

# Analisis Load Sharing dan Load Shedding Operasi Paralel Generator Sinkron PG Kebun Agung

Epiwardi<sup>a)</sup>, Rachmat Sutjipto<sup>a)</sup>, Tresna Umar<sup>a)</sup>

(Artikel diterima: Januari 2023I, direvisi: Februari 2023)

**Abstract:** The Kebon Agung sugar factory has two power supplies, namely from the PLTU Kebon Agung sugar factory itself and from PLN. There are 3 synchronized generators at the Kebon Agung Sugar Factory, with a power of 4.5 MW on generators 1,2 and 1,6 MVA on generator 3. The difference in power between generators 1,2 and 3 causes frequent interference with generator 3 because it has less power. This Final Project analyzes load sharing and load shedding using MATLAB Simulink R2013a. Through these simulations it is shown the division of the load from each generator during normal conditions or when one generator is released. see the effect of the generator that has been set to speed droop when load sharing conditions, the speed of droop is varied so that it knows the characteristics of the generator that has been set speed droop. In the Final Project, the simulation value and calculation of the speed droop setting value in the Kebon Agung sugar factory is ideal. Because ideally the setting of speed droop in the settings so it is not too sensitive and not too long in responding to changes in load that occur in the system.

**Keywords:** Load Shedding, Frequency, Speed Droop, Load Sharin, Paralel Operation.

## 1. Pendahuluan

Pada PG. Kebon Agung ada tiga unit generator yang disinkronisasi yaitu generator shinko 1,2 dengan daya 4 MW dan generator Siemens 3 dengan daya 2135 KVA, sedangkan generator Siemens 1 bekerja sendiri tanpa diparalel atau disinkronisasi. Pada saat generator disinkronisasi sering terjadi gangguan pada generator Siemens 3 yang memiliki daya yang lebih kecil, yaitu apabila beban yang digunakan besar sering terjadi trip pada generator Siemens 3. Gangguan lainnya yang terjadi pada saat ketiga generator disinkronkan adalah menyebabkan panas pada busbar. Untuk mengetahui dan mengatasi masalah sinkronisasi tersebut, akan dilakukan analisis *load sharing* dan *load shedding*, untuk mendapatkan settingan yang sesuai dengan karakterisitik generator.

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Sinkornisasi Generator

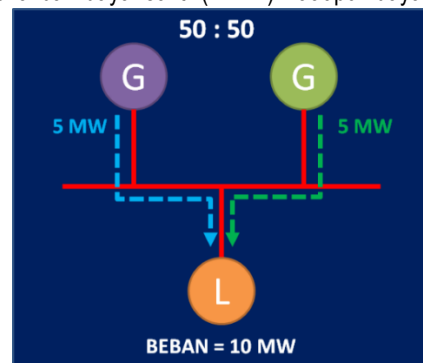
Sinkronisasi Paralel Generator adalah agar dapat menambah kebutuhan daya (power) sehingga dapat men-supply / mengimbangi kebutuhan beban yang lebih besar. Selain itu juga bertujuan agar jika suatu pembangkit terjadi masalah, beban-beban yang seharusnya ditanggung oleh pembangkit tersebut dapat di supply oleh pembangkit lainnya

### 2.2 Generator

Generator adalah suatu alat yang dapat mengubah tenaga mekanis menjadi tenaga listrik dan menghasilkan tenaga listrik bolak balik atau tenaga listrik searah tergantung pada tipe generator. Generator arus bolak balik sering disebut juga genrator sinkron. Prinsip kerja generator berdasarkan hukum Faraday tentang induksi elektro magnetik yaitu bila suatu konduktor digerakkan dalam medan magnet, maka akan membangkitkan gaya gerak listrik. Konstruksi generator sinkron terdiri dari Stator dan Rotor. Stator adalah bagian yang diam sedangkan rotor adalah bagian yang bergerak.

