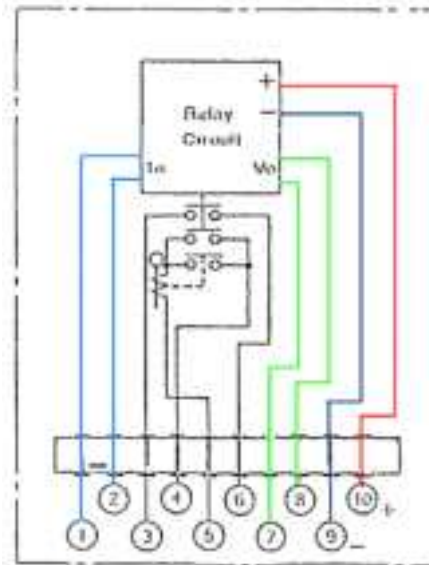


Gambar 2. Koneksi Antara DGR, GPT dan ZCT



Gambar 3. External Connection DGR tipe EGR-EC

Pada ZCT, kutub K dan L adalah kumparan primer, sedangkan kutub k dan l adalah kumparan sekunder. Pada GPT, kutub G1 dan G4 merupakan kumparan tersier.



Gambar 4. Internal Connection DGR tipe EGR-EC

Pada gambar 4, terminal-terminal pada DGR tipe EGR-EC terhubung sebagai berikut :

- o Terminal 1 terhubung dengan kutub k dari kumparan sekunder ZCT
- o Terminal 2 terhubung dengan kutub l dari kumparan sekunder ZCT
- o Terminal 4 dan 5 terhubung dengan trip coil dari Circuit Breaker
- o Terminal 7 terhubung dengan kutub G4 dari kumparan tersier GPT
- o Terminal 8 terhubung dengan kutub G1 dari kumparan tersier GPT
- o Terminal 9 terhubung dengan kutub negatif (-) dari supply 110 V DC
- o Terminal 10 terhubung dengan kutub positif (+) dari supply 110 V DC

Sistem per unit

Jaringan distribusi menggunakan banyak transformator dengan tingkat tegangan yang berbeda-beda sehingga untuk mempermudah perhitungan digunakan sistem per unit.

Harga per unit adalah harga yang sebenarnya dibagi harga dasar dari sistem.

$$\text{Nilai per unit} = \frac{\text{nilai asli}}{\text{nilai dasar}} \tag{1}$$

Untuk menentukan besarnya I dasar dan Z dasar pada sistem tiga fasa dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$I_{\text{dasar}} = \frac{kVA_{3\phi \text{ dasar}}}{kV_{LL \text{ dasar}} \times \sqrt{3}} \quad (\text{A}) \quad (2)$$

$$Z_{\text{dasar}} = \frac{kV_{LL \text{ dasar}}^2}{MVA_{3\phi \text{ dasar}}} \quad (\Omega) \quad (3)$$

Nilai sebenarnya dapat diperoleh kembali dengan cara mengalikan nilai per unit dengan nilai dasarnya.

Komponen Simetri

Perhitungan tegangan dan arus pada titik hubung singkat dapat dilakukan apabila sistem sederhana atau seimbang. Apabila sistem tidak seimbang maka digunakan metode komponen simetri untuk menganalisisnya.

Menurut teorema Forstescue, tiga fasor tak seimbang dari sistem tiga fasa yang timbul akibat ketidakseimbangan beban ataupun gangguan lainnya dapat diuraikan menjadi tiga sistem fasor yang seimbang.

Fasor yang asli merupakan fasor tidak seimbang, dan merupakan jumlah komponen. Fasor asli dinyatakan dalam suku-suku komponen sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_a &= V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \\ V_b &= V_{b1} + V_{b2} + V_{b0} \\ V_c &= V_{c1} + V_{c2} + V_{c0} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_a &= I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} \\ I_b &= a^2 I_{a1} + a I_{a2} + I_{a0} \\ I_c &= a I_{a1} + a^2 I_{a2} + I_{a0} \end{aligned}$$

