

ANALISA SETING ARUS DAN WAKTU TUNDA RELE ARUS LEBIH

Ija Darmana *)

Staf dosen Jurusan Teknik Elektro FTI Universitas Bung Hatta
JL. Gajah Mada No. 19 Padang, Telp. (0751)54257, Fax. (0751)51341

ABSTRACT

In operating the system of electric power, short circuit fault often occurs in many time. The large of short circuit current depends on the kind and manner of short circuit fault, the capacity of resources, and the configuration system.

The computation of short circuit current is required to establish current setting and time delay of over current relay in order to make protection tools working as efficient and optimal as possible.

In this paper, the writer tries to analyze short circuit fault which occurs in switchboard of 150 kilo Volt GI. Pauh Limo to establish setting current and time delay of over current relay in it's switchboard.

1. PENDAHULUAN

Arus gangguan hubung singkat dapat merusak sistem pembangkit dan dapat membahayakan manusia. Salah satu bagian dari sistem yang dapat rusak akibat gangguan tersebut yaitu peralatan sistem yang terdapat dalam Switchboard.

Switchboard adalah tempat dimana terdapatnya peralatan-peralatan pengaman yang berfungsi sebagai pusat pengontrolan peralatan pengaman suatu jaringan listrik. Guna mengurangi terjadinya kerusakan peralatan listrik terdapat dua alternatif dalam perencanaan yaitu:

1. Sistem dapat direncanakan

sedemikian rupa sehingga gangguan tidak terjadi.

2. Gangguan masih mungkin terjadi, sehingga harus dilakukan langkah-langkah untuk melokalisir gangguan, agar kerusakan yang terjadi dapat ditekan sekecil mungkin.

Guna mengatasi hal diatas, salah satunya dipasang rele proteksi dimana rele proteksi tersebut berfungsi mendeteksi kondisi tidak normal yang mungkin terjadi. Cara kerja dari rele yaitu membandingkan suatu besaran listrik. Besaran-besaran listrik tersebut adalah tegangan, arus, sudut fasa dan

frekuensi.

Suatu rele proteksi yang baik dan efisien harus memiliki karakteristik, seperti : kecepatan, selektifitas, sensitifitas, keandalan, sederhana, dan ekonomis

2. GANGGUAN HUBUNG

SINGKAT

Gangguan hubung singkat dapat didefinisikan sebagai gangguan yang terjadi akibat adanya penurunan kekuatan dasar isolasi antara sesama kawat fasa atau antara kawat fasa dengan tanah yang menyebabkan kenaikan arus secara berlebihan. Hubung singkat ini timbul karena adanya gangguan seperti sambaran petir, jaringan fasa atau salah satu fasa ditimpa dahan serta terputusnya kawat fasa.

Pada sistem tenaga listrik berfasa tiga, gangguan hubung singkat yang sering terjadi adalah :

- Gangguan hubung singkat satu fasa ketanah (K-T)
- Gangguan hubung singkat dua fasa (K-K)
- Gangguan hubung singkat dua fasa ketanah (K-K-T)
- Gangguan hubung singkat tiga fasa (K-K-K)

2.1. Impedansi Urutan.

Jaringan urutan menunjukkan semua jalur aliran arus dari urutan di dalam sistem. Seperti juga tegangan dan arus, didalam metode komponen simetris dikenal tiga macam impedansi urutan yaitu:

- Impedansi urutan positif (Z_1),
- Impedansi urutan negatif (Z_2), dan
- Impedansi urutan nol (Z_0).