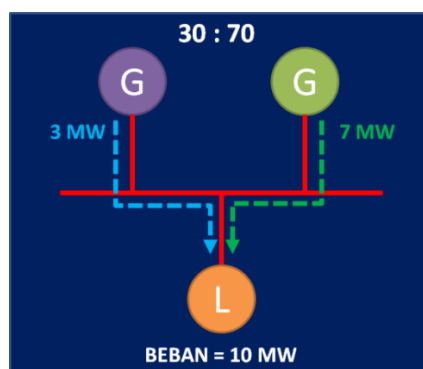
### 2.3 Load Sharing

Load Sharing merupakan istilah ketika beberapa generator yang beroperasi paralel menyuplai suatu beban dengan pembagian daya yang disuplai oleh beberapa generator yang beroperasi paralel tersebut dibagi secara proporsional baik daya reaktif (KVAR) maupun daya aktif (KW).



Gambar 1. Load Sharing Pada Generator Yang Beroperasi Paralel

Berdasarkan pada gambar 1 diatas, karena sesuatu hal maka terjadi konsisi dimana dua generator yang diparalel menyuplai beban 10 MW, dengan load sharing sebesar 30 : 70, yang berarti salah stu generator hanya menyipalai sebesar 3 MW, dan generator satunya lafi sebesar 70 MW



\*Korespondensi: [epiwardi@polinema.ac.id](mailto:epiwardi@polinema.ac.id)

a) Prodi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Polinema.  
Jalan Soekarno-Hatta No. 9 Malang 65141

### Gambar 2. Load Sharing Pada Generator Yang Beroperasi Paralel

Pada ulasan diatas, yang dicontohkan adalah generator dengan penggeraknya adalah mesin diesel. Untuk penggerak utamanya lainnya, seperti PLTA ataupun PLTU dengan steam, yang diatur tetaplh governor sehingga debit air yang masuk untuk PLTA atau flow steam untuk PLTU dapat dinaikkan atau diturunkan. Begitujuga dengan pembangkit yang lain. Sistem kontrol pengaturan beban harus dapat memantau dan mengendalikan suplay daya masing – masing generator sehingga beban total kW sebanding dengan rating relatif dari setiap generator yang bekerja paralel tersebut.

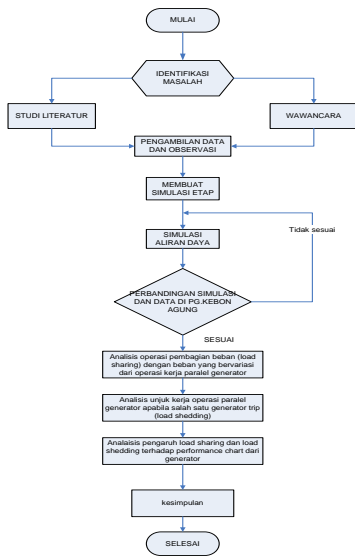
### 2.4 Load shadding

Rasio Load Shedding atau pelepasan beban merupakan metode yang dilakukan oleh penyedia layanan suplai energy listrik untuk mengurangi permintaan beban pada sistim pembangkit listrik untuk waktu sementara dengan mematikan distribusi energi listrik atau melakukan pemadaman sementara pada wilayah tertentu. Shutdown atau pemadaman yang disengaja dilakukan pada suatu wilayah tertentu dengan tujuan untuk mencegah kegagalan jaringan sistim pembangkit dan distribusi energy listrik secara keseluruhan.