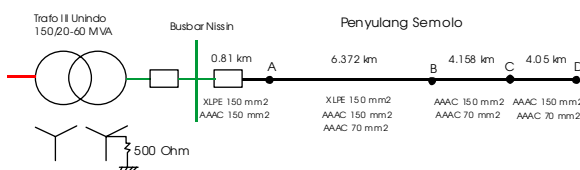
Dimana $a = 1 \angle 120^\circ$

Dalam sistem tiga fasa, jumlah arus saluran sama dengan arus residu (I_r) dalam jalur kembali lewat netral. Sehingga
 $I_a + I_b + I_c = I_r$
 $I_r = 3I_{a0}$

Jika tidak ada jalur kembali yang melalui netral sistem tiga fasa, I_r adalah nol, dan arus saluran tidak mengandung komponen urutan nol.

Analisa Gangguan Satu Fasa ke Tanah

Pethitungan arus gangguan satu fasa ke tanah diperlukan agar dapat menentukan setting DGR yang tepat.



Gambar 5. Penyulang Semolo

$$\begin{aligned} kVA_{3\phi \text{ dasar}} &= 60000 \text{ (sesuai dengan rating trafo yang digunakan)} \\ kV_{LL \text{ dasar}} &= 20 \text{ (sesuai dengan tegangan kerja)} \end{aligned}$$

Berdasarkan rumus 2 dan 3, maka :

$$\begin{aligned} I_{\text{dasar}} &= \frac{kVA_{3\phi \text{ dasar}}}{kV_{LL \text{ dasar}} \times \sqrt{3}} \\ &= \frac{60000}{20 \times \sqrt{3}} \\ &= 1732.050808 \text{ A} \\ Z_{\text{dasar}} &= \frac{kV_{LL \text{ dasar}}^2}{MVA_{3\phi}} \\ &= \frac{20^2}{60} \\ &= 6.666667 \Omega \end{aligned}$$

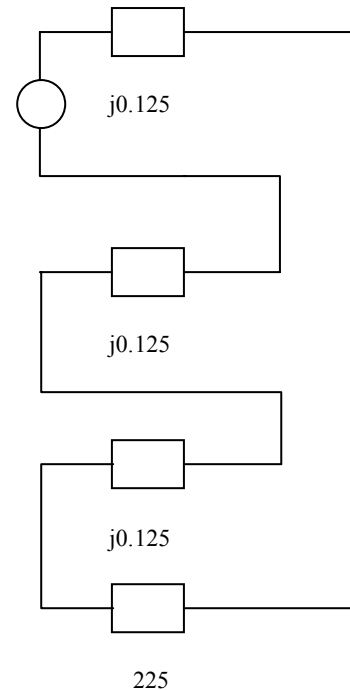
Impedansi trafo urutan positif, negatif dan nol dari trafo $Z_t(\text{pu}) = j0.125$ (sesuai rating trafo)

Impedansi gangguan untuk gangguan maksimum $Z_f = 0$

Impedansi pentanahan netral pada trafo $Z_n = 500 \Omega$
 Impedansi pentanahan netral dalam sistem per unit (pu) berdasarkan rumus 1 adalah:

$$\begin{aligned} Z_n(\text{pu}) &= \frac{500}{6.666667} = 74.99999625 \approx 75 \text{ pu} \\ 3Z_n &= 225 \text{ pu} \end{aligned}$$

Berdasarkan gambar 6, maka jaringan urutan dari sistem dengan asumsi gangguan terjadi pada penyulang Semolo dekat GI Sukolilo dengan impedansi gangguan ($Z_f = 0$) adalah sebagai berikut:



Gambar 6. Rangkaian Urutan Untuk Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah.

Arus urutan maksimum:

$$I_{a1} \text{ (pu)} = \frac{1}{225 + j0.375}$$

$$= \frac{1}{225.0003125 \angle 0.0954928^\circ}$$

$$= 0.004444438272 \angle -0.0954928^\circ$$

Arus gangguan maksimum yang mengalir pada fasa yang terganggu adalah:

$$I_a \text{ (pu)} = 3 I_{a1}$$

$$= 3 \times 0.004444438272$$

$$= 0.0133333148 \text{ pu}$$

$$I_f = I_a = I_a \text{ (pu)} \times I_{\text{dasar}}$$

$$= 0.0133333148 \times 1732.050808$$

$$= 23.09397867 \text{ A}$$

Tabel 1. Hasil Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah Maksimum dan Minimum Pada Penyulang Semolo