Kegunaan daripada impedansi urutan untuk mempermudah dalam menghitung besar arus gangguan hubung singkat pada sistem distribusi. Untuk menentukan impedansi urutan terlebih dahulu menentukan V_{a1} , V_{a2} , V_{a0} dan I_{a1} , I_{a2} , dan I_{a0}

$$V_{a0} = \frac{1}{3} (V_a + V_b + V_c)$$

$$I_{a0} = \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c) = 0$$

$$V_{a1} = \frac{1}{3} (V_a + aV_b + a^2V_c)$$

$$I_{a1} = \frac{1}{3} (I_a + aI_b + a^2I_c) = 0$$

$$V_{a2} = \frac{1}{3} (V_a + a^2V_b + aV_c)$$

$$I_{a2} = \frac{1}{3} (I_a + a^2I_b + aI_c) = 0$$

Tegangan pada titik gangguan:

$$V_{a1} = E_a - I_{a1} Z_{a1}$$

$$V_{a2} = E_a - I_{a2} Z_{a2}$$

$$V_{a0} = E_a - I_{a0} Z_{a0}$$

$$0 = E_a - I_{a1} Z_{a1}$$

$$0 = - I_{a2} Z_{a2}$$

$$0 = - I_{a0} Z_{a0}$$

2.1.1. Impedansi Urutan Positif

Impedansi saluran terdiri dari resistansi dan reaktansi. Resistansi arus searah dari saluran akan ada jika terdapat distribusi arus yang merata diseluruh penghantar. Resistansi dc diberikan oleh penghantar dengan pers. (1) dibawah ini.

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (1)$$

dimana :

R = Resistansi penghantar
(Ohm meter)

L = Panjang penghantar (Meter)

A = Luas penampang penghantar (m²)

ρ = Tahanan jenis penghantar

Impedansi urutan positif adalah impedansi yang ditemui oleh arus urutan positif, yaitu dengan ketentuan bahwa:

$$I_{a2} = I_{a0} = 0$$

$$I_{a1} \neq 0$$

Sehingga diperoleh persamaan berikut ini:

$$Z_{a1} = \frac{V_a}{I_{a1}} \quad (2)$$

$$Z_{b1} = \frac{V_b}{I_{b1}} \quad (3)$$

$$Z_{c1} = \frac{V_c}{I_{c1}} \quad (4)$$

2.1.2. Impedansi Urutan Negatif

Impedansi urutan negatif adalah impedansi yang hanya dilalui oleh arus urutan negatif. Impedansi-impedansi urutan negatif dan positif sama dalam suatu sistem statis. Impedansi urutan negatif merupakan impedansi yang ditemui oleh arus urutan negatif. Bila :

$$I_{a1} = I_{a0} = 0 \quad I_{a2} \neq 0 \quad (5)$$

Maka :

$$Z_{a2} = \frac{V_a}{I_{a2}} \quad (6)$$

$$Z_{b2} = \frac{V_b}{I_{b2}} \quad (7)$$

2.1.3. Impedansi Urutan Nol

Impedansi urutan nol adalah impedansi yang hanya dilalui oleh arus urutan nol. Pada arus urutan nol, sistem tiga fasa bekerja seperti fasa tunggal, karena arus urutan nol selalu sama besar dan fasanya disetiap titik pada semua fasa sistem tersebut, karena itu arus urutan nol hanya akan mengalir jika terdapat jalur kembali yang membentuk rangkaian lengkap.

Impedansi urutan nol ialah impedansi yang ditemui oleh arus urutan nol. Bila :

$$I_{a1} = I_{a2} = 0$$

$$I_{a0} \neq 0$$

Maka :

$$Z_{a0} = \frac{V_a}{I_{a0}} \quad (8)$$

$$Z_{b0} = \frac{V_b}{I_b} \quad (9)$$

$$Z_{c0} = \frac{V_c}{I_{c0}} \quad (10)$$

2.2. Sistem Satuan

Untuk memudahkan perhitungan atau analisa biasanya dipakai nilai-nilai dalam satuan pu. Adapun nilai-nilai yang dinyatakan dalam pu ini adalah nilai yang sebenarnya dibagi nilai dasar, misalkan impedansi dasar dinyatakan dalam pers. (11) dan impedansi per-unit oleh pers. (12) dibawah ini:

$$Z_{\text{dasar}} = \frac{(\text{Tegangan dasar, kV}_{L-N})^2}{\text{dasar kVA}_{1\phi}} \times 1000 \quad (11)$$

$$Z_{\text{dasar}} = \frac{(\text{Tegangan dasar, kV}_{L-N})^2}{\text{dasar MVA}_{1\phi}}$$

$$Z_{\text{pu}} \text{ dari suatu elemen rangkaian} = \frac{\text{Impedansi sebenarnya } (\Omega)}{\text{Impedansi dasar } (\Omega)} \quad (12)$$

atau :

$$Z_{\text{dasar}} = \frac{(\text{Tegangan dasar, kV}_{L-L})^2}{\text{MVA}_{1\phi} \text{ dasar}} \times 1000 \quad (13)$$

Karena semua impedansi dalam bagian manapun dari suatu sistem harus dinyatakan dengan dasar impedansi yang

sama, maka impedansi per-unit dari suatu elemen rangkaian dapat ditentukan dengan menggunakan pers.(14).

$$Z_{\text{pu}} = \frac{(\text{Impedansi sebenarnya, } \Omega) \times (\text{kVA}_{\text{dasar}})}{\text{Impedansi dasar, kV}^2 \times 1000} \quad (14)$$

Guna mengubah impedansi per-unit menurut suatu dasar tertentu menjadi impedansi per-unit menurut suatu dasar yang baru dapat dilakukan pers. (15).

$$Z_{\text{baru pu}} = Z_{\text{diberikan pu}} \times$$

$$\frac{(\text{kV}_{\text{diberikandasar}})^2}{(\text{kV}_{\text{baru dasar}})^2} \times \frac{(\text{kVA}_{\text{baru dasar}})}{(\text{kVA}_{\text{diberikandasar}})} \quad (15)$$

2.3. Hubungan Komponen Simetris Dengan Fasor Diagram

Bila E_a , E_b dan E_c diuraikan dalam komponen-komponen simetrisnya yaitu seperti terlihat dibawah ini:

$$E_a = E_{a1} + E_{a2} + E_{a0}$$

$$E_b = E_{b1} + E_{b2} + E_{b0}$$

$$E_c = E_{c1} + E_{c2} + E_{c0} \quad (16)$$

dimana : E_{a1} , E_{b1} dan E_{c1} adalah komponen simetris urutan positif.

E_{a2} , E_{b2} dan E_{c2} adalah komponen simetris urutan negatif.

E_{a0} , E_{b0} dan E_{c0} adalah komponen simetris urutan nol.

Bila perputaran 120^0 diganti oleh suatu operator “a” dimana $a = 1 \angle 120^0$ dan dipilih fasa a sebagai fasa acuan maka akan diperoleh:

$$\begin{aligned} E_{a1} &= E_{a1} & E_{a2} &= E_{a2} & E_{a0} &= E_{a0} \\ E_{b1} &= a^2 E_{a1} & E_{b2} &= a E_{a2} & E_{b0} &= E_{a0} \\ E_{c1} &= a E_{a1} & E_{c2} &= a^2 E_{a2} & E_{c0} &= E_{a0} \end{aligned}$$

Bila disubstitusikan ke pers. (16) maka akan diperoleh :

$$\begin{aligned} E_a &= E_{a1} + E_{a2} + E_{a0} \\ E_b &= a^2 E_{a1} + a E_{a2} + E_{a0} \\ E_c &= a E_{a1} + a^2 E_{a2} + E_{a0} \end{aligned} \quad (17)$$

Untuk merubah besaran fasa kekomponen simetris dapat dilakukan dengan menggunakan pers. (18) dibawah ini.

$$\begin{aligned} E_{a1} &= \frac{1}{3} (E_a + a E_b + a^2 E_c) \\ E_{a2} &= \frac{1}{3} (E_a + a^2 E_b + a E_c) \\ E_{a0} &= \frac{1}{3} (E_a + E_b + E_c) \end{aligned} \quad (18)$$