### 3. Metodologi

#### 3.1 Diagram alur pengerjaan laporan

Dalam skripsi ini ada beberapa alur pengerjaan yang akan dilakukan untuk melakukan pelaksanaan penelitian. Kerangka konsep tersebut antara lain sebagai berikut :



Gambar 3. Diagram Pengerjaan Laporan

### 3.2 Data

Gambar 4. Data pembebanan periode I

Gambar 5. Data pembebanan periode II

Gambar 6. Data Pembebanan III

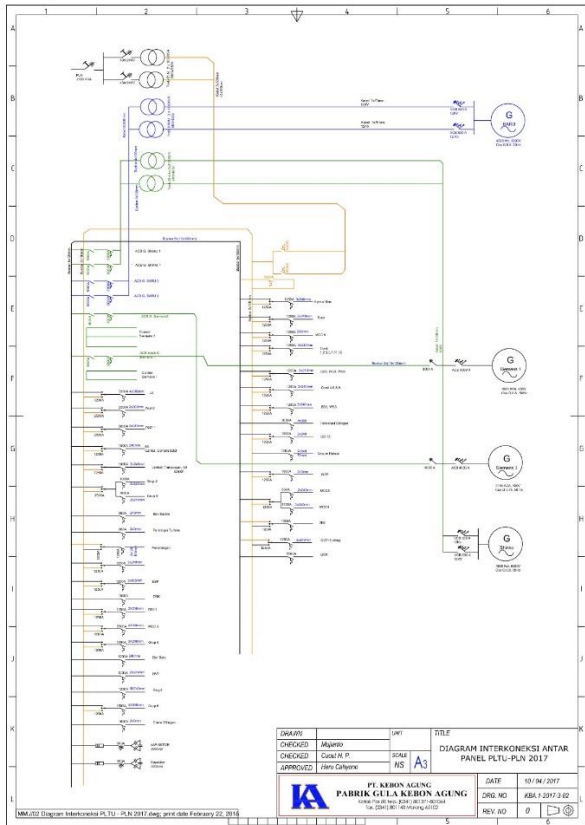
### 3.3 Data Nameplate generator SHINKO 1 dan 2

SYN. GENERATOR					
PHASE	3	TYPE	NTAKL	FORM	RCP
POLES	4	OUTPUT	4500	Kw	RPM
VOLTS	6000	AMP.S	542	Hz	50
P.F.	0,8	EXCITATION	VOLTS	90	
RATING	CONT	FIELD AMP.S	332		
COOLANT TEMP	50 C	ARM.			
		CONNECTION	Y		
THERMAL CLASSIFICATION:ARM	155(F)	FIELD	155(F)		
BRUSHLESS EXITER:OUTPUT 40 Kva	VOLTS	70	AMP.S	330	
	EXCITATION VOLTS	105	FIELD AMP.S	7,6	
PROTECTION	IP44	COOLING	ICB1W		
CODE	JE-2130-200 Amd.1:2009-05				
SERIAL NO.	741620A1B	MASS	17200	kg	
		MANUFACTURED	IN	AUG-2015	

SIEMENS-SCHUCKERT			
Germany			
Steam Turbine			
Manufacturer's-No. W2298	Speed	10000	r.p.m
Steam temperature 325 C			
Steam pressure 15 kg/cm2	Output	1000/1200 kW	
back pressure 1 kg/cm2			
Made in Germany			

### 4. SIMULASI DAN ANALISIS

#### 4.1 Gambaran kelistrikan PG.Kebon Agung secara umum

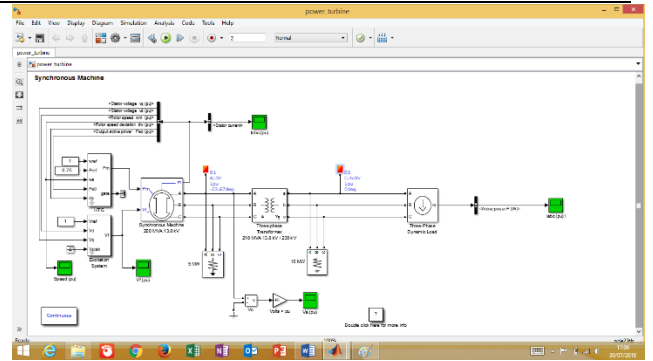


Gambar 7. Single line diagram kelistrikan PG.Kebon Agung

Kelistrikan Pabrik Gula Kebon Agung disupply oleh 4 generator yaitu generator Shinko 1, generator Shinko 2, generator Siemens 1 dan generator Siemens 3 (1 generator (Siemens 3) bekerja sendiri dan 3 generator lainnya bekerja secara paralel (sinkron)), Kelistrikan PG.Kebon Agung juga disupply dari PLN..