Tegangan (kV)	Arus Gangguan (A)				
	Maksimum	Minimum			
	A	B	C	D	
20	23.09397867	7.191338618	7.156877521	7.133762954	7.10808007
20.5	23.67130556	7.371114699	7.335792108	7.3120997	7.28577477

Tabel 2. Hasil Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah Maksimum dan Minimum Pada Penyulang Gebanglor

Tegangan (kV)	Arus Gangguan (A)				
	Maksimum	Minimum			
	A	B	C	D	
20	23.09397867	7.191033862	7.159041588	7.138578915	7.113911572
20.5	23.67130556	7.370802323	7.338010272	7.317036056	7.291752053

Tabel 3. Hasil Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah Maksimum dan Minimum pada Penyulang Srikana

Tegangan (kV)	Arus Gangguan (A)				
	Maksimum	Minimum			
	A	B	C	D	
20	23.09397867	7.193269304	7.166197653	7.161388966	7.154019429
20.5	23.67130556	7.373093648	7.345345234	7.340416333	7.332862568

Setting arus kerja DGR

DGR akan bekerja pada saat terjadi gangguan 1 fasa ke tanah. Oleh karena itu, harus diketahui besarnya arus gangguan satu fasa ke tanah maksimum dan minimum. Sehingga dapat dilakukan penyetelan pada DGR.

Pada DGR tipe EGR-EC yang digunakan pada penyulang Semolo, Gebanglor dan Srikana terdapat tap setting arus kerja pada $I_o = 1 \text{ A}$ sampai 5 A .

Untuk menentukan tap setting arus kerja dari DGR maka digunakan rumus:

$$I_{\text{setting}} = 10 \% \times I_f \text{ Maksimum}$$

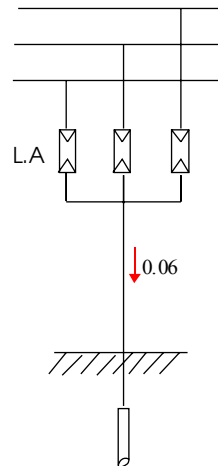
$$I_{\text{setting}} = 10 \% \times 23.67 \text{ A}$$

$$I_{\text{setting}} = 2.367 \text{ A}$$

Dengan pembulatan ke bawah maka DGR menggunakan tap setting $I_o = 2 \text{ A}$.

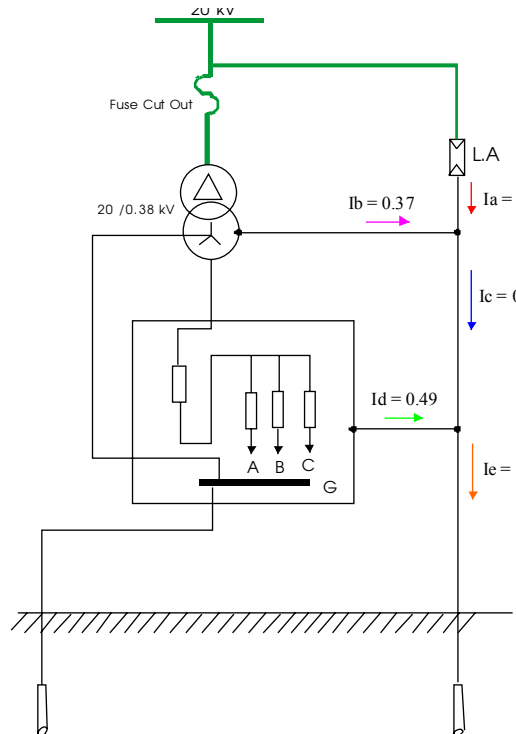
Kebocoran *Arrester*, *Body* Trafo dan *Body* Panel TR GTT dari Penyulang Gebanglor dan Penyulang Srikana

Kebocoran terjadi sepanjang jaringan pada penyulang Gebanglor dan Srikana. Pada tiang awal penyulang merupakan kebocoran *arrester* murni.



