

ANALISIS KETIDAKSEIMBANGAN ARUS DI PLTDG PESANGGARAN

Mawahib Mahmud, I Wayan Sutana

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Pendidikan Nasional
E-mail : wayansutana@undiknas.ac.id

ABSTRACT - The Electricity System in Bali continues to experience growth every year, where increasing demand for electricity is affected by the increase in the number of electricity consumers in one phase and consumers of electricity in three phases. The Gas Diesel Power Plant (PLTDG) in fulfilling the electricity needs in Bali can supply 200 MW of electricity, sourced from 12 generators. Along with the increase in various types of electricity consumers in Bali, the problem arises in the PLTDG Pesanggaran, namely the occurrence of unbalanced current. A large unbalanced current can cause a trip or a sudden death at the PLTDG Pesanggaran's generator. Based on the results of the study, the percentage of unbalanced current that occur in the PLTDG in normal conditions ranges between 2% to 3%. But at the time of the trip to the unit 6 generator due to unbalanced current, the percentage of unbalanced current that appeared on the generator just before the trip was 21.69% and has been going on for more than 58 minutes, which exceeds the setting of the relay which only allows a percentage unbalanced current under 8% with a maximum time of 58 minutes. During the trip, the generator only operated 1 unit in block 2, so the magnitude of the unbalanced carried by the generator unit 6 itself.

Keyword : The Gas Diesel Power Plant, PLTDG Pesanggaran, Unbalanced Current, Bali Electrical System

PENDAHULUAN

PLTDG (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel – Gas) Pesanggaran – Bali yang terdiri dari 12 mesin diesel-generator memiliki total daya terpasang sebesar 200 MW. PLTDG Pesanggaran dalam proses pembangkitan listriknya mengkonversi energi primer yang berasal dari gas alam sebagai bahan bakar utama mesin diesel kemudian mesin diesel di-*couple* dengan generator, sehingga generator dapat berputar dan menghasilkan energi listrik.

Dengan semakin meningkatnya kebutuhan listrik di Bali, maka akan timbul juga permasalahan yang muncul dari sistem kelistrikan tersebut, salah satunya adalah terjadinya *unbalanced current* di PLTDG Pesanggaran. *Unbalanced Current* ini akan berakibat fatal, karena jika dibiarkan secara terus-menerus yang ditandai dengan aktifnya *alarm Unbalanced Current* selama kurun waktu tertentu, maka akan menyebabkan

generator tersebut *Trip* atau mati secara tiba-tiba. *Trip*-nya generator pada PLTDG Pesanggaran tentunya akan berdampak pada suplai kebutuhan listrik di Bali.

1.1. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

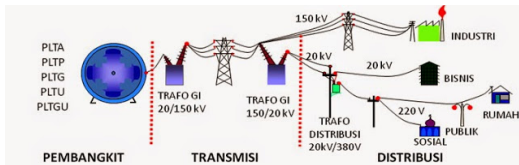
1. Mengetahui apa yang menyebabkan terjadinya *Unbalanced Current* di generator PLTDG Pesanggaran
2. Mengetahui dan memperediksi kapan terjadinya *Unbalanced Current* di PLTDG Pesanggaran

KAJIAN LITERATUR

2.1 Proses pendistribusian energi listrik

Struktur sistem tenaga listrik merupakan sistem yang kompleks karena terdiri atas komponen peralatan seperti generator, transformator, beban dan alat-alat pengaman dan pengaturan yang saling dihubungkan

membentuk suatu sistem yang digunakan untuk membangkitkan, menyalurkan, dan menggunakan energi listrik.



Gambar 1 Sistem Distribusi Energi Listrik

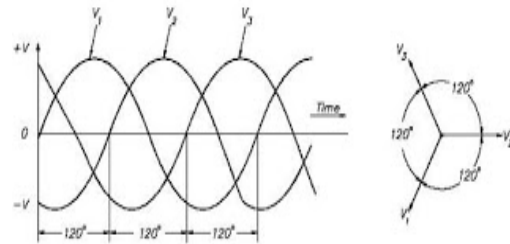
Pada gambar diatas dapat dilihat proses distribusi listrik memiliki 3 bagian penting, yaitu:

- a. Sistem Pembangkitan Pusat pembangkit tenaga listrik (*electric power station*) pada umumnya terletak jauh dari pusat-pusat beban dimana energi listrik digunakan, tetapi untuk pembangkit listrik yang tidak memerlukan luas wilayah yang terlalu besar seperti PLTD, terdapat di tempat yang dekat dengan kota.
- b. Sistem Transmisi Energi listrik yang dibangkitkan dari pembangkit listrik yang jauh disalurkan melalui kawat-kawat atau saluran transmisi menuju gardu induk (GI) dengan menggunakan tegangan tinggi (TT) maupun tegangan ekstra tinggi (TET).
- c. Sistem Distribusi Energi listrik berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu-gardu induk menuju konsumen tenaga listrik yang membutuhkannya.

2.2 Sistem 3 Fasa

Pada sistem tenaga listrik 3 fasa, idealnya daya listrik yang dibangkitkan, disalurkan dan diserap oleh beban semuanya seimbang, $P_{pembangkitan} = P_{pemakaian}$, dan juga pada tegangan yang seimbang. Pada tegangan yang seimbang terdiri dari tegangan 1 fasa yang mempunyai magnitude dan frekuensi yang sama tetapi antara fasa satu dengan yang lainnya mempunyai beda fasa sebesar 120° listrik, sedangkan secara fisik mempunyai perbedaan sebesar 60° , dan

dapat dihubungkan secara bintang (Y, wye) atau segitiga (delta, Δ , D).