Untuk arus juga berlaku rumus yang sama seperti ditunjukkan oleh pers. (19) berikut ini.

$$\begin{aligned} I_a &= I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} \\ I_b &= a^2 I_{a1} + a I_{a2} + I_{a0} \\ I_c &= a I_{a1} + a^2 I_{a2} + I_{a0} \end{aligned} \quad (19)$$

atau :

$$\begin{aligned} I_{a1} &= \frac{1}{3} (I_a + a I_b + a^2 I_c) \\ I_{a2} &= \frac{1}{3} (I_a + a^2 I_b + a I_c) \\ I_{a0} &= \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c) \end{aligned} \quad (20)$$

Bila netral transformator ditanah, maka besarnya arus balik netral sbb :

$$I_n = I_a + I_b + I_c \quad (21)$$

Dengan mensubstitusikan pers. (20) dan per. (21), maka diperoleh :

$$I_n = 3 I_{a0} \quad (22)$$

2.3.1. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Persamaan keadaan :

$$I_a + I_b + I_c = 0 \quad (23)$$

$$V_a = I_a Z_f \quad (24)$$

$$V_b = I_b Z_f \quad (25)$$

$$V_c = I_c Z_f \quad (26)$$

Dengan mempergunakan pers. (18) dan pers. (20), didapat formulasi-formulasi dibawah ini:

$$I_{a0} = \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c) = 0 \quad (27)$$

$$I_{a2} = \frac{1}{3} (I_a + a^2 I_b + I_c) = 0 \quad (28)$$

$$V_{a0} = \frac{1}{3} (V_a + V_b + V_c) = 0 \quad (29)$$

$$V_{a1} = \frac{1}{3} (V_a + aV_b + a^2V_c) = I_{a1} Z_f \quad (30)$$

$$V_{a2} = \frac{1}{3} (V_a + a^2V_b + aV_c) = I_{a2} Z_f \quad (31)$$

Selanjutnya dari turunan persamaan diatas diperoleh arus gangguan tiga fasa seperti diperlihatkan oleh pers. (32)

$$I_f = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} \quad (32)$$

2.3.2. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

Persamaan keadaan :

$$I_a = 0 \quad (33)$$

$$I_b = -I_c \quad (34)$$

$$V_b = V_c + I_b + I_b Z_f \quad (35)$$

Dengan mempergunakan persamaan (20) maka akan diperoleh :

$$I_{a0} = \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c) \quad (36)$$

$$I_{a1} = \frac{1}{3} (I_a + aI_b + a^2I_c) = \frac{1}{3} I_b (a - a^2) \quad (37)$$

$$I_{a2} = \frac{1}{3} (I_a + a^2I_b + aI_c) = \frac{1}{3} I_b (a^2 - a) \quad (38)$$

Dengan mensubtitusikan persamaan-persamaan diatas, maka didapat persamaan untuk arus gangguan sbb :

$$I_f = \frac{J\sqrt{3V_f}}{(Z_1 + Z_2 + Z_3)} \quad (39)$$

2.3.3. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Ketanah

Persamaan keadaan :

$$I_a = 0 \quad (40)$$

$$V_b = (I_b + I_c) Z_f \quad (41)$$

$$V_c = (I_b + I_c) Z_f \quad (42)$$

Selanjutnya dengan menggunakan pers. (19) dan pers. (20) diperoleh persamaan sbb :