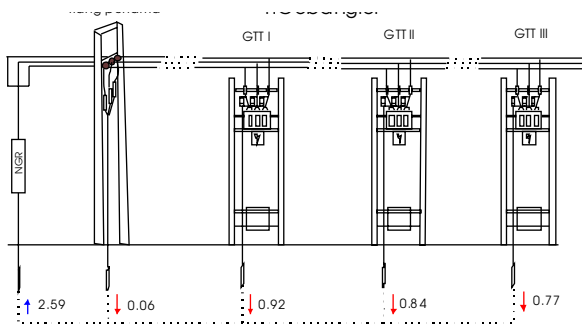
Gambar 7. Kebocoran *Arrester* Pada Tiang Awal Penyulang

Sedangkan untuk kebocoran pada Gardu Trafo Tiang merupakan kebocoran dari *arrester*, kebocoran *body* trafo, dan kebocoran panel Tegangan Rendah dari GTT.

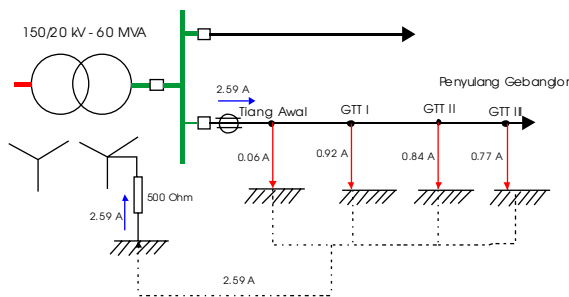


Gambar 8. Kebocoran *Arrester*, *Body* Trafo, dan *Body* Panel TR GTT

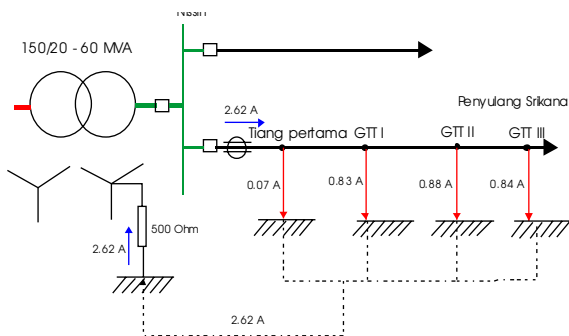
Kebocoran ini akan menyebabkan ZCT mendeteksi I_o dan memberikan input I_o pada DGR dari penyulang tersebut.



Gambar 9. Kebocoran Pada Tiang Awal dan GTT



Gambar 10. Kebocoran Pada Penyulang Gebanglor



Gambar 11. Kebocoran Pada Penyulang Srikana

DGR dari penyulang Gebanglor akan memperoleh input I_o sebesar 2.59 A dan DGR dari penyulang Srikana akan memperoleh input I_o sebesar 2.62 A. Input I_o ini melebihi setting arus kerja dari DGR (pada $I_o = 2$ A). Tetapi DGR belum bekerja karena belum memperoleh input V_o .

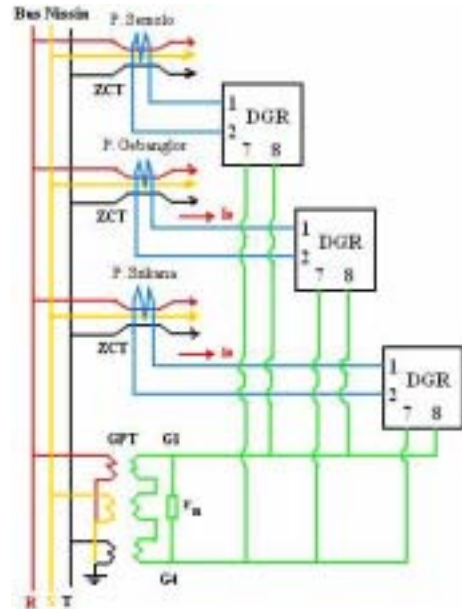
Terjadinya Sympathetic Trip

Sympathetic trip terjadi pada penyulang Gebanglor dan Srikana, yang disebabkan oleh gangguan satu fasa ke tanah pada penyulang Semolo.