Gambar 2 Gelombang sistem 3 fasa

a. Hubung Bintang

Pada hubungan bintang (Y, wye), ujung-ujung tiap fasa dihubungkan menjadi satu dan menjadi titik netral atau titik bintang.

Dengan titik netral maka besaran tegangan fasa dihitung terhadap titik netralnya, juga membentuk sistem tegangan 3 fasa yang seimbang dengan magnitudenya ($\sqrt{3}$ dikali magnitude dari tegangan fasa). $V_{line} = \sqrt{3} V_{fasa} = 1,73V_{fasa}$

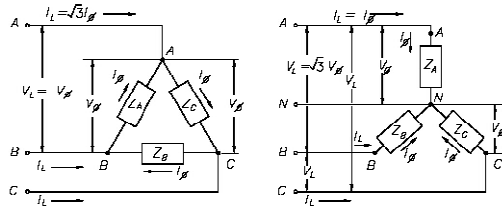
b. Hubung Setigaja

Pada hubungan segitiga (delta, Δ , D) ketiga fasa saling dihubungkan sehingga membentuk hubungan segitiga 3 fasa.

Dengan tidak adanya titik netral, maka besarnya tegangan saluran dihitung antar fasa, karena tegangan saluran dan tegangan fasa mempunyai besar magnitude yang sama, maka: $V_{line} = V_{fasa}$.

c. Daya Pada Sistem 3 Fasa Seimbang

Jumlah daya yang diberikan oleh suatu generator 3 fasa atau daya yang diserap oleh beban 3 fasa, diperoleh dengan menjumlahkan daya dari tiap-tiap fasa. Pada sistem yang seimbang, daya total tersebut sama dengan tiga kali daya fasa, karena daya pada tiap-tiap fasanya sama.



Gambar 3 Sistem 3 fasa seimbang

d. Daya pada sistem 3 fasa yang tidak seimbang

Sifat terpenting dari pembebanan yang seimbang adalah jumlah phasor dari ketiga tegangan adalah sama dengan nol, begitupula dengan jumlah phasor dari arus pada ketiga fasa juga sama dengan nol. Jika impedansi beban dari ketiga fasa tidak sama, maka jumlah phasor dan arus netralnya (I_n) tidak sama dengan nol dan beban

Dalam sistem 3 fasa ada 2 jenis ketidakseimbangan, yaitu:

1. Ketidakseimbangan pada beban.
2. Ketidakseimbangan pada sumber listrik (sumber daya).

2.3 Ketidakseimbangan Tegangan (Voltage Unbalanced)

Pada sistem tenaga listrik yang ada di Indonesia, listrik dibangkitkan, ditransmisikan, dan didistribusikan merupakan sistem 3 fasa. Idealnya, tegangan yang dibangkitkan dan yang diterima konsumen tegangan 3 fasa dengan bentuk sinusoidal dan seimbang. Akan tetapi adanya pembebanan yang tak seimbang serta ketidakseimbangan impedansi saluran menyebabkan tegangan yang diterima oleh peralatan menjadi tidak seimbang.

Pengaruh lain yang timbul akibat ketidakseimbangan tegangan pada peralatan didunia industri, terutama pada motor listrik adalah motor listrik menjadi lebih panas dari yang seharusnya, karena arus dan tegangan yang mengalir ke motor tersebut tidak seimbang. Hal ini juga akan berakibat motor listrik akan mengalami derating daya, torsi motor yang tidak stabil, serta

karakteristik full speed motor listrik akan berubah.

2.4 Static Var Compensator (SVC)

SVC merupakan suatu peralatan listrik yang berfungsi menyediakan kompensasi *fast-acting reactive power* (FACTS) yang berfungsi untuk mengatur aliran daya pada sistem dengan cara menginjeksikan atau menyerap daya reaktif pada sistem transmisi tersebut.

Secara umum SVC memiliki fungsi sebagai berikut :

1. Meningkatkan kapasitas sistem transmisi
2. Mengontrol tegangan di sistem transmisi
3. Mencegah terjadinya ketidakstabilan tegangan
4. Penurunan dan atau pembatasan terjadinya *overvoltage* yang disebabkan *load rejection*
5. Memperbaiki stabilitas jaringan

2.5 Generator

Menurut hukum Faraday, apabila kumparan berputar didalam magnet atau sebaliknya maka pada ujung-ujung kumparan tersebut akan timbul gaya gerak listrik (tegangan), pengaruh medan magnet pada kumparan akan membangkitkan arus listrik didalam kumparan tersebut, arus yang dibangkitkan ini disebut arus induksi.

Dalam kasus generator, rotor akan diputar menggunakan penggeraknya, dimana di PLTDG ini penggeraknya adalah mesin diesel. Pada saat rotor berputar, magnet yang ditimbulkan karena proses eksitasi akan ikut berputar sehingga medan magnet akan memotong kumparan yang ada di stator, yang nantinya di ujung kumparan stator akan menghasilkan tegangan listrik.

