

# Analisa Gangguan Rele Differential Busbar di GISTET 500 kV Durikosambi Jakarta Barat

Miftahul Khoiri  
Fakultas Teknik/Teknik Elektro  
Universitas Mercu Buana  
Jakarta, Indonesia  
miko.alfattah@gmail.com

Muslim  
Fakultas Teknik/Teknik Elektro  
Universitas Mercu Buana  
Jakarta, Indonesia  
mus2828@gmail.com

**Abstrak**— Tenaga listrik merupakan salah satu sumber energi yang sangat penting untuk kelangsungan hidup manusia. Keandalan sistem tenaga listrik akan menjadi prioritas utama dalam sistem penyaluran tenaga listrik dari pembangkit menuju konsumen. Gardu induk merupakan salah satu sub sistem penyaluran tenaga listrik dari tegangan ekstra tinggi menuju tegangan rendah yang kemudian disalurkan ke konsumen. Busbar merupakan bagian utama pada instalasi di Gardu Induk yang berfungsi sebagai titik pertemuan peralatan-peralatan listrik lainnya untuk menerima dan menyalurkan tenaga listrik atau daya listrik. Untuk memenuhi keandalan sistem pada Gardu Induk, tentunya pada busbar memiliki pengamanan atau sistem proteksi dari gangguan. Rele proteksi busbar bekerja berdasarkan prinsip rele differential dimana membandingkan arus yang masuk dan arus keluar pada CT1 terhadap CT2. Di GISTET 500 kV Durikosambi menggunakan sistem *double* busbar dengan konfigurasi satu setengah PMT (3 PMT). Gangguan pada GISTET 500 kV Durikosambi terjadi pada saat manuver pemberian tegangan IBT 2 yang terhubung dengan beban sistem 500/150 kV. Gangguan terbaca fasa ke tanah yang mengakibatkan rele differential busbar bekerja. Dari hasil Analisa, rele differential busbar bekerja dikarenakan adanya pembacaan arus yang tidak seimbang sehingga mengakibatkan trip Busbar A yang terhubung dengan IBT 2.

**Kata Kunci**— Busbar, GISTET 500 kV Durikosambi, Relay Differential.

## I. PENDAHULUAN

Tenaga listrik merupakan energi primer yang sangat penting untuk kelangsungan hidup manusia. Suatu sistem tenaga listrik tidak selamanya berfungsi ideal, karena kenyataannya selalu terjadi suatu kondisi abnormal (seperti

adanya gangguan). Gangguan yang umumnya terjadi pada suatu sistem transmisi khususnya Gardu Induk adalah gangguan-gangguan hubung singkat, seperti gangguan hubung singkat fasa ke tanah, maupun gangguan hubung singkat antar fasa. Fungsi dari sistem proteksi adalah untuk mengidentifikasi gangguan dan memisahkan bagian jaringan yang terganggu dari bagian lain yang masih normal (tidak terganggu) serta sekaligus mengamankan bagian yang masih normal tersebut dari kerusakan atau kerugian yang lebih besar. Sistem proteksi menjadi hal yang sangat penting untuk menghindari kerusakan terhadap peralatan yang diakibatkan oleh gangguan. Seperti terjadi gangguan di Gardu Induk Gas Insulated Substation Tegangan Ekstra Tinggi (GISTET) 500 kV Durikosambi di Jakarta Barat yang menyebabkan trip/padam Busbar A sehingga mengakibatkan sistem di GISTET 500 kV Durikosambi blackout atau tidak dapat menyalurkan beban. Untuk mengatasi hal tersebut, diperlukan investigasi dan perlakuan khusus terhadap instalasi di GISTET 500 kV Durikosambi agar gangguan tersebut tidak terulang kembali.

## II. LANDASAN TEORI

### A. Busbar Pada Gardu Induk

Pada Gardu Induk, busbar merupakan peralatan utama sebagai penyalur daya ke konsumen melalui jaringan transmisi dan peralatan lainnya. Busbar berfungsi sebagai titik pertemuan peralatan-peralatan pada masing-masing bay di gardu induk meliputi trafo tenaga, SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi/Ekstra Tinggi), SKTT (Saluran Kabel Tegangan Tinggi) dan peralatan listrik lainnya untuk menerima dan menyalurkan tenaga listrik atau daya listrik. Terdapat beberapa konfigurasi busbar di gardu induk menurut susunannya yang meliputi single busbar, double busbar, dan double busbar dengan sistem satu setengah PMT (Pemutus Tenaga).[1]

**B. Gangguan Busbar**

Gangguan yang terjadi pada busbar adalah gangguan yang bersifat destruktif atau dapat merusak peralatan. [2] Apabila terjadi gangguan pada busbar, maka kemungkinan terjadi kerusakan pada peralatan instalasi yang sangat besar, baik peralatan pada Gardu Induk itu sendiri maupun peralatan instalasi lain dikarenakan gangguan dapat meluas.