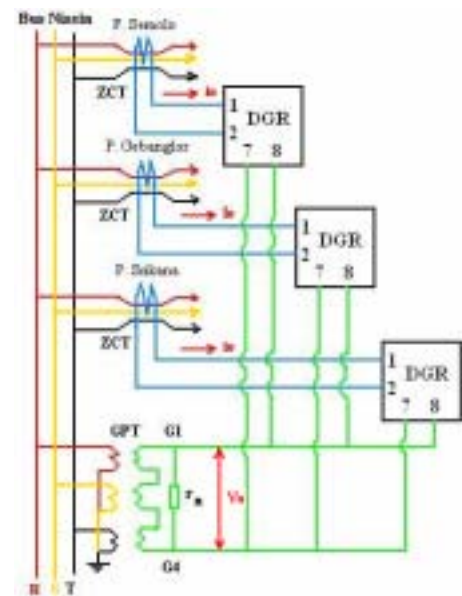
Gangguan satu fasa ke tanah pada penyulang Semolo disebabkan oleh sambaran petir yang mengakibatkan putusnya fasa R pada tiang pertama dari penyulang

Semolo. Sehingga timbul arus gangguan satu fasa ke tanah maksimum yakni sebesar 23.67 A dan juga timbul V_o .

GPT akan mendeteksi V_o dan memberikan input V_o pada DGR Penyulang Semolo, penyulang Gebanglor dan penyulang Srikana (penyulang pada bus Nissin).



Gambar 12. Penyulang Semolo dan Penyulang Gebanglor Serta Penyulang Srikana Pada Kondisi Tidak Ada Gangguan 1 Fasa ke Tanah



Gambar 13. Penyulang Semolo dan Penyulang Gebanglor Serta Penyulang Srikana Pada Kondisi Gangguan 1 Fasa ke Tanah Pada Penyulang Semolo

Akibat adanya gangguan satu fasa ke tanah pada penyulang Semolo maka:

- DGR penyulang Semolo akan bekerja karena memperoleh input I_o dan V_o , sebagai akibat terjadinya gangguan satu fasa ke tanah pada penyulang Semolo.
- DGR penyulang Gebanglor akan bekerja karena memperoleh input I_o dan V_o , dimana input I_o diperoleh akibat kebocoran arus sepanjang penyulang Gebanglor sementara input V_o diperoleh akibat gangguan satu fasa ke tanah pada penyulang Semolo.
- DGR penyulang Srikana akan bekerja karena memperoleh input I_o dan V_o , dimana input I_o diperoleh akibat kebocoran arus sepanjang penyulang Srikana sementara input V_o diperoleh akibat gangguan satu fasa ke tanah pada penyulang Semolo.

Pada saat terjadi gangguan satu fasa ke tanah pada penyulang Semolo, maka penyulang Semolo akan trip. Penyulang Gebanglor dan penyulang Srikana akan trip bersamaan (*sympathetic trip*) dengan tripnya penyulang Semolo.

Tabel 4. Kebocoran Arus Pada Penyulang Gebanglor

	Arus Bocor Sebelum Perbaikan (A)			Arus Bocor Setelah Perbaikan (A)		
	Arrester	Trafo TM	Panel TR	Arrester	Trafo TM	Panel TR
Tiang I	0.06	-	-	0.001	-	-
GTT I	0.06	0.37	0.49	0.001	0	0
GTT II	0.07	0.32	0.45	0.001	0	0
GTT III	0.06	0.30	0.41	0.001	0	0

Tabel 5. Kebocoran Arus Pada Penyulang Srikana

	Arus Bocor sebelum perbaikan (A)			Arus Bocor Setelah Perbaikan (A)		
	Arrester	Trafo TM	Panel TR	Arrester	Trafo TM	Panel TR
Tiang I	0.07	-	-	0.001	-	-
GTT I	0.08	0.32	0.43	0.001	0	0
GTT II	0.07	0.34	0.47	0.001	0	0
GTT III	0.06	0.33	0.45	0.001	0	0

