

ANALISIS ARUS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA PENYULANG 20 KV DENGAN *OVER CURRENT RELAY* (OCR) DAN *GROUND FAULT RELAY* (GFR)

I Gusti Putu Arka, Nyoman Mudiana, dan Gusti Ketut Abasana
Jurusan Teknik Elektro – Politeknik Negeri Bali

Abstrak: Gangguan hubung singkat fasa ke tanah dan fasa-fasa merupakan salah satu permasalahan yang mungkin timbul dalam pengoperasian penyulang 20 kV. 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 seting arus pada relai arus lebih, sehingga relai arus lebih memicu pemutus tenaga bekerja sesuai dengan setting waktu yang diterapkan, sehingga risiko kerusakan pada sistem kelistrikan dapat dihindari.

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

ANALYSIS OF SHORT CIRCUIT CURRENT IN THE 20 KV FEEDER BY USING OVER CURRENT RELAY (OCR) AND GROUND FAULT RELAY (GFR)

Abstract: Problem of short circuit phase to grounding and phase to phase is one of problems that may appear in the operation of the 20 kV feeder. Problem caused by short circuit is in a lot of detriments, such that in the electrical transmission system as well as in consumers electric power. One of the way to overcome the problem is by installing safety equipments on transformer. Current relay is a protecting relay functioning as a circuit breaker. Problem of short circuit phase to ground and phase leads in short circuit had exceeded relay current that the current triggered circuit breaker based on time set. This system can avoid electric current damage.

Key words: over current relay, relay setting, short circuit.

I. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Daya listrik yang disalurkan melalui sistem distribusi tenaga listrik menuju pemakai harus memiliki mutu dan keandalan yang tinggi. Transformator merupakan peralatan yang sangat vital dalam penyaluran sistem tenaga listrik karena transformator merupakan peralatan yang menyalurkan sistem listrik langsung ke konsumen baik konsumen tegangan tinggi, tegangan menengah maupun tegangan rendah. Dalam sistem penyaluran tidak menutup kemungkinan terjadi gangguan terutama gangguan yang disebabkan oleh alam.

Gangguan yang sering terjadi antara lain kawat penghantar putus, kerusakan pada pembangkit, gangguan pada saluran transmisi akibat petir serta gangguan hubung singkat. Dengan adanya gangguan yang tidak dapat diprediksi maka diperlukan suatu peralatan pengaman (sistem proteksi) yang tepat dan dapat diandalkan pada peralatan sistem tenaga listrik serta pengoperasian dan pemeliharaan yang baik.

Relai proteksi harus dapat mengenal kondisi abnormal pada sistem tenaga dan melakukan langkah-langkah yang dianggap perlu untuk menjamin pemisahan gangguan dengan kemungkinan gangguan terkecil terhadap operasi normal. Gangguan hubung singkat ini dapat menyebabkan arus hubung singkat yang lamanya tergantung pada pengaturan relai yang dipasang. Relai pengaman pada transformator dibedakan menjadi dua yaitu elektrik dan mekanis. Relai pengaman elektrik yaitu relai differential, relai arus lebih untuk sisi primer dan sekunder. Bila gangguan hubung singkat dibiarkan berlangsung agak lama pada suatu sistem daya, akan banyak pengaruh-pengaruh yang tidak diinginkan yang akan terjadi.

Rumusan Masalah

Permasalahan pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana analisis arus gangguan hubung singkat pada penyulang 20 kV?
2. Bagaimana pengaruh pemasangan OCR dan GFR terhadap arus hubung singkat tersebut?