Secara umum gangguan busbar yang muncul adalah gangguan fasa ke tanah dan ada juga gangguan antar fasa. Gangguan yang lainnya disebabkan kesalahan manusia dan adanya kerusakan peralatan.[3] Gangguan-gangguan tersebut diklasifikasikan menjadi oleh 2 faktor yaitu gangguan sistem dan gangguan non sistem.

- **Gangguan Sistem** : adalah gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik yang umumnya disebabkan adanya pengukuran arus dan tegangan yang tidak normal seperti gangguan hubung singkat, gangguan beban lebih (over load) yang terbaca pada rele proteksi sehingga menyebabkan PMT (Pemutus Tenaga) trip/padam.
- **Gangguan Non-Sistem** : adalah gangguan yang menyebabkan PMT (Pemutus Tenaga) trip yang disebabkan karena hal-hal diluar sistem tenaga listrik, seperti : adanya kerusakan pada peralatan utama, malfunction peralatan utama, kabel kontrol yang terlupus atau oleh sebab interferensi, dan lain sebagainya.

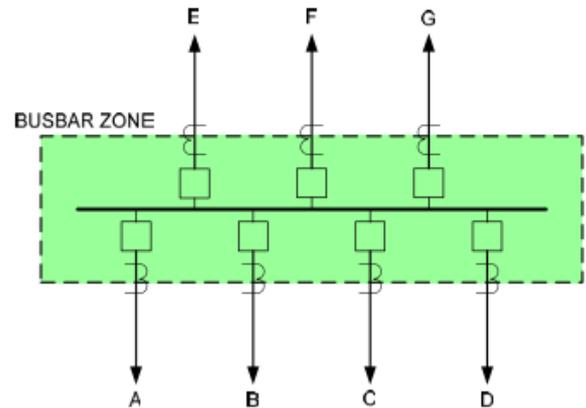
**C. Rele Differential Busbar**

Pada prinsipnya sistem proteksi busbar merupakan suatu sistem yang berfungsi untuk mengamankan gangguan pada busbar itu sendiri. Sebagai media pengaman, busbar memiliki daerah proteksi sesuai dengan zona pengamannya. Proteksi utama busbar menggunakan rele differential dimana rele bekerja membandingkan arus masuk dan arus keluar. Apabila terdapat perbedaan arus yang terbaca pada CT satu terhadap CT lainnya maka akan mendeteksi adanya gangguan yang dapat mengirim perintah trip PMT pada seluruh instalasi yang terhubung dengan busbar.[2]

Berdasarkan jenisnya Rele Proteksi Busbar ada 2 (dua) jenis yaitu :

- Rele Busbar High Impedance (menggunakan ratio CT yang sama)
- Rele Busbar Low Impedance (bisa menggunakan ratio CT yang berbeda)

Daerah kerja rele proteksi busbar adalah daerah di antara semua trafo arus (CT) bay yang tersambung di busbar tersebut. Sistem proteksi busbar harus bekerja tanpa tunda waktu apabila terjadi gangguan di dalam zona proteksiannya. Namun, untuk gangguan yang terjadi di luar zona proteksiannya (di luar area warna hijau), proteksi busbar tidak boleh bekerja (rele harus stabil).[4]



Gambar 1. Daerah Proteksi Busbar

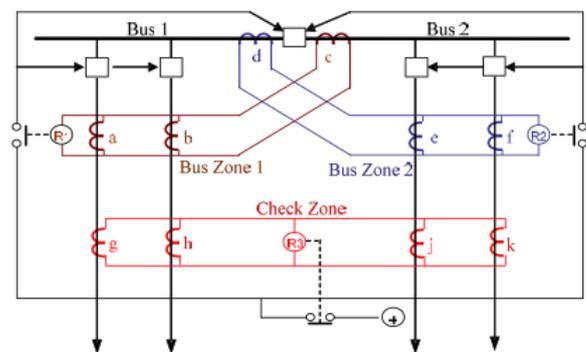
Komponen yang menyusun suatu sistem proteksi diferensial busbar adalah :