**4.2 Pemodelan blok sistem pada simulink Matlab R2013a**

Dalam turbin governor dan exciter pada PLTGU terdapat beberapa parameter hasil nilai dari inputan yang dihasilkan menjadi outputan dari turbin governor dan exciter. Dimana di dalam turbin governor yang menjadi inputan adalah  $W_{ref}$ ,  $P_{ref}$ ,  $W_e$ ,  $P_{e0}$ , dan  $D_w$  dan yang menjadi outputan adalah Gate, speed, dan  $P_m$ . Gate merupakan gain dari governor yang digunakan untuk mengatur berapa banyak gas dan uap yang dibutuhkan untuk memutar turbin. Sedangkan speed merupakan nilai parameter dari hasil putaran mesin dan  $P_m$  merupakan nilai parameter untuk mengetahui berapa kecepatan turbin yang dihasilkan untuk memutar generator. Dalam simulasi ini semua nilai yang dihasilkan berdasarkan p.u sehingga untuk mengetahui nilai sebenarnya harus dikalikan dengan nilai base yang digunakan. Sedangkan di dalam exciter yang menjadi inputan adalah  $V_{ref}$ ,  $V_d$ ,  $V_q$ ,  $V_{stab}$  dan yang menjadi outputan adalah  $V_f$ .



Gambar 8. Hasil Pengujian Digital Input

Tegangan output generator berhubungan dengan sistem eksitasi. Jika terjadi perubahan pada nilai tegangan output generator maka eksitasi akan menstabilkan kembali nilai tegangan pada output generator. Tegangan yang dihasilkan dari eksitasi merupakan tegangan DC. Dari parameter  $V_f$  ini dapat diketahui berapa nilai tegangan output generator dalam satuan p.u sehingga untuk mengetahui nilai yang sebenarnya harus dikalikan dengan nilai base.

**4.3 Simulasi dan Analisis pada saat pembebanan minimum**

Tabel 1. Data percobaan

NO	Pembebanan generator (MW)			Total beban
	G1	G2	G3	
P (MW)	1,008	0,9449	0,582	2,5349
Q (MVAR)	5,6615e+06	5,6612e+06	2,0124e+06	13,3354
Frekuensi (Hz)	50	50	50	

Tabel 2. Data Arus dan Tegangan

NO	Tegangan (V)			Arus (A)		
	Ua	Ub	Uc	Iab	Ibc	Ica
G1	31088	31088	31088	324,84	324,84	324,84
G2	31088	31088	31088	324,84	324,84	324,84
G3	31075	31075	31075	115,05	115,05	115,05

Dari tabel pembebanan diatas diketahui total pembebanan minimum pada simulasi yang ada di PLTU PG. Kebon Agung adalah 2,5349 MW. Dari hasil total pembebanan tersebut akan diperhitungkan sebagai total beban sistem dalam kondisi minimum.

- Beban sistem =  $1,008 + 0,9449 + 0,582$   
= 2,5349 MW

Nilai Frekuensi Sistem = 50 Hz

Kapasitas Generator 1 & 2 = 9 MW

Setting Speed Droop = 5%

Regulasi (R) 5% x 50Hz = 2,5 Hz

Kapasitas Generator 3 = 1,28 MW

Setting Speed Droop STG = 8%

Regulasi (R) 8% x 50Hz = 4 Hz

- $K_f = \frac{\Delta P}{\Delta F} = MW/Hz$  (Marsudi Djiteng, 2006, Halaman 293)