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} = 0$$

$$I_{a1} = - (I_{a2} + I_{a0})$$

$$I_{a0} = \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c) = \frac{1}{3} (I_b + I_c)$$

$$3 I_{a0} = (I_b + I_c)$$

Dari pers. (41) dan pers. (42) didapat :

$$V_b = a^2 V_{a1} + aV_{a2} + V_{a0} = 3 I_{a0} Z_f \quad (43)$$

$$V_b = aV_{a1} + a^2V_{a2} + V_{a0} = 3 I_{a0} \quad (44)$$

Bila diturunkan persamaan-persamaan diatas, maka arus gangguan dua fasa ketanah adalah :

$$I_f = I_b = -j\sqrt{3V_f} \frac{(Z_0 + 3Z_f - a^2Z_2)}{Z_1Z_2 + (Z_1 + Z_2)(Z_0 + 3Z_f)} \quad (45)$$

$$I_f = I_c = j \sqrt{3V_f} \frac{(Z_0 + 3Z_f - aZ_2)}{Z_1 Z_2 + (Z_1 + Z_2)(Z_0 + 3Z_f)} \quad (46)$$

2.3.4. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ketanah

Persamaan keadaan :

$$I_b = 0 \quad (47)$$

$$I_c = 0 \quad (48)$$

$$V_a = I_a Z_f \quad (49)$$

$$I_{a1} = I_{a2} = I_{a0} \quad (50)$$

Dengan mempergunakan pers. (50) akan didapatkan persamaan-persamaan seperti dibawah ini :

$$I_{a1} = I_{a2} = I_{a0} = \frac{1}{3} I_a \quad (51)$$

$$V_a = V_f - I_{a1} Z_1 - I_{a2} Z_2 - I_{a0} Z_0 = V_f - I_{a1} (Z_1 + Z_2 + Z_0) \quad (52)$$

$$V_f = I_{a1} (Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3 Z_f) \quad (53)$$

$$I_{a1} = \frac{V_f}{(Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f)} \quad (54)$$

$$I_a = \frac{3V_f}{(Z_1 + Z_2 + Z_0 + Z_f)} \quad (55)$$

Dari turunan pers diatas, maka didapatkan arus gangguan satu fasa ketanah sbb :

$$I_f = \frac{3V_f}{(Z_1 + Z_2 + Z_0 + Z_f)} = 3 I_{a1} \quad (56)$$

Kesalahan arus sebenarnya pada sisi primer dengan menggunakan persamaan-persamaan sbb :

$$I_{f \text{ sebenarnya}} = I_{f \text{ (pu)}} \frac{KVA_{pu}}{\sqrt{3} T_{eg \text{ dasar}}} \quad (57)$$

$$I_{f \text{ (arc)}} = I_{f \text{ (sebenarnya)}} \frac{(V_s - V_{ds})}{V_s} \quad (58)$$

$$I_{\text{(primary)}} = I_{f \text{ (arc)}} \frac{V_{\text{primary}}}{\sqrt{3} T_{eg \text{ dasar}}} \quad (59)$$

Energi yang dilepas oleh switchboard diperoleh dengan persamaan sbb :

$$E = V_{\text{(arc)}} \times I_{f \text{ (arc)}} \times t \quad (\text{Joule}) \quad (60)$$

dimana :

$I_{f \text{ (arc)}}$: arus yang terjadi saat percikan (Ampere)

$V_{\text{(arc)}}$: tegangan saat percikan (Volt)

V_s : tegangan sumber (Volt)

V_{ds} : tegangan dasar (Volt)

I_{primary} : arus pada sisi primer (Ampere)

t : waktu yang terjadi pada saat time delay (Detik)

E : energi yang dilepas switchboard (Joule)

3. METODOLOGI PENULISAN.

Pengujian metode ini, diperoleh dengan melakukan analisa dari data sistem, dengan terlebih

dahulu menyelesaikan rangkaian sistem untuk menentukan impedansi urutan positif, negatif dan urutan nol.

Penentuan setting arus dan waktu tunda dari rele arus lebih (OCR) perlu memperhatikan karakteristik dari rele tersebut. Dalam penulisan ini karakteristik tersebut tidak dilampirkan.

Penelitian dilakukan dalam beberapa tahap ; Studi kepustakaan, data sistem diambil sistem Sumbar 150 kV, langkah-langkah analisa, dan penulisan hasil.