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi penelitian

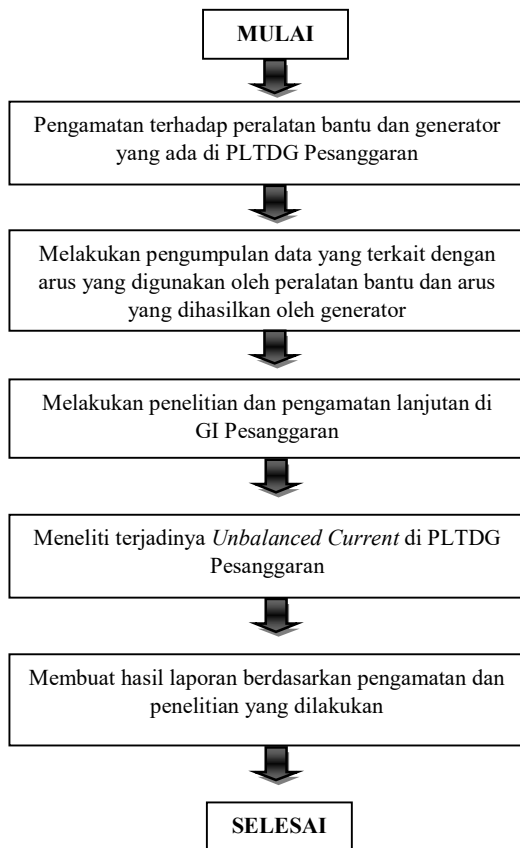
Lokasi penelitian adalah di area Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Gas

(PLTDG) Pesanggaran, Denpasar Selatan, Denpasar, Provinsi Bali.

Fokus penelitian dengan mengamati arus per-fasa dari setiap generator dan transformator yang ada di PLTDG Pesanggaran dan juga mengamati arus per-fasa dari setiap alat bantu yang digunakan disana, serta mengamati arus yang muncul di GI Pesanggaran.

3.2 Bagan Penelitian Analisa *Unbalanced Current*

Dalam penelitian ini langkah-langkah yang akan dilakukan untuk membuat tugas akhir ini dapat dilihat dalam bagan berikut :



Gambar 4 Bagan Penelitian

3.3 Pengumpulan Data Arus

Pengumpulan data arus dilakukan untuk mencari data arus 3 fasa yang ada di PLTDG Pesanggaran yang nantinya digunakan untuk

menganalisa mengenai *unbalanced current* yang terjadi di PLTDG Pesanggaran.

Pengumpulan data arus ini dilakukan pada beberapa tempat dan peralatan, antara lain sebagai berikut :

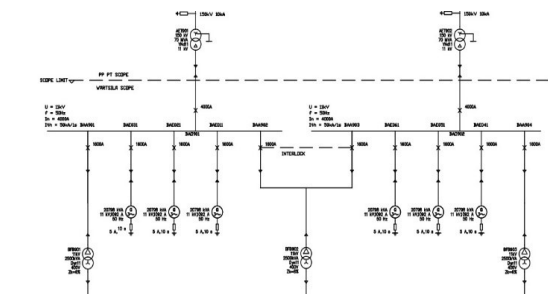
1. Peralatan Bantu PLTDG Pesanggaran
2. Generator PLTDG Pesanggaran
3. Transformator 11 KV / 150 KV PLTDG Pesanggaran
4. GI Pesanggaran

3.4 Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan menuliskan dan menganalisis terjadinya *unbalanced current* di PLTDG Pesanggaran dengan berdasarkan data arus yang sudah diamati.

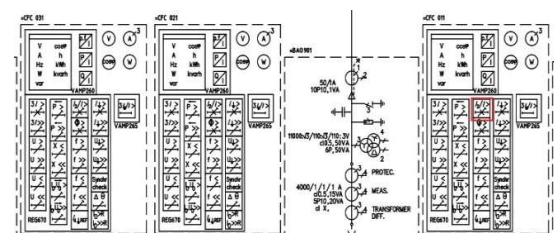
3.5 Diagram Tunggal PLTDG Pesanggaran

Dalam penelitian ini, dibutuhkan beberapa *single line diagram* yang berfungsi untuk menganalisa mengenai *unbalanced current*.



Gambar 5 Single Line Diagram Generator

Pada gambar diatas tersebut merupakan bagian dari desain kelistrikan yang ada di PLTDG Pesanggaran.



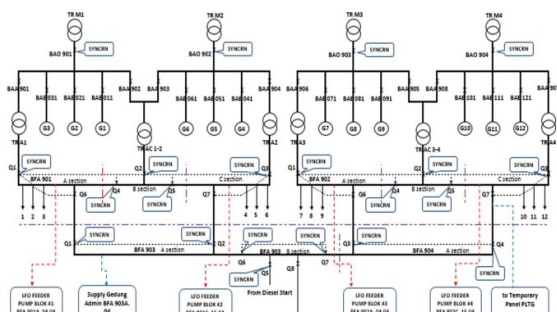
Gambar 6 Relay Proteksi

Pada gambar tersebut terdapat daerah yang diberi tanda merah, itu merupakan relay *Negative Sequence overcurrent*, dimana relay tersebut berfungsi dalam membaca nilai arus yang berada di urutan negative fasa, karena pada saat terjadi *unbalanced current* akan terdapat arus yang mengalir melalui urutan negative fasa. Relay ini lah yang bekerja dalam membaca dan men-*trip*-kan generator jika nilai *unbalanced current* di generator terlalu besar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Studi Kasus

PLTDG Pesanggaran dalam proses pembangkitan listriknya berfungsi untuk menyuplai 25% kebutuhan listrik di Bali dengan total daya sebesar 200 MW sehingga PLTDG Pesanggaran memiliki peranan penting dalam memenuhi kebutuhan listrik di Bali.



Gambar 7: Single Line PLTDG Pesanggaran

Pada tanggal 29 Mei 2018 pukul 19:14 salah satu pembangkit di PLTDG Pesanggaran yaitu PLTDG unit 6 terindikasi muncul alarm *unbalance load* pada layar monitor di ruang kontrol PLTDG sehingga menyebabkan PLTDG unit 6 mengalami *trip* yang dikarenakan terjadinya *unbalance current*.

Pada setting relay proteksi *unbalance current* di PLTDG Pesanggaran terdapat jeda waktu antara awal terdeteksinya terjadi *unbalance* sampai dengan unit mengalami *trip*.

