

STUDI PENGAMAN BUSBAR 150 kV PADA GARDU INDUK SIANTAN

Julian Maruli Torang Manurung

Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura
ruli_manurung@yahoo.com

Abstrak- Berdasarkan data real di lapangan pada tanggal 1 agustus 2012 pukul 16:55 wib telah terjadi gangguan pada busbar 150 kV di sistem sistem kelistrikan PT PLN (Persero) Area Pengatur Distribusi dan Penyaluran (APDP) Kalimantan Barat, yaitu masuknya kawat layangan ke switchyard dan mengenai busbar 150 kV, sehingga mengakibatkan gangguan tersebut tidak dapat dilokalisasi (gangguan menjadi meluas). Maka pada penelitian ini dilakukan studi sistem proteksi pengaman busbar 150 kV, yang dimulai dengan penelusuran literatur yang sesuai dengan kondisi busbar ganda, dilanjutkan dengan melakukan evaluasi, yaitu dengan cara membandingkan sistem yang ada dengan kondisi ideal serta mendesain sistem proteksi yang sesuai dengan kondisi dan kejadian-kejadian yang pernah terjadi sebelumnya.

Kata kunci : sistem proteksi, pengaman busbar, busbar ganda

1. Pendahuluan

Gardu Induk (GI) Siantan mempunyai peranan yang penting dalam menyuplai daya listrik kota Pontianak dan merupakan salah satu dari total lima Gardu Induk yang mengatur Sistem Kelistrikan Kalimantan Barat. GI Siantan beroperasi dengan level tegangan 150 kV dan menggunakan konfigurasi *double busbar*.

Berdasarkan data lapangan telah terjadi beberapa kali gangguan pada *busbar*, diantaranya pada tanggal 01 agustus 2012 pukul 16:55 wib telah terjadi gangguan pada busbar 150 kV di sistem kelistrikan PT PLN (Persero) Area Pengatur Distribusi dan Penyaluran (APDP) Kalimantan Barat yaitu masuknya kawat layangan ke *switchyard* sehingga mengenai busbar 150 kV. Gangguan tersebut mengakibatkan gangguan yang meluas bahkan bisa berakibat *black out* (padam total) bila gangguan tersebut tidak segera dihilangkan atau dilokalisasi. Hal ini dikarenakan belum adanya relai yang diperuntukkan mengamankan busbar atau tidak mencakup daerah kerjanya dengan kata lain belum adanya relai yang khusus untuk mengamankan busbar 150 kV. Kondisi ini dikarenakan saat ini relai untuk mengamankan gangguan pada busbar hanya memanfaatkan relai OCR (*Over Current Rele*) pada transformator dan *line* transmisi yang *clearing timenya* lama dan tidak selektif karena sebenarnya bukan daerah kerjanya. Selain itu walupun sejak awal GI Siantan menggunakan konfigurasi *double busbar* (*busbar* ganda) akan tetapi dalam pengoperasiannya hanya satu busbar saja yang

digunakan, sehingga gangguan tersebut belum bisa dilokalisasi seperti seharusnya.

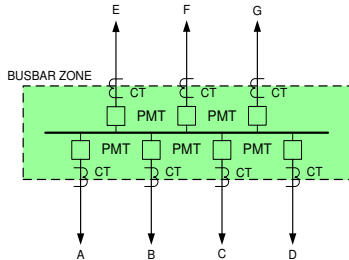
Seiring dengan berkembangnya sistem maka dilakukan perencanaan untuk menambah Pemutus Tenaga (PMT) Kopel guna menjaga keandalan, keamanan dan kestabilan sistem. Rencana penambahan PMT Kopel akan menjadi konfigurasi sistem busbar GI Siantan sebagai konfigurasi busbar ganda. Untuk itu perlu dilakukan studi yang meliputi evaluasi terhadap sistem proteksi busbar yang ada, juga perlu dirancang sistem proteksi pada busbar yang saat ini belum ada, khususnya perencanaan pemasangan relai *differensial busbar* yang merupakan pengaman utama untuk busbar dengan konfigurasi *double busbar* sesuai kondisi yang akan digunakan pada GI Siantan.

2. Dasar Teori

Busbar memiliki peranan yang sangat penting karena berfungsi sebagai tempat terhubungnya semua bay yang ada pada suatu Gardu Induk, seperti bay transformator dan bay line. Menurut Buku Peralatan Gardu Induk PT PLN (Persero) PUSLITBANG desain konfigurasi Gardu induk yang dikelola oleh PT PLN (Persero) pada umumnya menggunakan tiga jenis konfigurasi busbar yaitu busbar tunggal (*single busbar*), busbar satu setengah PMT (*one and a half busbar*) dan busbar ganda (*double busbar*).