II. TINJAUAN PUSTAKA

Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat adalah gangguan yang terjadi karena adanya kesalahan antara bagian-bagian yang bertegangan. Gangguan hubung singkat dapat juga terjadi akibat adanya isolasi yang tembus atau rusak karena tidak tahan terhadap tegangan lebih, baik yang berasal dari dalam maupun yang berasal dari luar. Bila gangguan hubung singkat dibiarkan berlangsung dengan agak lama pada suatu sistem daya, akan banyak pengaruh-pengaruh yang tidak diinginkan yang akan terjadi. Berikut ini akibat yang ditimbulkan gangguan hubung singkat:

- a. Berkurangnya batas-batas kestabilan untuk sistem daya.
- b. Rusaknya perlengkapan yang dekat dengan gangguan yang disebabkan oleh arus tak seimbang, atau tegangan rendah yang ditimbulkan oleh hubung singkat.

Gangguan hubung singkat adalah gangguan yang terjadi karena adanya kesalahan antara bagian-bagian yang bertegangan. Gangguan hubung singkat dapat terjadi akibat adanya isolasi yang tembus atau rusak karena tidak tahan terhadap tegangan lebih, baik yang berasal dari dalam maupun yang berasal dari luar (akibat sambaran petir). Gangguan hubung singkat adalah suatu kondisi pada sistem tenaga dimana penghantar yang berarus terhubung dengan penghantar lain atau dengan tanah. Gangguan yang mengakibatkan hubung singkat dapat menimbulkan arus yang jauh lebih besar dari pada arus normal. Bila gangguan hubung singkat dibiarkan berlangsung dengan lama pada suatu sistem daya, banyak pengaruh-pengaruh yang tidak diinginkan yang dapat terjadi.

- a. Berkurangnya batas kestabilan sistem daya.
- b. Rusaknya perlengkapan yang dekat dengan gangguan oleh arus tak seimbang, atau tegangan rendah yang ditimbulkan oleh hubung singkat.
- c. Ledakan yang mungkin terjadi pada peralatan yang mengandung minyak isolasi sewaktu terjadinya suatu hubung singkat.
- d. Terpecahnya keseluruhan daerah pelayanan sistem daya itu oleh suatu rentetan tindakan pengamanan yang diambil oleh sistem

pengamanan yang berbeda – beda; kejadian ini di kenal sebagai “*cascading*”.

Relai Pengaman

Relai pengaman adalah suatu piranti baik elektrik maupun magnetik yang dirancang untuk mendeteksi suatu kondisi ketidaknormalan pada peralatan sistem tenaga listrik yang tidak diinginkan. Jika kondisi abnormal tersebut terjadi maka relai pengaman secara otomatis memberikan sinyal atau perintah untuk membuka pemutus tenaga (*circuit breaker*) agar bagian yang terganggu dapat dipisahkan dari sistem normal. Di samping itu, relai juga berfungsi untuk menunjukkan lokasi dan macam gangguannya sehingga memudahkan evaluasi pada saat terjadi gangguan (Tjahjono, 2000).

Relai Arus Lebih

Proteksi arus lebih adalah proteksi terhadap perubahan parameter arus yang sangat besar dan terjadi pada waktu yang cepat, yang disebabkan oleh hubung singkat. Pada proteksi arus lebih ini, relai akan pick-up jika besar arus melebihi nilai seting (Tjahjono, 2000). Relai arus lebih terdapat beberapa karakteristik waktu yang dikelompokkan menjadi tiga jenis:

1. Relai arus lebih seketika (*instantaneous*)

Relai ini memberikan perintah trip pada pemutus tenaga pada saat terjadi gangguan hubung singkat dan besar arus gangguannya mencapai arus settingnya (I_s) dan jangka waktu kerja relai mulai pick up sampai relai bekerja sangat singkat tanpa tunda waktu (20 ms - 60 ms).

2. Relai arus lebih waktu tertentu Relai ini akan memberikan perintah trip pada PMT pada saat terjadi gangguan hubung singkat dan besar arus gangguannya mencapai setting (I_s) dan jangka waktu kerja relai mulai pick up sampai relai kerja diperpanjang dengan waktu tertentu tidak tergantung besarnya arus yang mengerjakan relai.