G1 : Beban = 0 MW, Frekuensi = 2,5 x 50 Hz = 52,5 Hz

Beban = 4,5 MW, Frekuensi = 50 Hz

$$K_{fG1} = \frac{0-4,5}{52,5-50} = 1,8 MW/Hz$$

G2 : Beban = 0 MW, Frekuensi = 2,5 x 50 Hz = 52,5 Hz

Beban = 4,5 MW, Frekuensi = 50 Hz

$$K_{fG2} = \frac{0-4,5}{52,5-50} = 1,8 MW/Hz$$

G3 : Beban = 0 MW, Frekuensi = 4 x 50 Hz = 54 Hz

Beban = 1,28 MW, Frekuensi = 50 Hz

$$K_{fG3} = \frac{0-1,28}{54-50} = 0,32 MW/Hz$$

$$\Delta P = Total\ beban - (K_{fG1} + K_{fG2} + K_{fG3})$$

$$\Delta P = 2,5 MW - (1,8 MW + 1,8 MW + 0,32 MW)$$

$$\Delta P = 2,5 MW - 3,92 MW = -1,42 MW$$

- $\Delta F = \frac{\Delta P}{K_f}$

$$= \frac{1,42}{3,92} = 0,362$$

- Load sharing

$$G1 = 1,8 \times 0,362 = 0,651 MW$$

$$= 1,8 - 0,651 = 1,149$$

$$G2 = 1,8 \times 0,362 = 0,651 MW$$

$$= 1,8 - 0,651 = 1,149$$

$$G3 = 0,32 \times 0,362 = 0,116 MW$$

$$= 0,32 - 0,116 = 0,204$$

#### 4.4 Analisis data hasil perhitungan dan simulasi pada saat beban minimum

Dari hasil data pembebanan lapangan, perhitungan dan grafik simulasi masing masing generator dalam kondisi minimum dengan total beban sistem 2,3549 MW akan diketahui bagaimana load sharing generator dari rekap tabel simulasi pembebanan masing-masing generator dibawah :

Tabel 3. Hasil Pengujian Sensor Warna

Unit	Kapasitas (MW)	Speed Droop (%)	Psimulasi (MW)	Pperhitungan (MW)
G1	4,5	5%	1,008	1,1641
G2	4,5	5%	0,9449	1,1641
G3	1,28	8%	0,582	0,207
Total Beban (MW)			2,3549	2,5352

Dari hasil simulasi dan perhitungan load sharing generator pada saat pembebanan minimum dapat diketahui dari hasil total pembebanan perhitungan dan simulasi memiliki perbedaan sebesar 0,1803 MW. Perbedaan dari hasil simulasi dan perhitungan ini dikarenakan tidak semua parameter yang ada di simulasi diperhitungkan. Dan dalam simulasi dan perhitungan pembebanan pada masing-masing generator tidak memiliki perbedaan yang tidak begitu jauh.

Pada MATLAB dilakukan simulasi pada ketiga generator dengan kondisibeban rata-rata dengan pengaturan speed drop

5% pada generator dengan daya 4.5MW dan 8% pada generator 1.28 MW.

$K = \Delta P/\Delta F = MW/Hz$  (Marsudi Djiteng, 2006),  
dimana :

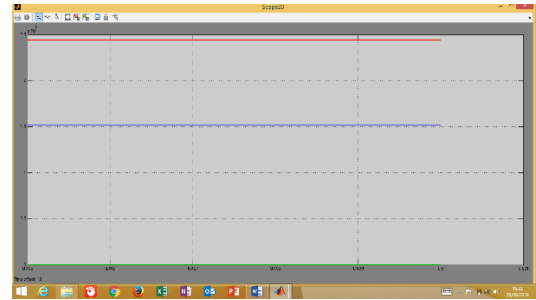
K = Nilai Gain (MW/Hz)

$\Delta F$  = Perubahan Frekuensi (Hz)

$\Delta P$  = Perubahan Pembebanan (MW)