Walaupun gangguan pada busbar jarang terjadi dibandingkan gangguan pada penghantar namun dalam pengoperasiannya busbar tidak terlepas dari kondisi abnormal atau gangguan. Gangguan pada busbar akan menghasilkan dampak yang jauh lebih besar daripada gangguan pada penghantar, terutama bila busbar tersebut terhubung dengan kapasitas pembangkit yang besar. Hal ini dikarenakan gangguan yang terjadi pada busbar selain mengganggu keandalan sistem dalam menyalurkan pasokan daya juga dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan instalasi yang sangat besar baik peralatan pada Gardu Induk itu sendiri maupun peralatan instalasi lain seperti pembangkit (gangguan meluas). Selain itu dampak yang dapat ditimbulkan oleh gangguan di bus jika gangguan tidak segera diputuskan antara lain adalah kerusakan instalasi, timbulnya masalah stabilitas transient dan dimungkinkan relai arus lebih / *Over Current Rele* (OCR) dan relai gangguan tanah / *Ground Fault Rele* (GFR) di sistem bekerja sehingga pemutusan menyebar. Sehingga proteksi busbar (*busbar protection*) sangat memiliki peranan penting dalam sistem kelistrikan, untuk itu proteksi ini harus bekerja secara sensitif, selektif, cepat dan harus stabil untuk gangguan yang terjadi di luar daerah proteksinya (gangguan di luar busbar relai tidak

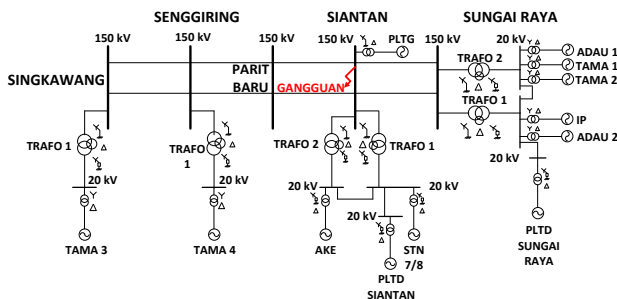
boleh trip). Secara sederhana daerah kerja proteksi busbar diperlihatkan pada Gambar 1 dibawah, yaitu semua transformator arus (CT) bay tersambung pada busbar. Dimana Sistem proteksi busbar ini harus bekerja tanpa tunda waktu (instantaneous) apabila terjadi gangguan di dalam zona proteksinya (area warna hijau) sedangkan untuk gangguan yang terjadi di luar zona proteksiannya (di luar area warna hijau) proteksi busbar tidak boleh bekerja / relai harus stabil.



Gambar 1. Daerah Proteksi Busbar

2.1. Data Single Line Diagram

Single line diagram sangat diperlukan untuk menentukan besar arus hubung singkat disuatu titik (bus). Untuk mempermudah perhitungan besar arus hubung singkat maka single line PT PLN APDP Kalimantan Barat disederhanakan dengan cara hanya memilih jaringan yang menghubungkan pembangkit dengan lokasi gangguan serta dikelompokkan menjadi sub-sub unit pembangkit yang akan dibahas, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 dibawah.



Gambar 2. Daerah / Titik Hubung Singkat Yang Akan Dihitung

2.2. Data-Data Penelitian

Pengumpulan data-data teknis dilakukan agar dapat menghitung besar arus hubung singkat yang mungkin terjadi pada busbar GI Siantan. Adapun data-data yang diperlukan adalah data pembangkit, data GI, saluran transmisi dan saluran kopling GI – Gardu Hubung (GH) serta transformator GI yang ada pada sistem kelistrikan Pontianak saat ini, seperti yang terlihat pada tabel-tabel dibawah ini. Data-data ini didapat dari pencatatan name plate dan dari data studi aliran daya (load flow) sistem kelistrikan pontianak.