- **Bus Zone**

*Bus zone* merupakan bagian dari diferensial busbar yang berfungsi untuk menentukan busbar yang terganggu. Apabila Gardu Induk mempunyai lebih dari satu busbar, maka sistem proteksi busbar di Gardu Induk tersebut mempunyai beberapa zona proteksi tergantung dari jumlah busbar yang dimiliki (satu zona mengamankan satu busbar).

- **Check Zone**

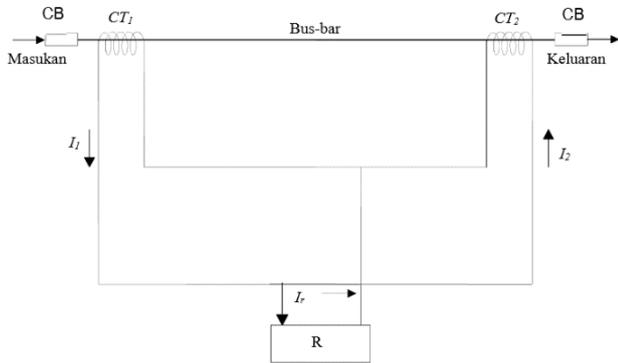
*Check zone* berfungsi untuk memastikan bahwa rele proteksi busbar akan bekerja dengan benar pada saat terjadi gangguan internal dan tidak akan bekerja pada saat gangguan eksternal. Check zone bekerja dengan cara membandingkan semua arus pada bay yang tersambung dalam gardu induk tanpa membandingkan arus yang ada pada CT bus kopel.



Gambar 2. Pola Sistem Proteksi Rele Differential Busbar

Prinsip kerja proteksi diferensial busbar yaitu semua arus yang masuk dan keluar dari busbar dibandingkan satu sama lain. Pada kondisi sistem normal atau terjadi gangguan di luar zona proteksi busbar, tidak ada resultan arus yang mengalir ke

rele diferensial busbar sehingga rele tidak bekerja. Namun sebaliknya apabila terjadi gangguan di dalam zona busbar, maka akan timbul resultan arus yang besar dan mengalir ke rele diferensial busbar sehingga rele bekerja.[2]



Gambar 3. Diagram Satu Garis Prinsip Kerja Rele Differential Busbar

Pada kondisi normal (tidak terjadi gangguan maka) persamaan dari system tersebut akan menjadi:

$$I_1 = I_2 \quad (2.1)$$

$$I_{Diff} = I_1 - I_2 \approx 0 \quad (2.2)$$

Dikarenakan tidak adanya perbedaan arus yang diukur oleh CT1 dan CT2 maka arus yang yang melewati rele hampir mendekati 0 sehingga rele tidak bekerja. Akan tetapi bila terjadi gangguan internal pada jaringan yang diproteksi maka persamaan tersebut akan menjadi :

Apabila hanya terdapat satu sumber:

$$I_1 \gg I_2$$

$$I_{Diff} \approx I_1$$

Pada busbar apabila terdapat lebih dari satu sumber:

$$I_{Diff} = I_1 + I_2 \quad (2.3)$$

Dimana :

$I_1$  : Arus yang dirasakan oleh CT 1

$I_2$  : Arus yang dirasakan oleh CT 2

$I_D$  : Arus yang mengalir pada rele diferensial / selisih antara  $I_1$  dan  $I_2$

Dalam menentukan settingan rele differential busbar harus melihat secara keseluruhan beban primer pada masing-masing saluran/bay dimana rele akan mengukur dari sekunder CT. Beban primer dan sekunder tersebut ditentukan oleh rasio masing-masing CT yang terhubung dengan busbar. Karakteristik rele juga mempengaruhi nilai setting, dengan melihat faktor kesalahan pembacaan dimana tidak boleh melebihi 10%. [5]

$$I_{set (primer)} = I_{fault\ rele} \times I_{beban\ (maks)} \quad (2.4)$$

Untuk menentukan arus beban maksimal pada yang terbaca pada masing-masing CT dapat digunakan rumus sebagai berikut :