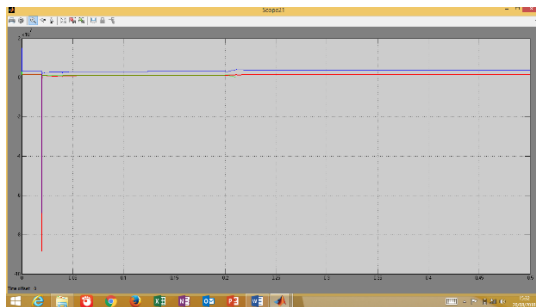
Berikut adalah hasil simulasi dari pembebanan minimum :

- Grafik Daya Aktif (P) pembebanan rata-rata generator saat load sharing**



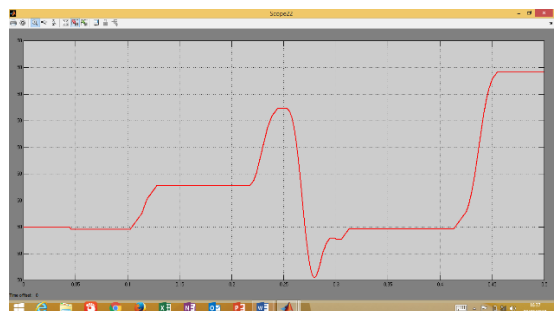
Gambar 9. Grafik Daya aktif pembebanan generator

- Grafik Daya Reaktif (Q) Pembebanan rata-rata generator saat load sharing**



Gambar 10. Grafik pembebanan generator 2

- Grafik Frekuensi Pembebanan rata-rata generator saat load sharing**



Gambar 11. Grafik pembebanan generator 2

#### 4.5 Analisis dan Pembahasan Saat Beban Maksimum

Dari hasil data pembebanan lapangan, perhitungan dan grafik simulasi masing masing generator dalam kondisi rata-rata dengan total beban sistem 5,528 MW akan diketahui bagaimana

load sharing generator dari rekap tabel simulasi pembebanan masing-masing generator dibawah :

Tabel 4. Hasil Pembebanan

Unit	Kapasitas (MW)	Speed Droop (%)	Psimulasi (MW)	Pperhitungan (MW)
G1	4,5	5%	2,347	2,5345
G2	4,5	5%	2,632	2,5345
G3	1,28	8%	0,549	0,455
Total Beban (MW)			5,528	5,524

Dari hasil simulasi dan perhitungan load sharing generator pada saat pembebanan minimum dapat diketahui dari hasil total pembebanan perhitungan dan simulasi memiliki perbedaan sebesar 0,004 MW. Perbedaan dari hasil simulasi dan perhitungan ini dikarenakan tidak semua parameter yang ada di simulasi diperhitungkan. Dan dalam simulasi dan perhitungan pembebanan pada masing-masing generator tidak memiliki perbedaan yang tidak begitu jauh.

**4.6 Perhitungan load sharing pada saat pembebanan salah satu generator dilepas**

Pada MATLAB dilakukan simulasi dengan memutuskan generator 3 dengan pengaturan speed drop 5% pada generator dengan daya 4.5MW.

$$K = \frac{\Delta P}{\Delta F} = MW/Hz \text{ (Marsudi Djiteng, 2006), dimana :}$$

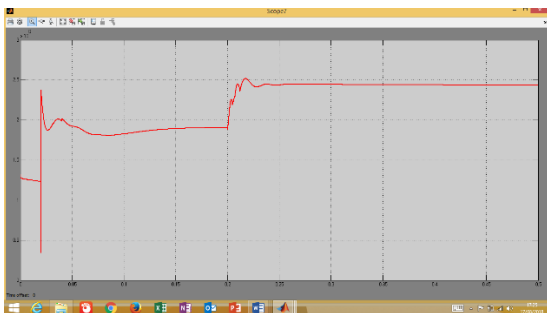
$K$  = Nilai Gain (MW/Hz)