Tabel 1. Data Pembangkit dan Transformator Step-Up

PUSAT PEMBANGKIT	UNIT	MERK	GENERATOR			TRANSFORMATOR STEP-UP				
			MVA	kV	Xd' (%)	MVA	kV	Xl' (%)	Vektor	Rn (HV)
SUNGAI RAYA	PLTD SEL RAYA Rn = 40 Ω									
	1	SWD	11,0	6,3	33,8	11	6,3/20	8,0	D-Y	YA
	2	SWD	11,0	6,3	33,8	11	6,3/20	8,0	D-Y	YA
	3	SWD	11,0	6,3	33,8	11	6,3/20	8,0	D-Y	YA
	4	SWD	11,0	6,3	33,8	11	6,3/20	8,0	D-Y	YA
	5	SULZER	9,9	6,3	29,3	10	6,3/20	7,8	D-Y	YA
	6	SULZER	9,9	6,3	29,3	10	6,3/20	7,8	D-Y	YA
	PLTD RENTAL SEWATAMA 1									
	1,2 & 10	CATERPILAR	2	0,4	25	2,50	0,4/20	6,0	D-Y	TIDAK
	3-9	CATERPILAR	2	0,4	25	3,00	0,4/20	6,8	D-Y	TIDAK
	PLTD RENTAL SEWATAMA 2									
	1-10	CATERPILAR	1,825	0,4	25	2	0,4/20	7	D-Y	TIDAK
IP										
1-5	WARTSILA	3,42	0,4	25	3,5	0,4/20	9	D-Y	TIDAK	
PLTD ADAU 1										
1-3	SULZER	14	11	24	15,7	11/20	11,9	D-Y	TIDAK	
PLTD ADAU 2										
4-5	SULZER	14	11	24	15,7	11/20	11,9	D-Y	TIDAK	
SIANTAN	PLTD SIANTAN Rn = 40 Ω									
	1	SWD	5,00	6,3	42,5	5,0	6,3/20	7,50	D-Y	YA
	2	SWD	5,00	6,3	42,5	5,0	6,3/20	7,50	D-Y	YA
	3	SWD	5,00	6,3	42,5	5,0	6,3/20	7,50	D-Y	YA
	4	SWD	13,40	6,3	33,8	13,4	6,3/20	9,79	D-Y	YA
	5	SULZER	7,96	6,3	29,3	8,0	6,3/20	8,00	D-Y	YA
	6	SULZER	7,96	6,3	29,3	8,0	6,3/20	8,00	D-Y	YA
	STN 7/8 Rn = 40 Ω									
	7	CATERPILAR	9,29	6,3	17,4	10	6,3/20	9	D-Y	YA
	8	CATERPILAR	9,29	6,3	17,4	10	6,3/20	9	D-Y	YA
	PLTG Rn = 2 Ω									
	1	EGT ALSTHOM	46,25	11,5	25,9	45	11,5/150	12,41	D-Y	YA
PLTD AKE Rn = 40 Ω										
1-3	MAN B&W	14,5	11	17,5	15	11/20	8,5	D-Y	YA	
SENGGIRING	PLTD RENTAL TAMA 4									
	1-10	CATERPILAR	2	0,4	25	2,5	0,4/20	6	D-Y	TIDAK
SINGKAWANG	PLTD RENTAL TAMA 3									
	1-20	CATERPILAR	2	0,4	25	2,5	0,4/20	6	D-Y	TIDAK

Tabel 2. Data Gardu Induk dan Transformator Daya

GARDU INDUK	TRAFO	MERK	MVA	kV	Xl' (%)	Rn	
						HV	MV
SEL RAYA	1	PASTI	30	150/20	12,321	2	40
	2	PAUWELS	30	150/20	12,321	2	40
SIANTAN	1	PASTI	30	150/20	12,321	2	40
	2	PASTI	30	150/20	12,321	2	40
PARIT BARU	1	PASTI	30	150/20	12,911	2	40
SENGGIRING	1	PAUWELS	30	150/20	11,956	2	40
SINGKAWANG	1	PAUWELS	30	150/20	12,206	2	40

Tabel 3. Data Saluran Transmisi

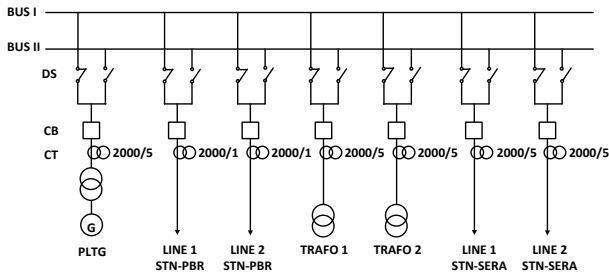
ARAH SALURAN	PANJANG (KM)	IMPEDANSI URUTAN/KM	
		Z ₁ = Z ₂ (Ω)	Z ₀ (Ω)
GI. SUNGAI RAYA - GI. SIANTAN	18,029	0,173 + j0,425	0,385 + j1,306
GI. SIANTAN - GI. PARIT BARU	16,560	0,173 + j0,425	0,385 + j1,306
GI. PARIT BARU - GI. SENGIRING	42,175	0,173 + j0,425	0,385 + j1,306
GI. SENGIRING - GI. SINGKAWANG	70,120	0,173 + j0,425	0,385 + j1,306

Tabel 4. Data Saluran Kopling

ARAH SALURAN	PANJANG (M)	IMPEDANSI URUTAN/KM	
		Z ₁ = Z ₂ (Ω)	Z ₀ (Ω)
GH. SEL RAYA - GI. SEL RAYA	277,5	0,0754 + j0,064	0,0754 + j0,064
GH. SIANTAN - GI. SIANTAN	248,5	0,0754 + j0,064	0,0754 + j0,064

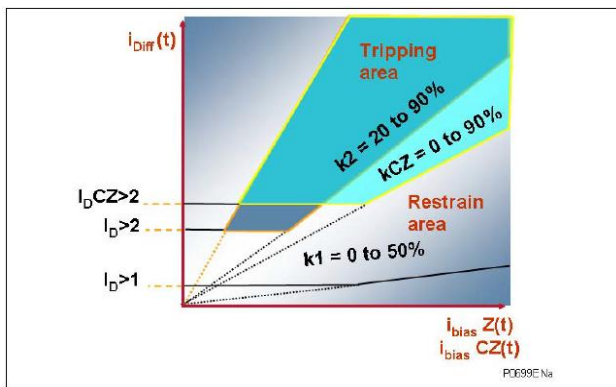
2.3. Rele Differensial Busbar Jenis Low Impedance