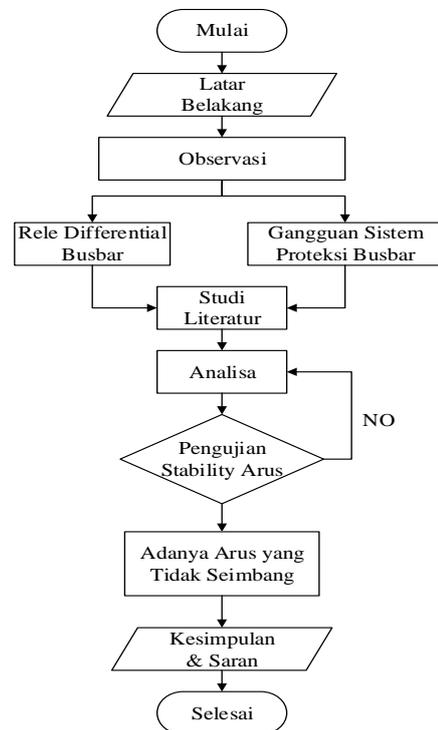
$$I_{hv} = \frac{MVA_{tot}}{1.73 \times kV}, \quad I_{lv} = \frac{MVA_{tot}}{1.73 \times kV} \quad (2.5)$$

Dimana  $I_{hv}$  untuk beban maksimal sisi primer dan  $I_{lv}$  untuk beban maksimal sisi sekunder.

Untuk menentukan arus yang terbaca disisi sekunder menggunakan nilai arus pick-up yaitu nilai kondisi dimana rele mendeteksi adanya kenaikan arus.

### III. METODOLOGI PENELITIAN

Melakukan penelitian dan pengukuran secara langsung terhadap instalasi di GISTET 500 kV Durikosambi serta melakukan Analisa dari data-data tersebut.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

### IV. HASIL PERHITUNGAN DAN ANALISA

#### A. Gangguan Sistem

Gangguan pada sistem GISTET 500 kV Durikosambi terjadi pada saat manuver pemberian tegangan IBT 2 dimana seluruh diameter dalam keadaan normal bertegangan. Gangguan muncul ketika manuver IBT 2 dilakukan, saat IBT 2

masuk ke dalam sistem GISTET Durikosambi 500 kV dan terhubung dengan beban 150 kV. Gangguan ini disebabkan oleh adanya gangguan REF (*Restricted Ground Fault*) yang terbaca pada sisi netral belitan HV (500 kV), gangguan ini pula yang mengakibatkan munculnya gangguan Rele Differential Busbar proteksi membaca adanya gangguan fasa pada instalasi IBT 2.

Adapun perhitungan arus beban penuh IBT Tiga Fasa sebagai berikut :

$$MVA_{tot} = 500MVA$$

$$U_{hv} = 500kV$$

$$U_{lv} = 150kV$$

$$X\%Impedance U_{hv} - U_{lv} = 13.0\%$$

$$I_{hv} = \frac{MVA_{tot}}{1.73 \times kV} = \frac{500 MVA}{1.73 \times 500 kV} \quad I_{hv} = 577,35 A$$

$$I_{lv} = \frac{MVA_{tot}}{1.73 \times kV} = \frac{500 MVA}{1.73 \times 150 kV} \quad I_{lv} = 1924,501 A$$

Berdasarkan perhitungan arus beban penuh pada sisi 500 kV adalah 577,35 A arus sisi primer dan 1924,501 A arus sisi sekunder.

Adapun perhitungan REF sisi 500 kV dan sisi 150 kV sebagai berikut:

Perhitungan REF pada sisi 500 kV. Grounding Sistem: *Solid Grounded*.

$$REF_{hv} = 0.05 \frac{MVA_{tot}}{1.73 \times kV}$$

$$REF_{hv} = 28.86A$$

Perhitungan REF pada sisi 150kV. Grounding sistem: *Solid Grounded*.

$$REF_{lv} = 0.05 \frac{MVA_{tot}}{1.73 \times kV}$$

$$REF_{lv} = 96.225A$$

Berdasarkan perhitungan arus REF sisi 500 kV adalah 28,86 A dan 96,225 A sisi 150 kV.