4. PEMBAHASAN.

4.1. Data Sistem.

Sistem terdiri dari data generator, transformator dan penghantar (saluran), yang terdapat pada sistem sumbar.

Tabel-4.1. Data Generator

No	Nama bus	Kapasitas (MW)	Tegangan (KV)	Impedansi		
				Z ₀ %	Z ₁ %	Z ₂ %
1	PLTA Maninjau	4 x 17	10	8	14	14
2	PLTG Pauh Limo	2 x 21,25	11	8,9	14,8	14,8
		2 x 35	11	8,9	14,8	14,8
		1 x 21,25	11	8,9	14,8	14,8
3	PLTU Ombilin	2 x 100	11,4	8,9	15,8	15,8

Tabel-4.2. Data Transformator

No	Nama Bus	Kapasitas (MVA)	Tegangan (KV)	Impedansi Z %
1	PLTA Maninjau	4 x 21,5	150/10	5,11
2	PLTG Pauh Limo	5 x 27	150/11	11,11
3	PLTU Ombilin	2 x 140	150/11,4	12
		1 x 20	150/6,3	12

Tabel-4.3. Data Saluran

No	Nama Bus		Panjang (Km)	Impedansi	
	Dari	Ke		Z ₀ (Ω)	Z ₁ (Ω)
1	Maninjau	Pdg Luar	41,60	0,244717	0,078589
2	Maninjau	PLTG Pauh Limo	90,10	0,768721	0,267639
3	PLTG Pauh Limo	Indarung	6,70	0,061936	0,013099
4	Indarung	Solok	34,05	0,190601	0,083731
5	Solok	Ombilin	27,48	0,157771	0,051916
6	Ombilin	Payakumbuh	61,25	0,403216	0,154285
7	Payakumbuh	Pdg Luar	32,00	0,184269	0,060455
8	Ombilin	Salak	2,42	0,020646	0,004723

Dimana :

MVA Dasar = 100 MVA ; Tegangan 150

KV.

Kawat Fasa jenis ACSR-240 mm ;

Jari-jari 8,740 mm.

R efektif = 0,118 Ohm / Km.

4.2. ANALISA DATA.

4.2.1. Impedansi Sistem

Dari persamaan (13) dan persamaan (14) maka diperoleh Z_{pu} untuk data generator, transformator dan saluran.

a. Generator

Kapasitas 17 MW

$$P = \sqrt{3} VI \cos \varphi \text{ Watt}$$

$$VI = \frac{17}{0,8\sqrt{3}} = 1228,69 \text{ kVA} = \text{kVA}_{\text{lama dasar}}$$

Tegangan dasar pada sisi PLTA

Maninjau adalah 10 KV

Name plate trafo 150 / 10

Tegangan dasar 150 KV

maka :

$$KV_{\text{baru dasar}} = \frac{10}{150} \times 150 = 10 \text{ KV}$$

Dengan memasukkan pers (15)

diperoleh Z_{baru pu} yaitu:

$$Z_{\text{baru pu}} = Z_{\text{diberikan pu}}$$

$$\frac{(kV_{\text{diberikandasar}})^2}{(kV_{\text{baru dasar}})^2} \times \frac{(kVA_{\text{baru dasar}})}{(kVA_{\text{diberikandasar}})}$$

$$Z_{\text{baru pu}} = 0,14$$

$$\frac{(10)^2}{(10)^2} \times \frac{(100000)}{(12269)} = 1,141116\Omega$$

$$Z_1 = 1,141116\Omega$$

$$Z_{1 \text{ total}} = 1,141116 : 4 = 0,285279\Omega$$

Dengan cara yang sama, diperoleh nilai Z_0 dan Z_1 yang lainnya seperti dalam tabel-4.4.