Berdasarkan observasi lapangan pada GI Siantan, maka diperoleh bahwa konfigurasi busbar adalah busbar ganda dan CT yang pada masing-masing bay yang terhubung dengan busbar 150 kV GI Siantan memiliki rasio CT yang berbeda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3 dibawah, dimana Line 1 dan 2 GI Siantan – GI Parit Baru menggunakan ratio CT 2000/1 sedangkan Line 1 dan 2 GI Siantan – GI Sungai Raya, Trafo 1 dan 2 GI Siantan dan PLTG menggunakan ratio CT 2000/5, sehingga dengan kondisi tersebut maka rele differensial busbar yang cocok adalah menggunakan jenis low impedance.



Gambar 3. Konfigurasi Busbar Gardu Induk Siantan

Relai *diferensial busbar* yang menjadi referensi adalah MiCom P741. Contoh kurva karakteristik seting diferensial jenis *low impedance* berdasarkan *manual book* MiCom P741 diperlihatkan pada Gambar 3 dibawah, dimana terdapat dua daerah kerja, yaitu daerah trip (trip area) dan daerah blok (block area). Daerah kerja ditentukan oleh arus bias / penahan / *restraint* (I_{bias} / I_R) dan arus diferensial / operating (I_{diff} / I_{op}).



Gambar 3. Kurva Karakteristik Seting Diferensial Jenis *Low Impedance*

Dari keseluruhan data yang telah diuraikan diatas, maka kemudian dilakukan perhitungan besar arus hubung singkat yang mungkin terjadi pada busbar 150 kV GI. Siantan. Dan setelah diketahui bahwa rele diferensial jenis *low impedance* yang cocok digunakan pada GI. Siantan, maka dibuatlah program simulasi untuk mempermudah memahami cara kerja rele diferensial busbar jenis *low impedance* dan pada program simulasi ini dapat terlihat apakah masuk daerah trip atau block sehingga diketahui rele bekerja dengan baik atau tidak.

Berdasarkan *manual book* MiCom P741 data-data yang diperlukan untuk melakukan seting adalah jumlah busbar, beban minimum bay, beban maksimum bay, arus hubung singkat 3 fasa minimum dan maksimum, ratio CT terbesar dan arus hubung singkat 1 fasa maksimum.

3. PERHITUNGAN DAN ANALISA PENGGUNAAN RELAI DIFFERENSIAL BUSBAR PADA BUSBAR 150 kV GI SIANTAN

Perhitungan arus hubung singkat maksimum yang dapat dirasakan oleh bus 150 kV GI Siantan pada saat terjadi gangguan di bus tersebut sangat diperlukan untuk mengetahui daerah kerja relai *diferensial*. Metode yang digunakan dalam perhitungan ini adalah dengan cara

mereduksi rangkaian ekivalen dari sumber hingga lokasi gangguan.

Pada tabel sebelumnya didapat data berupa data nilai reaktansi generator dan transformator yang sudah dalam persen atau nilai per-unit (pu) terhadap S_{base} masing-masing generator atau transformator tersebut, maka untuk mempermudah perhitungan S_{base} disamakan yaitu sebesar 100 MVA. Sedangkan untuk saluran transmisi dan saluran kopling nilai reaktansinya masih dalam ohm sehingga harus diubah dalam nilai per-unit (pu). Untuk mengubah nilai tersebut mejadi per-unit (pu) maka harus ditentukan Z_{base} dan I_{base} pada level tegangan 150 kV. Pada sistem kelistrikan PT PLN (Persero) Area Pengatur Distribusi dan Penyaluran (APDP) transformator yang ada mempunyai nilai pentanahan 150 kV dengan nilai pentanahan sebesar 2 ohm dengan metode pentanahan solid (solid grounded). Adapun komponen yang akan dihitung adalah sebagai berikut:

1. Impedansi Pembangkit / Sumber (Z_S)
2. Impedansi Transformator Daya Gardi Induk (Z_T)
3. Impedansi Saluran Transmisi dan Saluran Kopling (Z_L)

Dasar perhitungan untuk komponen-komponen diatas adalah sebagai berikut:

$$MVA_{Base} = 100 \text{ MVA}$$

$$Z_{Base} \text{ 150 kV} = \frac{(150 \text{ kV})^2}{100 \text{ MVA}} = 225 \text{ Ohm}$$

$$Z_{Base} \text{ 20 kV} = \frac{(20 \text{ kV})^2}{100 \text{ MVA}} = 4 \text{ Ohm}$$

$$I_{Base} \text{ 150 kV} = \frac{100 \text{ MVA}}{150 \text{ kV} \times \sqrt{3}} = 384,9 \text{ Ampere}$$

$$I_{Base} \text{ 20 kV} = \frac{100 \text{ MVA}}{20 \text{ kV} \times \sqrt{3}} = 2887,65 \text{ Ampere}$$