**B. Setting Differential Busbar**

Adapun, setting yang digunakan pada rele differential busbar *Low Impedance* adalah sebagai berikut :

*Function = Enabled*  
*Differential Pickup = 0.1 pu*  
*Low Slope = 25%*  
*Low BP = 23.6 pu*

*High Slope = 65%*  
*High BP = 118.3 pu*

Adapun perhitungan arus setting busbar proteksi 500 kV sebagai berikut :

$$Ratio CT Busbar = 4000 A$$

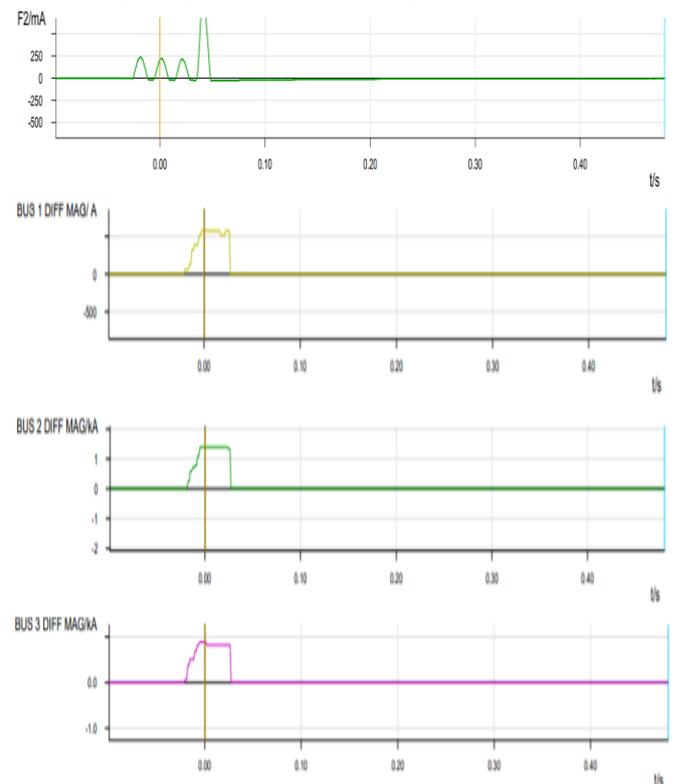
$$I_{Error} = \frac{1,05 \times 577,35}{4000} = 0,151 pu$$

$$I_{Error} = \frac{0,95 \times 577,35}{4000} = 0,137 pu$$

*Differential Pickup = |0,151 - 0,137| + 0,05 = 0,064 pu*  
 Maka dari hasil perhitungan differential pickup tersebut setting arus pickup sekunder sebesar 0,1 pu.

**C. Data Gangguan**

Gangguan terjadi karena adanya arus yang terbaca pada CT F2 dimana CT F2 adalah CT yang terpasang pada saluran IBT 2. Arus sebesar 250 mA atau sebesar 1000 A yang terbaca pada CT F2 mengakibatkan rele differential busbar (F87BB) bekerja. Seperti yang telah dijelaskan pada sub-bab sebelumnya, rele differential busbar (F87BB) akan bekerja pada arus pick-up F87BB adalah 0.1 pu atau sebesar 400 A.



Gambar 5. Data Gangguan Arus

D. Analisa

Ketidakeimbangan beban yang timbul pada IBT 2 dapat disebabkan karena adanya gangguan *short circuit* pada saluran yang terhubung pada CT, kesalahan pembacaan pada rele, atau pemasangan rangkaian CT yang tidak sempurna. Maka untuk mengatasi hal tersebut dilakukan investigasi sebagai berikut:

- Pemeriksaan ulang CT yang terhubung pada masing-masing saluran.
- Pemeriksaan rangkaian dari CT sisi sekunder untuk masing-masing core busbar proteksi.
- Pengujian *stability* pada rangkaian IBT 2.
- Pegujian *stability* pada seluruh rangkaian CT Busbar Proteksi.
- Pengecekan terminal rangkaian CT pada masing-masing saluran.