4.2 Pengamatan Arus di Peralatan Bantu PLTDG Pesanggaran

Untuk mendukung data mengenai terjadinya *unbalance current* di PLTDG Pesanggaran, maka dilakukanlah pengukuran arus listrik per-fasa di peralatan bantu yang ada di PLTDG. Beberapa peralatan yang diukur nilai arusnya adalah sebagai berikut :

- Inlet fan
- Outlet fan
- Motor radiator
- LFO (Light Fuel Oil) feeder

Untuk mengukur besarnya persentase *unbalanced current* yang terjadi pada hasil pengamatan arus, dapat menggunakan rumus perhitungan *unbalance*, yaitu seperti yang ada dibawah ini :

$$\% \text{ unbalance} = \frac{\text{perbedaan nilai arus tertinggi dengan nilai rata - rata}}{\text{nilai arus rata - rata}} \times 100 \%$$

Untuk hasil dari pengukuran nilai arus yang dilakukan diperalatan bantu PLTDG dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

No	Peralatan	Fasa			% unbalance
		R	S	T	
Blok 1					
1	Inlet Fan (Unit 1)	20,4	22,4	21,1	5,16%
2	Inlet Fan (Unit 3)	21,8	23,1	22,4	2,97%
3	Outlet Fan (Unit 1)	24,2	23,3	22,9	3,12%
4	Outlet Fan (Unit 3)	24,9	25,7	24,8	2,25%
5	Motor Radiator (Unit 1)	64,2	75	71,5	6,79%
6	Motor Radiator (Unit 3)	64,4	76,5	71,4	8,10%
7	LFO Feeder	4,9	5,8	5	10,83%

Tabel 1 Arus Peralatan Bantu PLTDG

Berdasarkan hasil pengukuran arus, besaran persentase *unbalanced current* memiliki nilai yang berbeda-beda

Jika menggunakan standar yang berlaku di IEEE 446-1995 dimana persentase *unbalance* yang diperbolehkan adalah sebesar 5%-30%, dari semua hasil pengukuran arus di

peralatan bantu yang ada di PLTDG Pesanggaran masih memenuhi standar yang berlaku. Hal ini karena persentase *unbalance* yang terjadi di peralatan bantu masih berada di bawah nilai 30%.

4.3 Pengamatan Arus Generator PLTDG Pesanggaran

Untuk mengetahui kemungkinan terjadinya *unbalanced current* pada generator maka dilakukanlah pengukuran arus di generator saat generator tersebut berbeban.

Untuk hasil pengamatan arus generator dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

No	Peralatan	Jam Pengambilan Data / Beban	Arus			% <i>Unbalance</i>
			R (A)	S (A)	T (A)	
1	Generator Unit 1	12:00 (15,2 MW)	765,03	772,13	793,13	2,11%
		15:00 (15,2 MW)	761,41	768,94	792,09	2,32%
		18:30 (15,2 MW)	781,46	785,72	821	3,13%
		20:00 (15,2 MW)	770,83	777,39	807,21	4,55%
		21:00 (15,2 MW)	773,38	779,54	807,81	2,66%
		23:00 (15,2 MW)	782,24	785,97	835,59	4,28%

Tabel 2 *Trending* data arus generator 1

Pada *trending* data arus di generator unit 1, pada saat beban stabil di 15,2 MW persentase nilai *unbalance* berkisar antara 2% - 3%. Tetapi pada saat mendekati beban puncak malam hari, yaitu sekitar pukul 18:00 persentase nilai *unbalance* mulai meningkat dan mencapai diatas 4% pada pukul 20:00, hingga pada waktu mendekati tengah malam yaitu pada pukul 23:00 persentase nilai *unbalance* melebihi nilai 4%.

Untuk mengetahui sumber *unbalanced current* yang timbul pada generator apakah terjadi karena faktor resistansi generator,

maka dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus persentase *unbalance*, dengan hasil sebagai berikut.

No	Peralatan	Fasa			% <i>unbalance</i>
		U-V (Ohm)	U-W (Ohm)	V-W (Ohm)	
1	Generator 1	0,03702	0,03704	0,03703	0,027%
2	Generator 2	0,03769	0,03771	0,03769	0,035%
3	Generator 3	0,03772	0,03773	0,03771	0,027%
4	Generator 4	0,03759	0,0376	0,03759	0,018%
5	Generator 5	0,03765	0,03766	0,03766	0,009%
6	Generator 6	0,03743	0,03743	0,03741	0,018%
7	Generator 7	0,03753	0,03736	0,03754	0,169%
8	Generator 8	0,0378	0,03783	0,03782	0,035%
9	Generator 9	0,03738	0,03739	0,03736	0,036%
10	Generator 10	0,03779	0,03782	0,0378	0,044%
11	Generator 11	0,03736	0,03738	0,03737	0,027%
12	Generator 12	0,03733	0,03735	0,03734	0,027%

Tabel 3 Resistansi Generator

Dapat diamati pada tabel tersebut, bahwa nilai persentase *unbalance* resistansi yang terdapat pada generator sangat kecil sekali, semua nilai persentase *unbalance* resistansinya dibawah 1%.

4.4 Pengamatan Arus Transformator PLTDG Pesanggaran

Dari data yang didapat melalui *trending* data arus, maka dapat diketahui persentase *unbalanced current* seperti tabel dibawah ini.