3. Relai arus lebih terbalik (*inverse*)

Relai ini akan memberikan perintah trip pada PMT pada saat terjadi gangguan bila arus gangguan mencapai nilai settingnya (I_s) dan jangka waktu kerja relai mulai pick up sampai kerja relai diperpanjang berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan. Pada relai ini sumbu tegak merupakan waktu dalam detik dan

sumbu datar adalah berapa kali besarnya arus gangguan yang melewati relai terhadap arus penyetelannya ($n \times I_{set}$). Penyetelan waktu ditunjukkan dengan kurva yang sering digunakan dan disebut dengan T_d (*time dial*) atau TMS (*time multiple setting*) yang dirumuskan sebagai berikut (PT. PLN, 2005c):

$$t = TMS(T_d) \times \frac{k}{(I/I_s)^\alpha - 1} + c \quad (1)$$

Relai Arus Lebih pada Transformator Daya

Relai pengaman pada transformator dibedakan menjadi dua yaitu elektrik dan mekanis. Relai-relai pengaman elektrik yaitu relai differential, relai arus lebih untuk sisi primer dan sekunder, relai arus terbatas (REF atau *restricted earth fault*) untuk sisi primer dan sekunder serta relai sisi netral (SBEF atau *stand by earth fault*) untuk melindungi resistor netral trafo pada saat terjadi gangguan ke tanah. Untuk relai pengaman mekanis antara lain relai *buchholz*, relai *jansen* dan relai *sudden pressure* di mana setiap relai pengaman mempunyai fungsi tersendiri.

Tabel 1. Konstanta karakteristik OCR

No	Deskripsi	k	c	α
1	Definit time	-	0-100	-
2	Standart inverse	0,14	0	0,02
3	Very inverse	13,5	0	1
4	Extremely inverse	80	0	2
5	Long time inverse	120	0	1

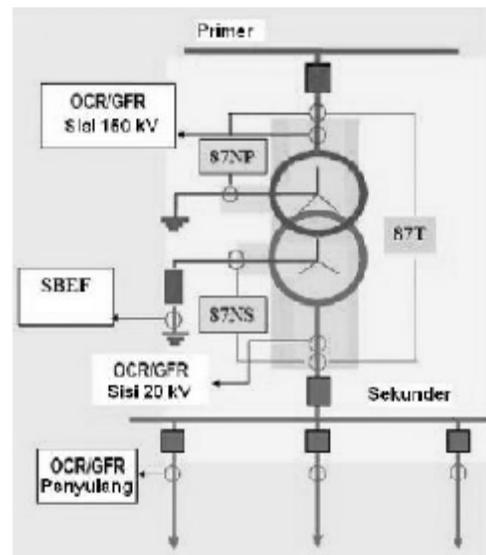
Gangguan pada transformator dibedakan menjadi dua yaitu gangguan internal dan eksternal. Untuk gangguan internal dapat dikelompokkan menjadi dua jenis gangguan yaitu gangguan incipien dan gangguan elektrik.

Gangguan yang sering terjadi pada transformator merupakan gangguan di luar daerah pengamanan transformator seperti hubung singkat satu fasa ke tanah ataupun gangguan antar fasa. Gangguan ini mempunyai pengaruh terhadap transformator daya sehingga transformator harus segera dikeluarkan dari sistem, bila gangguan tersebut

terjadi hanya setelah waktu tertentu untuk memberi kesempatan relai pengaman daerah yang terganggu bekerja. Untuk kondisi gangguan di luar daerah pengamanannya misalnya gangguan hubung singkat pada di sisi 20 kV atau di penyulang 20 kV maka relai arus lebih dengan perlambatan waktu digunakan sebagai pengamannya. Koordinasi yang baik untuk pengaman cadangan transformator ini sangat diperlukan untuk memperoleh selektivitas yang tepat dengan daerah berikutnya yang terkait. Berikut ini merupakan skema proteksi pada transformator daya (PT. PLN, 2005c).