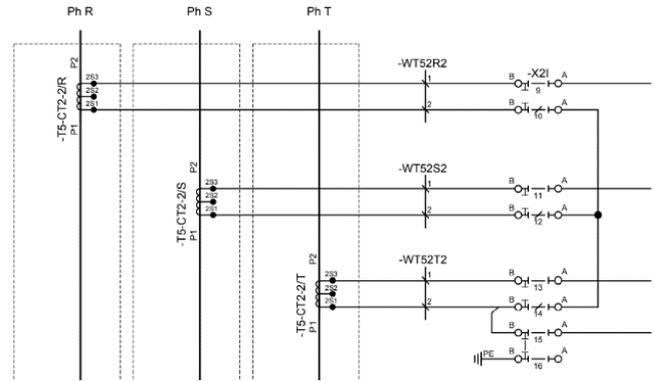
Pengujian *stability* Arus dilakukan dengan prinsip pembacaan arus yang masuk sama dengan arus yang keluar. Maka dilakukan dengan membandingkan pengukuran arus dari 2 CT (*Current Transformer*) yang berbeda dimana pengukuran sisi sekunder akan terbaca pada rele differential.

Adapun data hasil pengujian *stability* arus sebagai berikut :  
 Tabel 1. Hasil Uji *Stability* Arus (CT Diameter 1 terhadap CT Diameter 2) Sebelum Perbaikan

No.	Bay Feeder		Phasa	Arus Injeksi	Pengukuran Arus Primer (A) CT				Polaritas Rangkaian
	Bay 1	Bay 2			Bay 1	Bay 2	Arus Diff	Arus Restrain	
Stability Diff Diameter 1 terhadap Diameter 2									
1	Diameter 1	Diameter 2	R	100 A ph R	99.38	99.167	5.523	93.75	Normal
			L phasor	0.0 deg	-180.2 deg	-89.8 deg	-359.9 deg		
			S	0	25.833	25.604	7.813	23.438	
			L phasor	-153.2 deg	-332.7 deg	-134.8 deg	-151.8 deg		
			T	0	22.446	22.659	7.813	15.625	
			L phasor	-152.5 deg	-333.8 deg	-134.8 deg	-152.4 deg		
2	Diameter 1	Diameter 2	R	0	25.528	25.375	12.352	23.438	Normal
			L phasor	0.0 deg	-178.9 deg	-115.9 deg	-0.5 deg		
			S	100 A ph S	98.907	100.403	7.813	93.75	
			L phasor	-206.4 deg	-26.7 deg	-134.3 deg	-207.2 deg		
			T	0	25.406	26.169	5.523	23.438	
			L phasor	-356.5 deg	-176.5 deg	-179.3 deg	-357.5 deg		
3	Diameter 1	Diameter 2	R	0	23.712	24.246	7.813	23.438	Normal
			L phasor	0.0 deg	-179.1 deg	-135.0 deg	-181.0 deg		
			S	0	23.117	23.575	7.813	23.438	
			L phasor	-351.7 deg	-173.0 deg	-135.0 deg	-173.0 deg		
			T	100 A ph S	99.38	98.679	12.352	93.75	
			L phasor	-205.7 deg	-26.3 deg	-116.5 deg	-206.3 deg		

Metode pengujian *stability* busbar proteksi pada busbar A antara diameter 1 dan diameter 2 dengan metode per fasa. Pada pengujian ini terdapat anomali pada rangkaian bintang sekunder diameter 2 (IBT 2) saat salah satu fasa di aliri arus primer sebesar 100 A, fasa yang lain ikut membaca adanya kebocoran arus sebesar 20 hingga 25 A.

Setelah dilakukan pengecekan rangkaian, terdapat *short link* yang terpasang tidak sempurna. Hal ini yang menyebabkan adanya kebocoran arus dikarenakan terbaca gangguan hubung singkat fasa ke *ground*.



Gambar 6. Rangkaian Sekunder CT (*Short Link*)[6]

Setelah itu dilakukan perbaikan dan pengecekan ulang seluruh rangkaian CT dan dilakukan pengujian *stability* ulang dengan hasil arus yang terbaca pada rele differential normal tidak ada kebocoran arus.

Tabel 2. Hasil Uji *Stability* Arus (CT Diameter 1 terhadap CT Diameter 2) Setelah Perbaikan