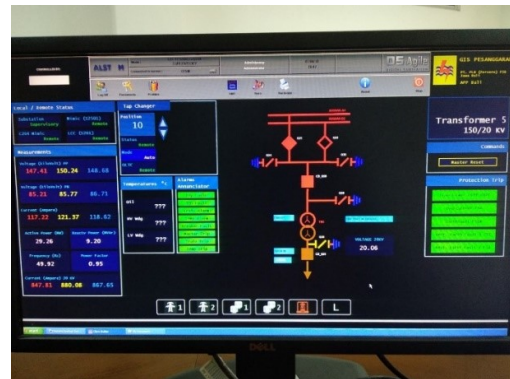
No	Peralatan	Jam / Beban	Arus			% Unbalance
			R (A)	S (A)	T (A)	
1	Transformator Blok 2	00:00 (43,87 MW)	2075,91	2305,76	2423,44	6,84%
		02:30 (25,49 MW)	1170	1314,19	1455,85	10,85%
		04:00 (25,55 MW)	1202,63	1309,58	1462,5	10,39%
		10:00 (43,78 MW)	2067,72	2279,08	2381,4	6,18%
		12:00 (42,96 MW)	2008,82	2230,87	2286,68	5,11%
		13:30 (38,1 MW)	1829,13	2036,64	2129,23	6,55%
		15:00 (43,15 MW)	2028,55	2252,67	2318	5,38%
		18:00 (43,92 MW)	2062,04	2290,65	2364,88	5,61%
		19:00 (44,18 MW)	2090,26	2310,43	2404,91	6,01%
		21:00 (44,22 MW)	2081,03	2302,94	2385,75	5,72%
		23:30 (44,39 MW)	2099,76	2319,68	2463,25	7,37%

Tabel 4 : *Trending* data arus transformator blok 2

Dapat dilihat dari tabel diatas yang menampilkan data *trending* arus transformator blok 2, bahwa pada saat pukul 00:00 dengan berbeban mendekati maksimum memiliki persentase nilai *unbalance* sebesar 6,84%. Persentase ini mulai meningkat pada saat dini hari dengan beban minimum yang berasal dari 2 unit generator (13 MW x 2 generator), dimana persentase *unbalance* mencapai 10%. Kemudian nilai persentase *unbalance* menurun menjadi 8,76% pada pukul 08:30 dengan beban yang sudah sedikit dinaikan. Dan kemudian persentase stabil disekitar 5% hingga 6% pada beban maksimum disiang hari pada pukul 10:00 hingga pukul 21:00. Kemudian persentase *unbalance* meningkat menjadi diatas 7% pada saat mendekati tengah malam yaitu pukul 23:00.

4.5 Pengamatan Arus di GI Pesanggaran

Pengamatan yang dilakukan di GI Pesanggaran ini dilakukan pada saat beban puncak malam hari, yaitu sekitar pukul 19:00. Dimana pada pukul 19:00 ini peralatan listrik yang ada dirumah tangga banyak digunakan, dan beberapa perkantoran yang ada belum mematikan peralatan listriknya secara menyeluruh, sehingga kebutuhan listrik meningkat.



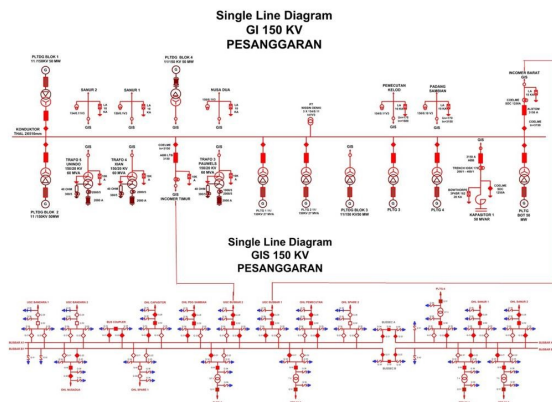
Gambar 8 Pengambilan data arus di GI Pesanggaran

Untuk mengetahui besaran nilai *unbalance current* yang terjadi di sekitar Pesanggaran dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

No	Peralatan	Fasa			% unbalance
		R (A)	S (A)	T (A)	
1	Line Padang Sambian	39,34	21,51	22,93	40,87%
2	Line Busbar 1	222,53	217,83	219,8	1,13%
3	Line Busbar 2	262,25	240,48	262,33	2,87%
4	Line Pemecutan Kelod	249,92	227,56	254,62	4,34%
5	Transformator PLTDG 3	197,35	183,46	196,07	2,63%
6	Transformator 3	108,38	110,17	108,18	1,16%
7	Line Busbar A	117,53	121,33	119,63	1,53%
8	Line Busbar B	186,83	185,94	186,08	0,29%
9	Transformator PLTDG 4	197,87	186,9	197,32	1,98%
10	Transformator 4	99,13	103,02	101,03	1,94%
11	Transformator 5	117,24	121,18	118,6	1,83%
12	Line Sanur	287,77	273,22	287,87	1,74%

Tabel 5 Data arus di GI Pesanggaran

Dapat dilihat pada tabel diatas bahwa nilai persentase *unbalance* yang paling besar, yaitu sebesar 40,87% berada di *line* transmisi Padang Sambian, sedangkan untuk yang terbesar kedua yaitu sebesar 4,34% berada di *line* pemecuten kelod.