Pemutus Tenaga (PMT)

Pemutus tenaga (PMT) atau lebih dikenal dengan istilah *Circuit Breaker* (CB) merupakan suatu piranti saklar mekanik yang secara otomatis akan membuka atau memutuskan rangkaian listrik apabila terjadi ketidaknormalan pada suatu system tanpa adanya kerusakan.



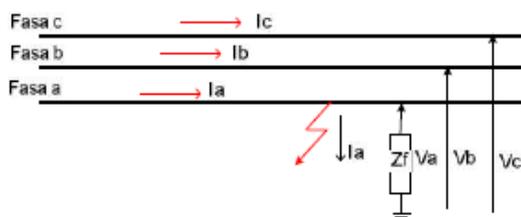
Gambar 1. Skema sistem proteksi transformator

Pemutus tenaga terdiri atas kontak-kontak yang dialiri arus listrik atau lebih dikenal dengan elektroda. Pada kondisi normal elektroda-elektroda tersebut dalam kondisi terhubung, sebaliknya pada kondisi abnormal maka elektroda-elektroda akan terpisah dan memutuskan hubungan listrik dari satu sisi ke sisi yang lainnya (PT. PLN, 2005a).

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 amper) (Tjahjono, 2000).

Gangguan tidak simetris menyebabkan arus tidak seimbang dalam sistem, sehingga dibutuhkan komponen simetris untuk perhitungannya. sebagaimana uraian di atas. Rangkaian gangguan satu fasa ke tanah:



Gambar 2. Gangguan satu fasa ke tanah

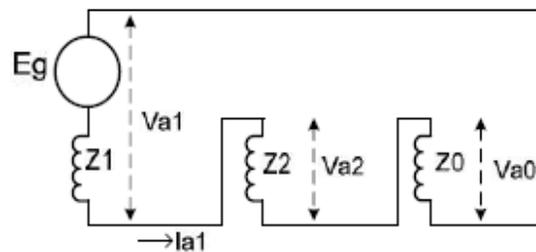
Dari persamaan arus untuk gangguan tidak simetris maka diperoleh:

$$Ia_1 = \frac{1}{3}(Ia + aIb + a^2Ic)$$

$$Ia_2 = \frac{1}{3}(Ia + a^2Ib + aIc)$$

$$Ia_0 = \frac{1}{3}(Ia + Ib + Ic)$$

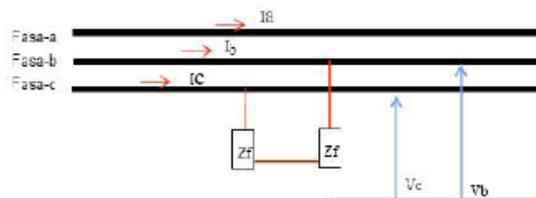
Pada gangguan satu fasa ke tanah, rangkaian urutan positif, negatif dan urutan nol terhubung seri, seperti ditunjukkan pada rangkaian di bawah ini.



Gambar 3. Rangkaian Urutan Arus Gangguan Fase ke Tanah

Gangguan Hubung Singkat Fasa-fasa

Pada gangguan antar fasa fasa B dan fasa C mengalami gangguan akan menyebabkan kenaikan arus pada fasa B dan C, sedangkan tegangan untuk fasa tersebut menjadi drop (menjadi nol). Diagram rangkaian untuk gangguan antar fasa ditunjukkan dalam gambar di bawah ini (Stevenson, 1984).