No.	Bay Feeder		Phasa	Arus Injeksi	Pengukuran Arus Primer (A) CT				Polaritas Rangkaian
	Bay 1	Bay 2			Bay 1	Bay 2	Arus Diff	Arus Restrain	
Stability Diff Diameter 1 terhadap Diameter 2									
1	Diameter 1	Diameter 2	R	100 A ph R	99.243	99.045	12.352	93.75	Normal
			L phasor	0.0 deg	-180.2 deg	-172.8 deg	-359.9 deg		
			S	0	0.000	0.000	0.000	0.000	
			L phasor	0.0 deg	0.0 deg	0.0 deg	0.0 deg		
			T	0	0.000	0.000	0.000	0.000	
			L phasor	0.0 deg	0.0 deg	0.0 deg	0.0 deg		
2	Diameter 1	Diameter 2	R	0	0.000	0.000	0.000	0.000	Normal
			L phasor	0.0 deg	0.0 deg	0.0 deg	0.0 deg		
			S	100 A ph S	98.77	98.724	7.813	93.75	
			L phasor	-354.5 deg	-175.2 deg	-135.0 deg	-354.8 deg		
			T	0	0.000	0.000	0.000	0.000	
			L phasor	0.0 deg	0.0 deg	0.0 deg	0.0 deg		
3	Diameter 1	Diameter 2	R	0	0.000	0.000	0.000	0.000	Normal
			L phasor	0.0 deg	0.0 deg	0.0 deg	0.0 deg		
			S	0	0.000	0.000	0.000	0.000	
			L phasor	0.0 deg	0.0 deg	0.0 deg	0.0 deg		
			T	100 A ph S	99.64	99.03	7.813	93.75	
			L phasor	-333.8 deg	-153.7 deg	-135.0 deg	-334.0 deg		

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

- Prinsip kerja busbar adalah sebagai media untuk mengamankan pada daerah busbar itu sendiri. Apabila terjadi gangguan diluar daerah proteksinya seperti yang terjadi di GISTET 500 kV Durikosambi yaitu

gangguan pada REF (*Restricted Ground Fault*) IBT 2 harusnya rele differential busbar tidak ikut bekerja. Namun kenyataannya rele differential busbar bekerja mengakibatkan trip semua CB yang terhubung dengan busbar A.

- Gangguan pada rele differential busbar diakibatkan oleh kondisi rangkaian CT yang tidak sempurna yang menyebabkan pembacaan arus tidak seimbang pada fasa S yang mengalir pada CT F2 (IBT 2). Arus yang mengalir pada CT F2/fasa S sebesar 1000 A melebihi arus *pick-up* setting sebesar 0,1 pu atau 400 A yang telah ditentukan, sehingga rele busbar proteksi (F87BB) mengirimkan perintah untuk trip.
- Pengujian *stability* berfungsi untuk mengetahui rangkaian CT terpasang secara benar. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan terdapat kebocoran arus sebesar 20 sampai 25 A pada tiap fasa. Kebocoran arus tersebut disebabkan karena adanya gangguan hubung singkat pada CT rangkaian fasa ke ground yang terpasang pada short link rangkaian. Setelah perbaikan *short link* dilakukan pengujian *stability* ulang dengan hasil rele differential busbar terbaca arus normal dengan  $I^{CT} A1 = I^{CT} A2$  atau  $I1 - I2 = 0$  A.

#### B. Saran

Kesalahan rangkaian CT dapat mengakibatkan pemutusan beban secara tiba-tiba. Hal ini tentu dapat merugikan konsumen, maka diperlukan pengecekan dan

*stability* dengan metode yang benar sebelum dilakukan manuver beban sehingga dapat meminimalisir gangguan-gangguan yang berdampak pada kestabilan sistem.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kami sampaikan kepada semua pihak yang telah banyak membantu, kami sampaikan kepada Dosen Pembimbing, Rekan-Rekan Teknik Elektro dan Tim Jurnal Teknik Elektro Universitas Mercu Buana.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] PT PLN (Persero), 2014. Pusat Pendidikan dan Pelatihan, Pedoman Supervisi Konstruksi, Jakarta.
- [2] PT. PLN, 2014. Buku Pedoman Pemeliharaan Proteksi dan Kontrol Busbar, Badan Penerbit PLN, Jakarta.
- [3] B. Pandjaitan, 2013. Praktik-praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik, CV Andi Offset, Yogyakarta.
- [4] J. M. T. Manurung, 2009. "Studi Pengaman Busbar 150 kV Pada Gardu Induk Siantan".
- [5] Yusmartato, R. Nasution & Armansyah, 2019. "Menentukan Setting Rele Differential Pada Busbar Di Gardu Induk Paya Pasir Medan".
- [6] PT Grid Solution, 2018. 500/150kV GIS Durikosambi Schematic Diagram 500 kV Protection Panel, Jakarta.