Adapun ketentuan yang digunakan dalam perhitungan arus hubung singkat pada bus 150 kV berdasarkan data yang didapat adalah sebagai berikut:

- Pada kondisi hubung singkat 3 fasa (fasa R-S-T) hanya mengalir arus urutan positif, dimana $I_1 = I_{f \text{ 3fasa}}$, I_2 dan $I_0 = 0$
- Pada kondisi hubung singkat 2 fasa (fasa R-S atau fasa R-T atau fasa S-T) hanya mengalir arus urutan positif dan negatif, dimana $I_1 = -I_2 = I_{f \text{ 2fasa}}$, $I_0 = 0$
- Saat terjadi hubung singkat 1 fasa-tanah, $I_1 = I_2 = I_0$
Rumus yang digunakan untuk menghitung arus gangguan tersebut dengan diketahui besar $I_{Base} \text{ 150 kV} = 384,9$ ampere dan $E = 1$ pu, adalah sebagai berikut:

$$I_{f \text{ 3fasa}} = \frac{E}{Z_{1TOT}} \times I_{Base} \text{ 150 kV}$$

$$I_{f \text{ 2fasa}} = \frac{E}{2 \times Z_{1TOT}} \times I_{Base} \text{ 150 kV}$$

$$I_{f \text{ 1fasa}} = \frac{E}{2 \times Z_{1TOT} + Z_{0TOT}} \times I_{Base} \text{ 150 kV}$$

Dan untuk menentukan sudut arus gangguan masing-masing fasa digunakan metode komponen simetris, dengan menggunakan bantuan operator "a", dimana:

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

$$a^2 = 1 \angle 240^\circ$$

$$I_R = I_1 + I_2 + I_0$$

$$I_S = a^2 I_1 + a I_2 + I_0$$

$$I_T = a I_1 + a^2 I_2 + I_0$$

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan maka didapat hasil perhitungan arus hubung singkat yang terjadi pada busbar 150 kV ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 5. Data Besar Arus Hubung Singkat pada Busbar 150 kV GI Siantan

FAULT	I_R		I_S		I_T	
	Mag (A)	Angle (deg)	Mag (A)	Angle (deg)	Mag (A)	Angle (deg)
$I_{3fasa (R-S-T)}$	2693.95	-89.18	2693.95	150.82	2693.95	30.82
$I_{2fasa (S-T)}$	-	-	2333.03	-179.18	2333.03	0.82
$I_{1fasa (R-G)}$	2584.37	-88.52	-	-	-	-

3.1. Arus Pada Relai Differensial

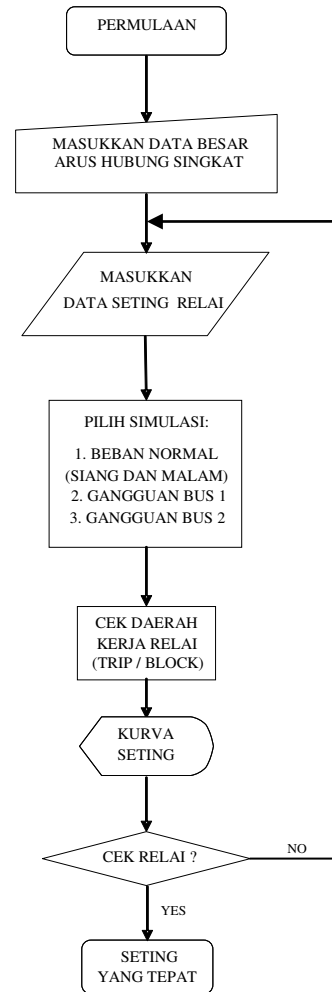
Arus yang masuk ke relai *differensial busbar* sewaktu gangguan pada bus 150 kV sangatlah besar. Besar arus yang masuk ke relai *differensial busbar* dapat diketahui dengan cara menghitung kontribusi arus dari masing-masing sistem. Dengan menggunakan metode perhitungan yang sama, yaitu menggunakan rasio impedansi masing-masing sistem dan dengan bantuan operator “a”, maka didapat hasil seperti yang terlihat pada tabel 6 dibawah ini.