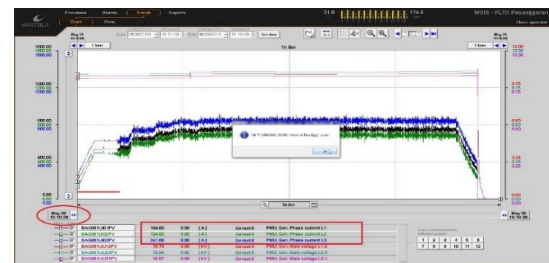
Gambar 9 : *Single line* diagram 150 KV daerah Denpasar Selatan

Jika melihat pada *single line* diagram yang terdapat pada gambar 4.12 dan dibandingkan dengan pengambilan data arus yang ada di GI Pesanggaran yang terdapat pada tabel 4.3, dimana dapat diamati bahwa yang memiliki nilai *unbalance current* yang kecil yaitu pada *line* busbar A dan busbar B dimana mensuplai kebutuhan listrik di daerah nusa dua dan kebutuhan listrik di daerah bandara yaitu masing-masing memiliki nilai *unbalance* sebesar 1,53% dan 0,29%. Nilai *unbalance* di *line* busbar A dan busbar B tersebut sangat kecil sekali jika dibandingkan dengan nilai *unbalance* di *line* padang sambian dan pemecutan kelod.

Dari analisa yang dilakukan dari pengamatan nilai *unbalance current* yang ada di GI Pesanggaran, serta dengan melihat dari *single line* diagram 150 KV untuk daerah Denpasar Selatan, maka bisa disimpulkan bahwa nilai persentase *unbalance* yang besar berada pada daerah yang ada di sebelah utara dari daerah Pesanggaran. Sedangkan untuk *line* yang berada di daerah selatan Pesanggaran mengalami nilai *unbalance* yang kecil sekali.

4.6 Identifikasi dan Kajian Kasus

Pada saat kejadian *trip* pada PLTDG unit 6 di tanggal 29 mei 2018 yang mengalami *unbalance*, *trip* ini terjadi secara tiba-tiba. Hal ini diasumsikan karena pada saat itu PLTDG unit 6 baru beroperasi pada pukul 18.10, seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 10 Data arus PLTDG unit 6

Dengan menggunakan data dari *trending* arus pada generator unit 6 disaat kejadian *trip*, maka didapatkan hasil seperti pada tabel dibawah ini.

No	Peralatan	Jam / Beban	Arus			% <i>Unbalance</i>
			R (A)	S (A)	T (A)	
1	Generator Unit 6	18:10 (Awal Start)	184	124	241	31,69 %
		18:45 (15,2 MW)	757	695	852	10,93 %
		19:14	289	224	350	21,69 %

Tabel 6 *Trending* arus generator 6

Dapat dilihat pada tabel diatas, pada saat generator unit 6 awal start dan sinkron, memiliki persentase *unbalanced current* yang tinggi, yaitu 31,69%. Kemudian persentase menurun menjadi 10,93% pada saat beban sudah stabil di 15,2 MW, tetapi pada saat tersebut alarm *unbalanced current* sudah aktif, tetapi karena memiliki delay waktu sehingga generator belum mengalami *trip*. Kemudian pada saat pukul 19:14, yaitu sesaat sebelum mengalami *trip*, persentase *unbalanced current* meningkat lagi menjadi 21,69%.

Untuk melakukan identifikasi *unbalanced current* yang terjadi pada tanggal 29 Mei 2018, maka dilakukan pengamatan pada arus transformator blok 2 pada tanggal 29 Mei 2018.

Dari hasil *trending* data arus transformator blok 2 pada tanggal 29 Mei 2018, transformator blok 2 hanya mengirim daya beban pada sekitar 18:10 hingga pukul 19:14 (pada saat terjadinya *trip* karena *unbalanced current* pada unit 6), selain pada waktu tersebut transformator blok 2 tidak mengirimkan daya kepada konsumen.

Dari hasil *trending* data arus, maka dapat dilihat detail lengkapnya pada tabel dibawah ini.

No	Peralatan	Jam Pengambilan Data/Beban	Arus			% <i>Unbalance</i>
			R (A)	S (A)	T (A)	
1	Transformator Blok 2	18:10 (2,53 MW - Awal unit start)	119	86	214	53,22%
		18:45 (13,66 MW)	662	662	816	14,39%
		19:14 (4,88 MW - Sesaat akan <i>trip</i>)	300	208	370	26,42%

Tabel 7 *Trending* data arus transformator blok 2 tanggal 29 Mei 2018

Dapat dilihat pada tabel 7 yang menampilkan data *trending* arus transformator blok 2 pada tanggal 29 Mei 2018, dimana transformator blok 2 hanya mengirimkan daya beban listrik disekitar pukul 18:10 hingga pukul 19:14 saja. Dilihat dari tabel diatas, beban maksimal yang dikirimkan oleh transformator hanya sebesar 13,66MW pada angka terbesarnya yaitu pada pukul 18:45, hal ini membuktikan bahwa pada saat itu unit yang beroperasi pada blok 2 hanya unit 6 saja (yang mengalami *trip unbalanced current*) karena beban maksimal yang dapat dikirimkan oleh satu buah generator pada PLTDG Pesanggaran adalah sebesar 15,2 MW, sedangkan angka tersebut masih dibawah kemampuan maksimum dari satu buah generator.

Analisa yang dapat diberikan pada identifikasi dan kajian kasus yang terjadi pada saat *unbalanced current* pada tanggal 29 Mei 2018 adalah karena pada saat terjadinya *trip* yang disebabkan oleh *unbalanced current* tersebut, generator yang beroperasi di blok 2 PLTDG Pesanggaran hanya 1 buah saja, yaitu generator unit 6, sehingga arus beban yang timbul semuanya dipikul atau ditanggung oleh unit 6 saja. Karena arus beban yang timbul hanya dipikul atau ditanggung oleh 1 buah generator saja, sehingga persentase nilai *unbalance* yang timbul akan cukup untuk mengaktifkan relay *unbalance* yang dapat menyebabkan unit *trip*.