$\Delta F$  = Perubahan Frekuensi (Hz)

$\Delta P$  = Perubahan Pembebanan (MW)

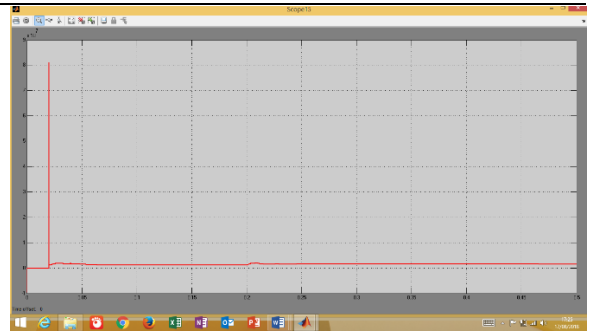
Berikut adalah hasil simulasi dari pembebanan minimum :

- **Grafik Pembebanan pada saat salah satu generator dilepas saat**



Gambar 12. Grafik pembebanan generator 1

- **Grafik Pembebanan pada saat salah satu generator dilepas saat**



Gambar 13. Grafik pembebanan generator 2

Tabel 5. Data Pembebanan

NO	Pembebanan generator		Total beban (MW)
	G1	G2	
1	2,399	1,73	4,129

Dari tabel pembebanan diatas diketahui total pembebanan saat salah satu generator dilepas yang ada di PLTU PG. Kebon Agung adalah 4,129 MW. Dari hasil total pembebanan tersebut akan diperhitungkan dan disimulasikan sebagai total beban sistem dalam kondisi minimum. Untuk mengetahui bagaimana respon generator yang telah di setting speed droop 5% dalam load sharing generator yang sudah di paralel dapat dilihat dari hasil perhitungan dan grafik simulasi dibawah ini:

**Perhitungan load sharing pembebanan rata-rata**

- Beban sistem = 2,399+1,73 = 4,129 MW

Nilai Frekuensi Sistem = 50 Hz

Kapasitas Generator G1, 2 = 9 MW

Setting Speed Droop = 5%

Regulasi (R) 5% x 50Hz = 2,5 Hz

$$K_f = \frac{\Delta P}{\Delta F} = MW/Hz \text{ (Marsudi Djiteng, 2006)}$$

G1 : Beban = 0 MW, Frekuensi = 2,5 x 50 Hz = 52,5 Hz

Beban = 4,5 MW, Frekuensi = 50 Hz

$$K_{fGTG1.1} = \frac{0-4,5}{52,5-50} = 1,8 MW/Hz$$

G2 : Beban = 0 MW, Frekuensi = 2,5 x 50 Hz = 52,5 Hz

Beban = 4,5 MW, Frekuensi = 50 Hz

$$K_{fGTG1.1} = \frac{0-4,5}{52,5-50} = 1,8 MW/Hz$$

$$\Delta P = \text{Beban Sistem} - (K_{fG1} + K_{fG2})$$

$$\Delta P = 6 MW - (1,8 MW + 1,8 MW)$$

$$\Delta P = 6 MW - 3,6 MW = 2,4 MW$$

- $\Delta F = \frac{\Delta P}{K_f}$

$$= \frac{2,4}{3,6} = 0,67$$

- Penambahan beban setelah perubahan frekuensi  
 $G1 = 1,8 \times 0,67 = 1,206 \text{ MW}$   
 $= 1,8 + 1,206 = 3,006$   
 $G2 = 1,8 \times 0,67 = 1,206 \text{ MW}$   
 $= 1,8 + 1,206 = 3,006$

**Analisis hasil perhitungan dan simulasi pada saat salah satu generator dilepas**

Dari hasil data pembebanan lapangan, perhitungan dan grafik simulasi masing masing generator dalam kondisi rata-rata dengan total beban sistem 4,66 MW akan diketahui bagaimana *load sharing* generator dari rekap tabel simulasi pembebanan masing-masing generator dibawah :