Tabel 6. Besar Kontribusi Arus Hubung Singkat Masing-Masing Sistem

LOKASI	FAULT	IR		IS		IT	
		Mag (A)	Angle (deg)	Mag (A)	Angle (deg)	Mag (A)	Angle (deg)
LINE 1 STN-PB	If 3fasa (R-S-T)	252.92	-87.55	252.92	152.45	252.92	32.45
	If 2fasa (S-T)	-	-	219.04	-177.55	219.04	2.45
	If 1fasa (R-G)	246.17	-86.55	-	-	-	-
LINE 1 STN-PB	If 3fasa (R-S-T)	252.92	-87.55	252.92	152.45	252.92	32.45
	If 2fasa (S-T)	-	-	219.04	-177.55	219.04	2.45
	If 1fasa (R-G)	246.17	-86.55	-	-	-	-
PLTG	If 3fasa (R-S-T)	460.52	-90.00	460.52	150.00	460.52	30.00
	If 2fasa (S-T)	-	-	398.82	-180.00	398.82	0.00
	If 1fasa (R-G)	592.89	-89.22	-	-	-	-
TRAFO 1 STN	If 3fasa (R-S-T)	384.13	-90.00	384.13	150.00	384.13	30.00
	If 2fasa (S-T)	-	-	332.67	-180.00	332.67	0.00
	If 1fasa (R-G)	356.81	-89.53	-	-	-	-
TRAFO 2 STN	If 3fasa (R-S-T)	392.40	-89.95	392.40	150.05	392.40	30.05
	If 2fasa (S-T)	-	-	339.83	-179.95	339.83	0.05
	If 1fasa (R-G)	361.52	-89.49	-	-	-	-
LINE 1 STN-SERA	If 3fasa (R-S-T)	475.69	-88.99	475.69	151.01	475.69	31.01
	If 2fasa (S-T)	-	-	411.96	-178.99	411.96	1.01
	If 1fasa (R-G)	390.63	-88.33	-	-	-	-
LINE 2 STN-SERA	If 3fasa (R-S-T)	475.69	-88.99	475.69	151.01	475.69	31.01
	If 2fasa (S-T)	-	-	411.96	-178.99	411.96	1.01
	If 1fasa (R-G)	390.63	-88.33	-	-	-	-

3.2. Program Simulasi Daerah Kerja Relai Differensial Busbar

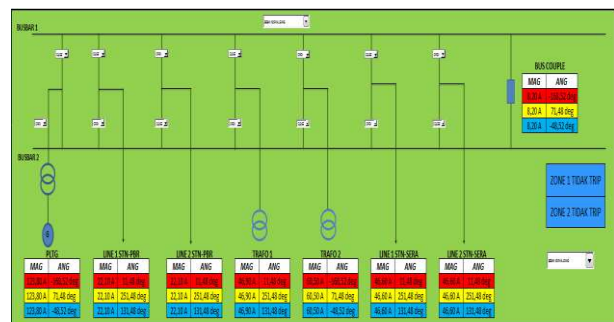
Guna membantu mempermudah memahami cara kerja relai *differensial busbar*, maka dibuat contoh program simulasi sederhana menggunakan alat bantu program *microsoft excel* dengan memanfaatkan fasilitas-fasilitas yang terdapat pada program tersebut. Setelah mendapatkan data-data peralatan dan perhitungan arus gangguan, maka dapat dilakukan pengujian daerah kerja relai *differensial* pada kondisi yang diinginkan. Data-data tersebut antara lain: jumlah busbar, beban minimum bay, beban maksimum bay, arus hubung singkat 3 fasa maksimum, ratio CT terbesar (*primary winding*), arus hubung singkat 3 fasa minimum, arus hubung singkat 1 fasa maksimum.



Gambar 4. Flowchart (Diagram Alir)

3.3. Diagram Simulasi Daerah Kerja Relai Differensial Busbar

Simulasi dibuat dengan memanfaatkan fasilitas *combo box* yang ada pada *microsoft excel*. Tombol *combo box* diprogram terlebih dahulu sesuai dengan deskripsi dan algoritma.



Gambar 5. Gambar Simulasi Daerah Kerja Relai Differensial Busbar

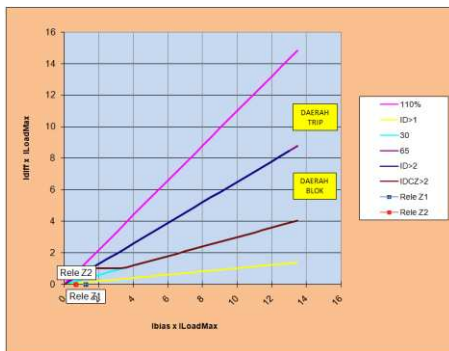
3.4. Pengujian Steting Relai Differensial Busbar

Pengujian daerah kerja relai *differensial busbar* pada busbar 150 kV GI Siantan dilakukan pada beberapa kondisi antara lain:

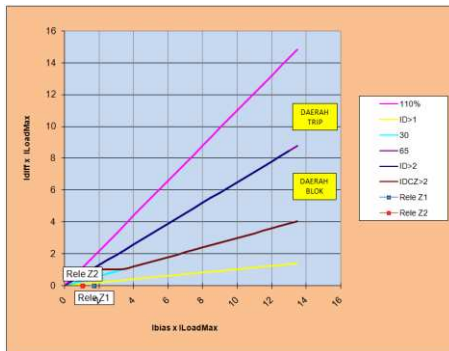
- Pengujian pada kondisi beban normal (beban puncak siang dan beban puncak malam)
- Pengujian pada kondisi gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa ke tanah yang terjadi pada busbar 1
- Pengujian pada kondisi gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa ke tanah yang terjadi pada busbar 2