Gambar 4. Rangkaian Gangguan Fase ke Fase

Kondisi pada saat gangguan adalah:

$$Vb = Vc, Ia = 0 \text{ dan } Ib = - Ic$$

III. METODE PENELITIAN

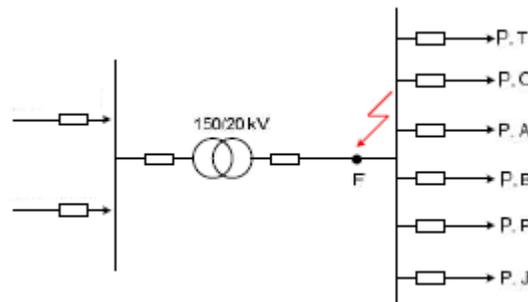
Penelitian ini dilakukan dengan cara mengumpulkan data-data spesifikasi transformator daya dan setting relai arus lebih, kemudian melakukan pengamatan dan pengambilan data penyulang 20 kV. Berdasarkan data-data yang ada, dilakukan analisis dan perhitungan besar arus gangguan terhadap relai proteksi sehingga relai arus bekerja dan mentripkan pemutus tenaga / CB (*Circuit Breaker*).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Spesifikasi Penyulang 20 kV

Data-data trafo adalah sebagai berikut :

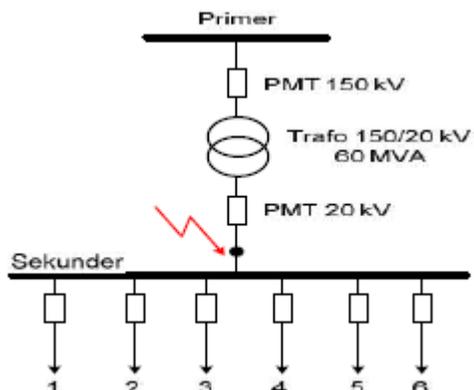
1. Instalasi : Konvensional
2. Jumlah fasa : 3 fasa
3. Frekuensi : 50 Hz
4. Impedansi : 12.83%
5. Daya pengenal : 60 MVA
6. Tegangan sisi tinggi : 150kV
7. Tegangan sisi rendah: 20 kV
8. Arus nominal sisi 150 kV : 231 Ampere
9. Arus nominal sisi 20 kV : 1650 Ampere



Gambar 6. Single Line Trafo dan Titik Gangguan

Setting Relai Arus Lebih

Berikut ini diagram blok Trafo beserta setting relai arus lebih yang terpasang pada *incoming* 20kV dan penyulang yang menjadi beban .



Gambar 5. Diagram Blok Trafo dan Penyulang

Perhitungan Arus Hubung Singkat

Perhitungan arus gangguan hubung singkat pada jaringan 20 kV Trafo #1 150/20 kV 60 MVA di GI Cawang Lama dengan panjang saluran dari sisi sekunder Trafo ke sel incoming 20 kV 100 meter dan impedansi Trafo sebesar 12,83% dengan asumsi beban 55 Mwatt.

Parameter Dasar

- Et = 1
- Sbase = 60 MVA
- Vbase = 20 kV

Jika penyetelan *overcurrent relay* (OCR) dan *ground fault relay* (GFR) yang berada di *Incoming* atau di *outgoing* kurang baik, dapat menyebabkan pemadaman total (*black out*) atau jika salah satu penyulang terkena gangguan, dapat mengakibatkan penyulang lain yang berada pada satu bus juga ikut trip, karena gangguan hubung singkat dapat mentripkan relai yang ada pada *incoming* feeder.

Tabel 2. Data seting OCR

Lokasi	Relay	Ratio CT	In	Ic	Ip	Td	I inst
P. O	MCGG52	300/5	5	5	300	0.05	2220
P. A	MCGG52	300/5	5	5	300	0.05	2220
P. B	MCGG52	300/5	5	5	300	0.05	2220
P. J	MCGG52	300/5	5	5	300	0.05	2220
P. P	MCGG52	300/5	5	5	300	0.05	2220
P. T	MCGG52	300/5	5	5	300	0.05	2220

Relai gangguan tanah *Ground Fault Relai* (GFR). Relai ini digunakan sebagai pengaman, fungsinya nanti adalah untuk membantu relai diferensial dalam mengamankan busbar dari gangguan hubung tanah di dalam daerah pengaman busbar.