4.7 Analisa *Unbalanced Current* Dengan Metode Perhitungan

Analisa *unbalanced current* menggunakan metode perhitungan ini dilakukan dengan cara melakukan perhitungan menggunakan rumus "pembagi arus" seperti yang terdapat pada "hukum kirchoff", hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah resistansi internal generator dapat mempengaruhi besar dan kecilnya persentase *unbalance* di generator.

Dengan menggunakan rumus "pembagi arus" maka dilakukan perhitungan arus pada masing-masing fasa di setiap generator pada transformator blok 2, pada pukul 06:00 pada tanggal 3 Oktober 2018, dimana pada saat itu transformator mengirimkan daya sebesar 25,5 MW. Pada saat itu dua buah generator sedang beroperasi dengan beban minimum, yaitu sebesar 13 MW untuk masing-masing generatormya. Untuk arus yang dihasilkan transformator pada setiap fasanya adalah fasa R 1216,37 Amper, fasa S 1312 Amper, dan fasa T 1471,75 Amper dengan persentase *unbalance* sebesar 10,38%.

Generator yang beroperasi di blok 2 pada pukul 06:00 tanggal 3 Oktober 2018 adalah generator 5 dan generator 6, dengan data resistansi pada kedua generator tersebut sebagai berikut :

Dimana, R_{RG5} = Resistansi fasa R generator 5, R_{RG6} = Resistansi fasa R generator 6

R_{SG5} = Resistansi fasa S generator 5, R_{SG6} = Resistansi fasa S generator 6

R_{TG5} = Resistansi fasa T generator 5, R_{TG6} = Resistansi fasa T generator 6

- Resistansi generator 5 adalah R_{RG} 0,03765 ohm, R_{SG} 0,03766 ohm, dan R_{TG} 0,03766 ohm.
- Resistansi generator 6 adalah R_{RG} 0,03743 ohm, R_{SG} 0,03743 ohm, dan R_{TG} 0,03741 ohm.

Karena data yang digunakan sebagai perhitungan ini generator yang beroperasi hanya 2 unit, maka tidak perlu dilakukan perhitungan nilai resistansi antara 2 buah generator seperti yang dilakukan pada perhitungan sebelumnya. Dengan menggunakan rumus pada prinsip “pembagi arus”, maka dapat dilakukan perhitungan seperti dibawah ini :

$$IRG5 = \frac{RRG6}{(RRG5) + (RRG6)} \times Arus$$

$$IRG5 = \frac{0,03743}{0,03765 + 0,03743} \times 1216,37$$

$$IRG5 = 606,402 \text{ Amper}$$

Dengan menggunakan rumus yang sama, maka dapat dihitung juga arus pada fasa R generator 6.

$$IRG6 = \frac{RRG5}{(RRG5) + (RRG6)} \times Arus$$

$$IRG6 = \frac{0,03765}{0,03765 + 0,03743} \times 1216,37$$

$$IRG6 = 609,967 \text{ Amper}$$

Dengan menggunakan cara dan rumus yang sama, maka dapat dihitung juga arus pada fasa S dan fasa T dari generator 5 dan generator 6. Hasil perhitungan tersebut dapat dilihat dibawah ini :

- I_{SG5} = 653,99 amper, I_{SG6} = 658,009 amper
- I_{TG5} = 733,424 amper, I_{TG6} = 738,325 amper

Setelah mengetahui arus dari masing-masing fasa pada generator 5 dan generator 6, maka dapat dihitung persentase *unbalance* yang terjadi. Hasil dari perhitungan *unbalance* dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

No	Peralatan	Arus			% <i>Unbalance</i>
		R (A)	S (A)	T (A)	
1	Generator 5	606,402	653,99	733,424	10,35%
2	Generator 6	609,967	658,009	738,325	10,40%

Tabel 8: Hasil persentase *unbalance* berdasarkan perhitungan pada blok 2

Dapat dilihat pada tabel diatas bahwa persentase *unbalance* berdasarkan perhitungan pada blok 2, hasil yang ditunjukkan melalui metode perhitungan pada generator 5 dan generator 6 memang cukup tinggi, hingga melebihi 10%. Tetapi hasil ini tidak berbeda jauh dari hasil persentase *unbalance* berdasarkan *trending* data arus yang dilakukan di transformator blok 2 pada pukul 06:00 tanggal 3 Oktober 2018. Hasil yang ditunjukkan melalui metode perhitungan memang lebih tinggi jika dibandingkan dengan hasil *trending* data arus pada generator 5 dan generator 6, hasil *trending* data arus pada generator menunjukkan persentase *unbalance* sekitar 7%.

Dari dua perhitungan diatas, dapat disimpulkan bahwa resistansi dimasing-masing generator pada suatu blok pada saat generator tersebut berbeban dapat sedikit berpengaruh terhadap perbedaan nilai persentase *unbalanced current* yang terjadi.

4.8 Analisa *Unbalanced Current* di PLTDG Pesanggaran

Setelah dilakukan beberapa pengamatan dan pengukuran terhadap nilai arus pada peralatan bantu PLTDG, arus pada generator,

resistansi generator, dan arus pada GI Pesanggaran, seperti yang tertampil diatas, maka dapat diamati bahwa terjadinya *unbalance current* di PLTDG Pesanggaran terjadi pada setiap peralatan, mulai dari generator bahkan sampai ke peralatan bantu di PLTDG yang bersumber listrik 3 fasa.