3.5. Simulasi Pada Beban Normal

Simulasi dilakukan dengan memberikan beban normal pada kondisi beban puncak siang dan beban puncak malam, berdasarkan *log sheet* sistem tanggal 12 juni 2013, maka daerah kerja relai *differential busbar* masing-masing fasa dapat ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



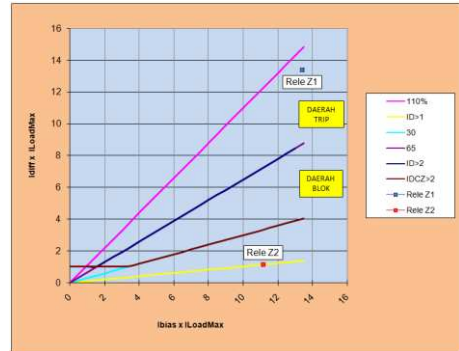
Gambar 6. Daerah Kerja Relai *Differential Busbar* Fasa R-S-T pada Beban Puncak Siang



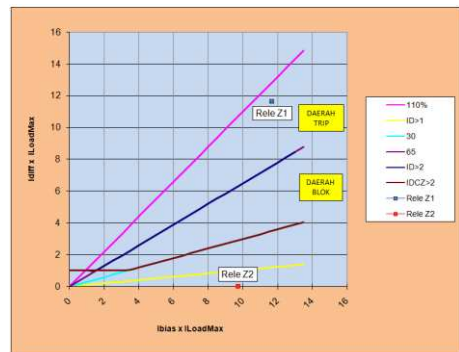
Gambar 7. Daerah Kerja Relai *Differential Busbar* Fasa R-S-T pada Beban Puncak Malam

3.6. Pengujian Pada Kondisi Gangguan Hubung Singkat 3 fasa, 2 Fasa Dan 1 Fasa Ke Tanah Yang Terjadi Pada Busbar 1

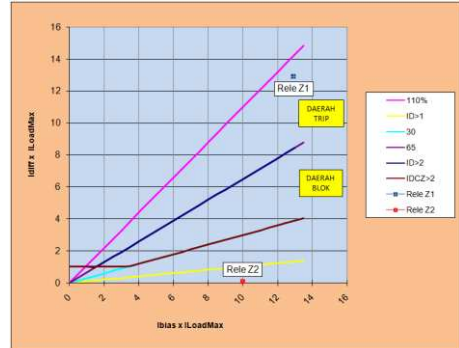
Simulasi dilakukan dengan memberikan arus gangguan hubung pada busbar 1 dengan masing-masing hubung singkat, dimana hubung singkat 3 fasa sebesar 2693 A, 2 fasa sebesar 2333 A dan 1 fasa ke tanah sebesar 2584 A (berdasarkan hasil perhitungan).



Gambar 8. Daerah Kerja Relai *Differential Busbar* Fasa R-S-T pada Gangguan 3 Fasa di Busbar 1 150 kV GI Siantan



Gambar 9. Daerah Kerja Relai *Differential Busbar* Fasa S-T pada Gangguan 2 Fasa di Busbar 1 150 kV GI Siantan

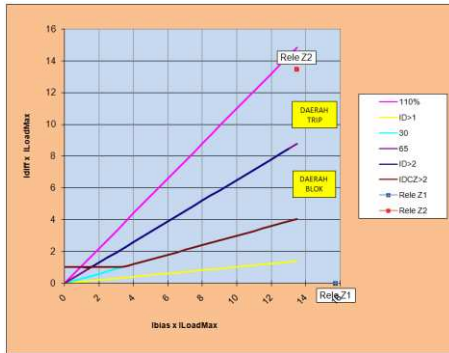


Gambar 10. Daerah Kerja Relai *Differential Busbar* Fasa R-Ground pada Gangguan 1 Fasa di Busbar 1 150 kV GI Siantan

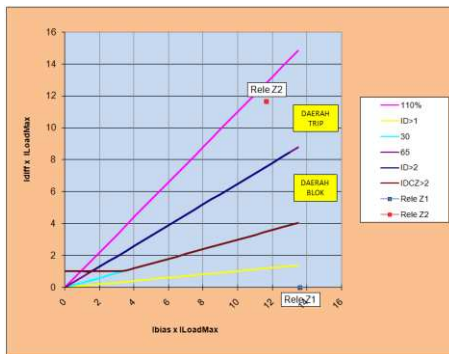
3.6. Pengujian Pada Kondisi Gangguan Hubung Singkat 3 fasa, 2 Fasa Dan 1 Fasa Ke Tanah Yang Terjadi Pada Busbar 2

3.7. Pengujian Pada Kondisi Gangguan Hubung Singkat 3 fasa, 2 Fasa Dan 1 Fasa Ke Tanah Yang Terjadi Pada Busbar 2

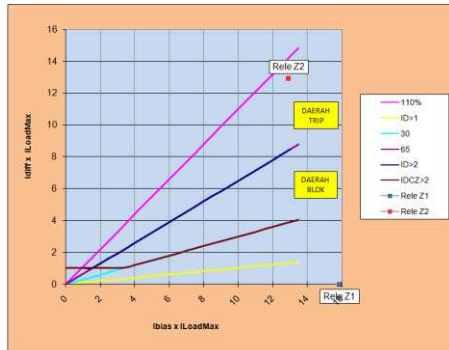
Simulasi dilakukan dengan memberikan arus gangguan hubung pada busbar 2 dengan masing-masing hubung singkat, dimana hubung singkat 3 fasa sebesar 2693 A, 2 fasa sebesar 2333 A dan 1 fasa ke tanah sebesar 2584 A (berdasarkan hasil perhitungan).