Tabel 3. Data seting GFR

Lokasi	Relay	Ratio CT	In	Ic	Ip	Td	I inst
P. O	MCGG52	300/5	5	2	80	0.05	Blok
P. A	MCGG52	300/5	5	2	80	0.05	Blok
P. B	MCGG52	300/5	5	2	80	0.05	Blok
P. J	MCGG52	300/5	5	2	80	0.05	Blok
P. P	MCGG52	300/5	5	2	80	0.05	Blok
P. T	MCGG52	300/5	5	2	80	0.05	Blok

Suatu gangguan didalam peralatan listrik didefinisikan sebagai terjadinya suatu kerusakan di dalam sirkuit listrik yang menyebabkan aliran arus

listrik keluar dari saluran yang seharusnya. Gangguan ini umumnya disebabkan oleh putusnya kawat saluran transmisi sehingga terjadi hubung singkat ke tanah, pecahnya isolator atau rusaknya isolasi.

Tabel 4. Data pemutus tenaga

Lokasi	Merk	Ratio CT	Td	I inst
P. O	ABB	300/5	0.05	Blok
P. A	ABB	300/5	0.05	Blok
P. B	Goldstar	300/5	0.05	Blok
P. J	ABB	300/5	0.05	Blok
P. P	ABB	300/5	0.05	Blok
P. T	Goldstar	300/5	0.05	Blok

Nilai Impedansi

$$Z_{total1pu} = 0,129 + 1,687i \times 10^{-3} pu$$

$$Z_{total2pu} = 0,129 + 1,687i \times 10^{-3} pu$$

$$Z_{total0pu} = 0,13 + 5,062i \times 10^{-4} pu$$

Perhitungan gangguan satu fasa ke tanah

$$I_b = 0$$

$$I_c = 0$$

$$I_{a1} = \frac{E_t}{Z_{total1pu} + Z_{total2pu} + Z_{total0pu}}$$

$$= 2,577 - 0,026i$$

$$I_{a2} = I_{a1}$$

$$= 2,577 - 0,026i$$

$$I_{a0} = I_{a1}$$

$$= 2,577 - 0,026i$$

Perhitungan gangguan fasa – fasa

$$I_{a\Phi\Phi} = 0$$

$$I_{a\Phi\Phi} = 0$$

Perhitungan Setting Relai Arus Lebih

Arus nominal sisi 150 kV : 231 Ampere
 Ratio CT : 300/5 Ampere

1. Setting relai arus lebih (OCR)

$$= 1,2 \times \text{ arus nominal trafo}$$

$$= 1,2 \times 231$$

$$= 277,2 \text{ Ampere}$$

Dipilih 300 Ampere

Arus setting sisi sekunder :

$$= 300 \times \frac{1}{\text{RatioCT}}$$

$$= 300 \times \frac{1}{300 / 5}$$

$$= 5 \text{ Ampere}$$

Setting waktu rele OCR

Sesuai kaidah aturan yang diterapkan di lingkungan PT PLN (persero) P3B Jawa Bali untuk waktu kerja rele OCR sisi 150 kV sebesar 0,55 detik sebagai berikut:

$$0,55 = TMS (Td) \times 1,844$$

2. Setting relai gangguan tanah (GFR)

$$= 0,1 \times \text{ arus nominal NGR}$$

$$= 0,1 \times 1000$$

$$= 100 \text{ Ampere}$$

Dipilih 120 Ampere

Arus setting sisi sekunder :