Tabel-4.4. Data Generator Yang Telah Ditransformasikan Ke Sistem

No	Nama Bus	Kapasitas (MW)	Tegangan (KV)	Impedansi	
				Z_{pu}	Z_{L-L}
1	PLTA Maninjau	4 x 17	10	0,652066	1,141116
Z total generator				0,163016	0,285279
2	PLTG Pauh Limo	2 x 21,35	11	0,577620	0,960538
		2 x 35,00	11	0,352348	0,585928
		1 x 21,35	11	0,580339	0,965058
Z total generator				0,302061	0,502304
3	PLTU Ombilin	2 x 100	11,4	0,123322	0,218931
				0,061661	0,109465

b. Transformator

Dari pers. (15), maka :

$$Z_{\text{baru pu}} = 0,0511 \times$$

$$\frac{(150)^2}{(150)^2} \times \frac{(100000)}{(21500)} = 0,237674 \text{ pu}$$

$$Z_{\text{pu total}} = 0,237674 : 4 = 0,059418 \text{ pu}$$

Dengan langkah-langkah yang sama didapat data transformator lainnya seperti diperlihatkan tabel-4.5.

Tabel-4.5. Data Transformator Dengan Impedansi Serta Besaran Dasar.

No	Nama Bus	Kapasitas (MVA)	Tegangan (KV)	Impedansi	
				Z_{pu}	Z_{L-L}
1	Maninjau	4 x 21,5	150 / 10	0,237674	0,059418
2	PLTG Pauh Limo	5 x 27	150 / 11	0,411481	0,082296
3	PLTU Ombilin	2 x 140	150 / 11,5	0,085714	0,042857
		1 x 20	150 / 6,3	0,6	0,6

c. Saluran

Impedansi saluran dari Maninjau ke Padang Luar dapat dicari dengan menggunakan pers. (13) seperti berikut :

$$Z_{\text{dasar}} = \frac{(\text{Tegangan dasar, } kV_{L-L})^2}{MVA_{3\phi} \text{ dasar}}$$

$$Z_{\text{dasar}} = \frac{(150)^2}{100} = 225 \Omega$$

$$Z_t = 0,078589 \Omega$$

$$\text{Panjang saluran} = 41,60 \text{ km}$$

Maka Z_{pu} dari suatu elemen rangkaian (impedansi saluran) adalah :

$$Z_{pu} \text{ dari suatu elem rangkaian} = \frac{\text{Impedansi sebenarnya } (\Omega)}{\text{Impedansi dasar } (\Omega)}$$

$$Z_{pu} = \frac{0,078589 \times 41,60}{225} = 0,014530 \Omega$$

Secara keseluruhan hasil perhitungan impedansi saluran tersebut dapat dilihat pada tabel-4.6. dibawah :

Tabel-4.6. Data saluran dengan besaran dasar

No	Nama Bus		Panjang (km)	Impedansi	
	Dari	Ke		Z_1	Z_0
1	Maninjau	Pdg Luar	41,60	0,045245	0,014530
2	Maninjau	PLTG Pauh Limo	90,10	0,307830	0,107174
3	PLTG Pauh Limo	Indarung	6,70	0,001844	0,000390
4	Indarung	Solok	34,05	0,028844	0,012671
5	Solok	Ombilin	27,48	0,019269	0,006340
6	Ombilin	Payakumbuh	80,77	0,144745	0,055384
7	Payakumbuh	Pdg Luar	32	0,026207	0,008598
8	Ombilin	Salak	2,42	0,000222	0,000050

4.2.2. Perhitungan Impedansi Urutan

Tabel-4.7. Data Saluran Dengan Penyederhanaan Sistem

N0	Nama Bus		Impedansi	
	Dari	Ke	Z ₀	Z ₁
1	0	2	0,222434	0,344697
2	0	6	0,384357	0,584600
3	0	9	0,104518	0,152322
4	2	6	0,216197	0,078509
5	2	9	0,307830	0,107174
6	6	9	0,049957	0,019401