Gambar 11. Daerah Kerja Relai *Differensial Busbar* Fasa R-S-T pada Gangguan 3 Fasa di Busbar 2 150 kV GI Siantan



Gambar 12. Daerah Kerja Relai *Differensial Busbar* Fasa S-T pada Gangguan 2 Fasa di Busbar 2 150 kV GI Siantan

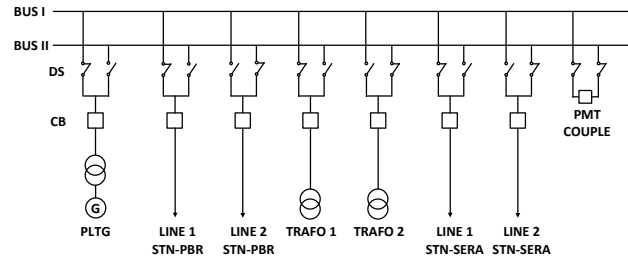


Gambar 13. Daerah Kerja Relai *Differensial Busbar* Fasa R-Ground pada Gangguan 1 Fasa di Busbar 2 150 kV GI Siantan

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil studi relai *differensial* busbar yang dilakukan pada busbar 150 kV lokasi GI Siantan, maka dapat disimpulkan:

1. Dengan konfigurasi busbar yang ditawarkan atau dirancang, maka bila terjadi gangguan pada salah satu busbar hanya busbar yang gangguan dan PMT Kopel saja yang trip sedangkan busbar yang tidak terganggu akan aman. Dan bila akan dilakukan pemeliharaan pada salah satu busbar dapat dilakukan *manuver* / pemindahan beban secara *online* (tanpa padam) karena sudah dilengkapi dengan PMT Kopel. Hal ini tidak bisa dilakukan dengan kondisi busbar *existing*.



2. Gambar 14. Konfigurasi Busbar Ganda GI Siantan Yang Ditawarkan dengan PMTCouple Posisi Masuk

3. Pada pengujian kondisi beban normal (beban puncak siang dan beban puncak malam) menunjukkan unjuk kerja relai *differensial* busbar baik dalam artian tidak trip (sesuai fungsi). Hal ini ditunjukkan pada kurva karakteristik seting relai *differensial* busbar yang dirancang, dimana daerah kerja arus *operating/differensial* dan arus *restraint/bias* tidak menunjukkan perubahan yang besar.
4. Pada pengujian terhadap kondisi gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa ke tanah yang terjadi pada busbar 1 maupun busbar 2 relai *differensial* busbar dapat bekerja dengan baik hal ini dibuktikan dengan kurva karakteristik seting relai *differensial* busbar.
5. Dari perhitungan arus hubung singkat didapat arus terbesar yang melewati CT pada gangguan 3 fasa dengan besar arus 2693 A. Dengan ratio CT 2000/5 dan class CT 5P20 maka saat terjadi gangguan 3 fasa, CT masih berada jauh dibawah titik jenuh (saturasi).

Referensi

- [1] PLN. 2010. *Proteksi Dan Kontrol Busbar*. Buku Operasi dan Maintenance. Jakarta: PT. PLN (Persero).
- [2] PLN Pusat Pendidikan dan Pelatihan. 2010. *Perhitungan Setting Proteksi Busbar*. Jakarta: PT. PLN (Persero).
- [3] Warsono, 2008. *Studi Penggunaan Rele Differensial Pada Transformator Daya 30 MVA Gardu Induk Sei. Raya PT. PLN (Persero) Sektor Kapuas*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Elektro. Universitas Tanjungpura. Pontianak..
- [4] Alhosseini, Nima Hejazi. 2008. *Busbar Protection*. Theory and Application of Protective Relays.
- [5] Alstom. 2012. *Differential Busbar Protection Relay*. Technical Manual MiCom P741, P742, P743.
- [6] Basler Electric Company. 2005. *Bus Protective Relaying*. Methods And Application Reliable Busbar And Breaker Failure Protection With Advanced Zone Selection.
- [7] Grainger, John. J and Stevenson Jr, William. D. 1994. *Power System Analysis*.

Biografi

Julian Maruli Torang Manurung. Menempuh Pendidikan Program Diploma 1 di Fakultas Teknik Universitas Diponegoro pada tahun 2007 dan Strata I (S1) di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura sejak tahun 2009.