Dari tabel 4 dapat dihitung besarnya arus total kebocoran *arrester* pada penyulang Gebanglor setelah perbaikan yakni:

$$I_{\text{bocor total}} = (0.001A \times 45 \text{ GTT}) + (0.001A \times 1 \text{ Tiang Awal})$$

$$I_{\text{bocor total}} = 0.046 A$$

Dari tabel 5 dapat dihitung besarnya arus total kebocoran *arrester* pada penyulang Srikana setelah perbaikan yakni:

$$I_{\text{bocor total}} = (0.001A \times 25 \text{ GTT}) + (0.001A \times 1 \text{ Tiang Awal})$$

$$I_{\text{bocor total}} = 0.026 A$$

Kesimpulan

Sympathetic trip pada penyulang Gebanglor dan Srikana terjadi akibat adanya kebocoran *arrester*, *body* trafo dan *body* panel TR pada penyulang Gebanglor dan Srikana. Input I_o diperoleh dari arus residu yang ditimbulkan oleh arus total kebocoran *arrester*, *body* trafo dan *body* panel TR. Sedangkan input V_o diperoleh dari tegangan residu yang timbul akibat gangguan satu fasa ke tanah pada penyulang Semolo. Arus total kebocoran *arrester*, *body* trafo dan *body* panel TR pada penyulang Gebanglor adalah sebesar 2.59 A dan pada penyulang Srikana sebesar 2.62 A. Nilai arus bocor total pada penyulang Gebanglor dan Srikana melebihi *tap setting* arus dari DGR tipe EGR-EC yakni sebesar 2 A.

Setelah dilakukan perbaikan, arus total kebocoran *arrester* untuk penyulang Gebanglor adalah sebesar 0.046 A dan untuk penyulang Srikana sebesar 0.026 A. *Sympathetic trip* tidak akan terjadi karena arus urutan nol pada masing-masing penyulang tidak melebihi *tap setting* arus $I_o = 2 A$ pada DGR.

Daftar Pustaka

- [1] Anthony J. Pansini, *Electrical Distribution Engineering*, Singapura: McGraw-Hill, 1986.
- [2] A.E. Fitzgerald, C. Kingsley, dan S.D. Umans, *Mesin-mesin Listrik*, Jakarta: Erlangga, 1992.
- [3] Badan Standarisasi Nasional, *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000*, Jakarta: Yayasan PUIL, 2000.
- [4] B. Ravindranath and M. Chander, *Power System Protection and Switchgear*, Singapura: John Wiley & Sons, 1987.
- [5] C.L. Wadhwa, *Electrical Power Systems*, New Delhi : Wiley Eastern Limited, 1989.
- [6] GEC Alsthom. *Protective Relays: Application Guide*, London Balding+Mansel, 1987.
- [7] James J. Burke, *Power Distribution Engineering*, New York: Marcel Dekker Inc, 1994.
- [8] J. Lewis Blackburn, *Protective Relaying: Principles and Applications*, New York: Marcel Dekker, 1987.
- [9] J. Lewis Blackburn, *Symmetrical Component for Power System Engineering*. New York: Marcel Dekker, 1993.
- [10] M.Titarenko, dan I. Noskov-Dukelsky, *Protective Relaying In Electrical Power System*, Moscow : Peace Publisher.
- [11] Perusahaan Umum Listrik Negara. *SPLN 52-3 :1983 Pola Pengamanan Sistem*, Jakarta: Departemen Pertambangan dan Energi, 1983.
- [12] Turan Gonen, *Electric Power Distribution System Engineering*, Singapore: McGraw-Hill, 1986.

- [13] Turan Gonen, *Electrical Power Transmission System Engineering: Analysis and Design*, USA: John Wiley & Sons Inc, 1988.
- [14] T.S. Hutaeruk, *Gelombang Berjalan & Proteksi Surja*, Jakarta: Erlangga, 1989.
- [15] T.S. Hutaeruk, *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga & Pengetanahan Peralatan*, Jakarta: Erlangga, 1987.
- [16] William D. Stevenson Jr, *Analisa Sistem Tenaga Listrik*, Jakarta : Erlangga, 1996.
- [17] Zuhail. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, Jakarta: PT.Gramedia Pustaka Utama, 2000.
- [18] Zuhail. *Dasar Tenaga Listrik*, Bandung: Penerbit ITB, 1991.