Impedansi urutan positif = 0,107482_{pu}

Impedansi urutan negatif = 0,107482_{pu}

Impedansi urutan nol = 0,534483_{pu}

4.2.3. Setting Arus Dan Waktu Tunda (Time Delay) Rele Arus Lebih.

Arus hubung singkat satu fasa ketanah dapat diperoleh dengan menggunakan pers. (56) sbb :

$$I_f = 3I_{a1} = 4,002951 \text{ ampere}$$

Arus gangguan sebenarnya :

$$I_{f \text{ sebenarnya}} = I_{f \text{ pu}}$$

$$\frac{KVA_{pu}}{\sqrt{3} V_{\text{dasar}}} = 1540,7365 \text{ Amper}$$

Arus percikan atau busur api (I_{arc}) yang terjadi :

$$I_{\text{arc}} = I_{f \text{ sebenarnya}}$$

$$\frac{(V_s - V_{ds})}{V_s} = 1540,7365$$

$$\frac{(150 - 11)}{150} = 1427,7491 \text{ Ampere}$$

Arus yang mengalir pada primer trafo

daya disisi pembangkit :

$$I_{\text{pri}} = I_{f \text{ arc}}$$

$$\frac{V_{\text{pri}}}{\sqrt{3} \cdot V_{\text{dasar}}} = 824,3113 \text{ Ampere}$$

Menentukan tegangan busur (V_{arc}) :

$$V_{\text{arc}} = I_{\text{arc}} \times R_{\text{efektif}}$$

$$R_{\text{efektif}} = 0,118 \text{ Ohm / km}$$

$$= 1427,7491 \times 0,000118$$

$$= 0,168474 \text{ Volt.}$$

Dengan menggunakan karakteristik rele arus, maka setting arus dan waktu tunda rele Arus Lebih sebesar :

$$I_{f \text{ sebenarnya}} = 1540,7365 \text{ Ampere}$$

Setting waktu rele sebenarnya 0,35 detik.

Energi yang dilepas oleh switchboard :

$$E = V_{\text{arc}} \times I_{\text{arc}} \times t = 84,1885 \text{ Joule}$$

5. KESIMPULAN.

Dari hasil analisa gangguan hubung singkat yang terjadi di switchboard (busbar) GI. Pauh Limo maka dapat diambil beberapa kesimpulan seperti :

1. Besar arus gangguan yang terjadi di GI. Pauh Limo dalam kondisi tanpa beban yaitu 1540,7365

- Ampere.
2. Setting waktu rele diperoleh dari grafik rele over current I.D.M.T. sebesar 0,35 detik.
 3. Rele yang digunakan yaitu rele arus lebih waktu terbalik karena dengan menggunakan rele ini cara kerjanya lebih efisien.

7. DAFTAR PUSTAKA

- Charles A. Gross, **Power System Analysis**, John Wiley And Sons 1986.
- Gonen, Turan. **Modern Power System Analysis**. A. Wiley – Intersine Publication, John Wiley And Sons. 1987
- Hutauruk. TS, **Analisa Sistem Tenaga Listrik, Jilid 1 dan 2**, Departement Elektrik. Institut Teknologi Bandung
- Hutauruk. TS, **Pengetanahan Netral Sistem Tenaga Dan Pengetanahan Peralatan**, Erlangga, ITB, 1986
- John W Brink And John P. Wolfinger, Jr, **System Grounding, Protection, and Detection for Cement Plants**. Vol 1A. 17. No. 6. 1981.
- Measurement. Gec, **Protective Relay Application Guide**. Third Edition. 1968
- M. Titarenko and I. Noskov-Dukelsky, **Protective Relaying In Electric Power Systems**, Moscow.
- Theraja , BL. **Electrical Technologi**. Nirja Construction And Development Co. Ltd. New Delhi 1981.
- Warington. AR. Van C. **Protective Relay**. Third Edition Teory and Practice. 1986.