$$= 120 \times \frac{1}{\text{RatioCT}}$$

$$= 120 \times \frac{1}{300 / 5}$$

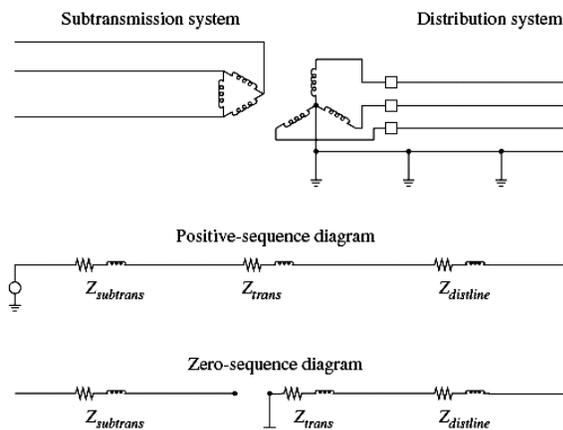
$$= 2 \text{ Ampere}$$

Setting waktu GFR

$$1,3 = TMS (Td) \times 3,2319$$

Analisa Arus Gangguan

Arus gangguan tiga fase hampir selalu mempunyai magnitude yang lebih besar. Pada beberapa jaringan, impedansi urutan nol lebih signifikan dibandingkan komponen urutan positif.



Gambar 7. Urutan Trafo Delta-Wye

Pada lokasi tertentu arus gangguan fase ke tanah dapat menjadi lebih besar, misalnya pada gardu induk.

1. Hubungan *delta-wye* transformator adalah sumber komponen urutan nol. Komponen urutan positif merupakan impedansi saluran sistem subtransmisi atau sistem transmisi, komponen urutan nol tidak.
2. Jika transformator gardu jenis *three-legged*, komponen urutan nol lebih rendah dibandingkan komponen urutan positif, impedansi urutan nol 85% dari komponen urutan positif. Jika terjadi gangguan fase tanah meningkat 2,5%.

V SIMPULAN

Dari uraian di atas dapat diambil beberapa simpulan sebagai berikut :

1. Besar arus gangguan satu fasa ke tanah yang terjadi pada saluran kabel 20 kV menuju *incoming* 20 kV sebesar 13.390 Ampere dan gangguan fasa-fasa sebesar 11.640 Ampere
2. Setting relai arus lebih (OCR) sisi 150 kV sebesar 300 Ampere untuk sisi primer, 5 ampere untuk sisi sekunder. *Ground fault relay* (GFR) sebesar 120 Ampere untuk sisi primer, sisi sekunder sebesar 2 Ampere.
3. Setting relai arus lebih (OCR) sisi 20 kV sebesar 2000 Ampere untuk sisi primer, 5 ampere untuk sisi sekunder. *Ground fault relay* (GFR) sisi 20 kV sebesar 400 Ampere

untuk sisi primer, sisi sekunder sebesar 1 Ampere.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Johnson, Elaine B. 2002. *Contextual Teaching and Learning: What is and way it's here to stay*. United stated of Amarica: Corwin Pres, Inc
- [2] Moelyono, Nono. *Pengantar Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Surabaya: Jurusan Teknik Elektro, ITS, 1999.
- [3] PT. PLN (Persero) P3B Jawa Bali. 2005a. "*Buku Petunjuk Operasi dan Pemeliharaan Pemutus Tenaga*". Badan Penerbit PLN. Jakarta.
- [4] PT. PLN (Persero) P3B Jawa Bali. 2005b. "*Modul Pelatihan Pengaman Transformator*". Badan Penerbit PLN. Jakarta.
- [5] PT. PLN (Persero) P3B Jawa Bali. 2005c. "*Modul Pelatihan Relai OCR*". Badan Penerbit PLN. Jakarta.
- [6] PT. PLN (Persero). 2010. *Buku 5, Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik*. Badan Penerbit PLN. Jakarta.
- [7] Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2000.
- [8] Stevenson, William D. Jr. 1984. "*Analisa Sistem Tenaga Listrik*". McGraw-Hill. Inc New York.