Menurut hasil pengamatan dari arus generator dan pengamatan terhadap resistansi generator, maka dapat disimpulkan bahwa terjadinya *unbalance current* di generator PLTDG Pesanggaran terjadi bukan karena resistansi internal generator, hal ini dibuktikan dengan nilai resistansi internal generator yang memiliki persentase *unbalance* yang sangat kecil sekali sehingga seharusnya arus yang dihasilkan oleh generator adalah arus yang seimbang. Untuk kemungkinan terjadinya *unbalanced current* di generator PLTDG Pesanggaran, *unbalance current* sangat mungkin terjadi saat generator diberikan beban minimum, yaitu 13 MW. Kemungkinan terjadinya *unbalance current* juga mungkin terjadi saat tengah malam hingga pagi hari dimana konsumsi beban listrik di konsumen sedikit. Untuk beberapa generator, seperti generator 1, generator 3, generator 7, dan generator 9 mengalami sedikit peningkatan persentase nilai *unbalance* pada saat beban puncak malam hari yaitu sekitar pukul 18:00 – 20:00, hal ini membuktikan bahwa memungkinkan untuk aktifnya alarm *unbalance* pada saat beban puncak malam hari.

Untuk hasil pengamatan arus di transformator daya 11 KV / 150 KV yang digunakan di PLTDG Pesanggaran, maka analisa yang dapat dilakukan adalah persentase nilai *unbalance* yang terjadi cenderung stabil pada saat mensuplai beban maksimum pada saat siang hari hingga malam hari, yaitu sekitar 2% hingga 3%. Tetapi pada saat mendekati tengah malam hingga dini hari, baik itu pada saat mensuplai beban maksimum maupun pada saat mensuplai beban minimum persentase *unbalance*

cenderung meningkat pada angka 4% hingga 8%. Tetapi pada transformator blok 2 dan transformator blok 3, pada saat pagi hari sekitar pukul 08:30 dengan mensuplai beban minimum, persentase *unbalance* yang dihasilkan cukup tinggi yaitu mencapai 5% hingga 8%. Hal ini mengindikasikan bahwa pada saat PLTDG mensuplai beban minimum pada masing-masing generatonya dapat menyebabkan meningkatnya persentase *unbalance* yang terjadi di PLTDG Pesanggaran.

Dari hasil pengamatan arus yang dilakukan di PLTDG Pesanggaran, baik itu pada peralatan bantu PLTDG, pada generator PLTDG, dan pada transformator daya 11 KV / 150 KV PLTDG, arus pada fasa T cenderung yang paling tinggi dari pada fasa R dan fasa S, hal ini mengindikasikan bahwa pada pembebanan 1 fasa di jaringan distribusi PLN mengalami pembagian beban yang tidak merata pada fasa T.

Untuk pengamatan arus di GI Pesanggaran dapat dilihat dan diamati bahwa terjadinya *unbalance current* yang terbesar berada pada *line* transmisi yang berasal dan menuju ke utara pesanggaran, sedangkan untuk *line* transmisi yang menuju ke daerah selatan Pesanggaran nilai persentase *unbalance*-nya relatif seimbang disetiap fasanya. Hal ini menunjukkan bahwa terjadinya *unbalance current* di PLTDG dan daerah GI Pesanggaran terjadi karena pembebanan di daerah utara Pesanggaran yang mengalami ketidakseimbangan, hal ini juga memungkinkan terjadi karena bedanya karakteristik perbedaan jenis dan tipe beban antara wilayah utara dengan wilayah selatan pesanggaran. Dimana wilayah utara didominasi oleh beban rumah tangga yang menggunakan sumber listrik 1 fasa, sedangkan wilayah selatan didominasi oleh beban perhotelan dan bandara yang menggunakan sumber listrik 3 fasa.

Untuk memperbaiki *unbalance current* yang besar di daerah utara Pesanggaran, dapat

diantisipasi dengan menggunakan SVC (*Static Var Compensator*), dimana SVC ini dapat memperbaiki profil tegangan yang drop disalah satu fasanya dikarenakan terjadinya *unbalance current*. Sehingga diharapkan persentase nilai *unbalance current* yang terjadi dapat dikurangi.

KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan sebelumnya maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Penyebab yang dapat menyebabkan munculnya alarm *unbalance current* di PLTDG Pesanggaran adalah karena persentase *unbalanced current* yang terjadi di generator memiliki nilai yang cukup tinggi yaitu di atas 8% dengan waktu delay sekitar 58 menit.
2. Faktor yang dapat menjadi penyebab terjadinya *unbalance current* adalah disebabkan karena faktor eksternal, yaitu ketidakseimbangan beban yang ada di konsumen, terutama pada daerah utara dan selatan Pesanggaran, dimana di dua daerah ini memiliki karakteristik tipe beban yang berbeda. Untuk di utara memiliki karakteristik beban individu atau rumah tangga yang menggunakan sumber listrik 1 fasa, sedangkan untuk daerah selatan Pesanggaran bertipe beban 3 fasa yang banyak digunakan di hotel dan bandara.
3. Waktu yang paling memungkinkan terjadinya *unbalance current* pada PLTDG Pesanggaran adalah pada saat tengah malam, dan juga pada saat beban puncak malam yaitu pada pukul 18:00 – 20:00.

DAFTAR PUSTAKA

- Marsudi, D. 2006. *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Penerbit Graha Ilmu.
- Saadat, H. 1999. *Power System Analysis*. McGraw-Hill.
- Wartsila. 2014. *Manual Book PLTDG Pesanggaran Operation and Maintenance Manuals* Wartsila Finland Oy.

- IEEE Standart 446-1995(R2000), *IEEE Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Application*
- PT PLN (Persero), Buku Manual SVC (*Static Var Compensator*)
- Wiguna B, Arya. *Penempatan SVC (Static Var Compensator) Untuk Memperbaiki Profil Tegangan Pada Jaringan Transmisi PT. PLN Lampung*. Universitas Lampung.