Tabel 6. Data pembebanan

Unit	Kapasitas (MW)	Apeed Drop (%)	ΔP beban rata-rata (MW)	ΔP simulasi (MW)	ΔPperhitungan (MW)
G1	4,5	5%	1,825	2,399	2,5992
G2	4,5	5%	2,275	1,73	2,5992
G3	1,28	8%	0,56		
Total Beban (MW)			4,66	4,66	5,1984

Dari hasil simulasi dan perhitungan *load sharing* generator pada saat p rata-rata dapat diketahui dari hasil total pembebanan perhitungan dan simulasi memiliki perbedaan sebesar 0,5384 MW. Perbedaan dari hasil simulasi dan perhitungan ini dikarenakan tidak semua parameter yang ada di simulasi diperhitungkan. Dan dalam simulasi dan perhitungan pembebanan pada masing-masing generator tidak memiliki perbedaan yang tidak begitu jauh dan setelah generator 3 dilepas maka bebannya akan ditanggung oleh generator 1 dan 2.

**5. PENUTUP**

**5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil dari pengujian dan Analisa pada *mini plant* pengolahan susu, maka dapat dibuat beberapa kesimpulan seperti berikut :

- 1) Dari hasil analisis simulasi dan perhitungan pada saat pembebanan variasi minimum, rata-rata dan maksimum generator yang di *load sharing* terdapat perbedaan yang tidak terlalu signifikan. Perbedaan hasil perhitungan beban dan simulasi ini dikarenakan tidak semua parameter yang

ada disimulasi diperhitungkan sesuai dengan rumus.

- 2) Dari hasil analisis pemutusan unit generator 3 pada PG. Kebon Agung beban yang semula ditanggung oleh generator 3 akan berpindah ke generator 1 dan 2. Dan pada simulasi terdapat perbedaan yang signifikan antara generator 1 dan 2 karena kebanyakan beban prioritas di PG. Kebon Agung ditanggung oleh generator 1, sehingga beban lebih besar ditanggung oleh generator 1.
- 3) Pada saat simulasi Generator 3 sering mengalami gagal sinkron dengan generator 1 dan 2 hal ini dikarenakan terjadi ketidakseimbangan antara generator yang daya dan spesifikasinya sama dengan yang spesifikasi lebih kecil.

**5.2 Saran**

Beberapa saran yang dapat penulis berikan kepada peneliti berikutnya dan pengguna/pemakai alat ini antara lain sebagai berikut :

- 1) Sebaiknya generator 3 pada Pabrik Gula. Kebon agung dilepas dari sinkronisasi generator 1 dan 2 agar tidak mengganggu proses kinerja generator 1 dan 2. Agar proses produksi pada Pabrik Gula Kebon Agung lebih optimal. [1], [3]

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Asmah Andrians07. (2012). Sinkronisasi generator AC. motor sinkron, 3-5.
- [2] Anindito, W. h. (2012, November 9). Load shedding. Dalam W. H. Anindito, Load shedding (hal. 7-12). Jakarta.
- [3] Anonim 1 (2013). pelepasan beban (load shedding) ) pada generator yang beroperasi paralel. Jakarta: Direktori listrik.
- [4] Anonim 2 (2013). pembagian beban (load sharing) pada generator yang beroperasi paralel. Jakarta: Direktori listrik.
- [5] J.Jackson.(1971).interpretation and Use of Generator Reactive Capability Diagrams. Amerika: IEEE Transactions on Industry and General Application
- [6] R. A. Ananto, N. R. Akbar, and S. Wibowo, "Perencanaan dan Implementasi Inverter Satu Fasa Pada Pembangkit Listrik Tenaga Pihidro di Air Terjun Watu Lumpang Mojokerto," *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 9, no. 3, pp. 108–114, 2022,
- [7] R. Sutjipto, I. N. Syamsiana, and W. P. Suryaningsih, "Analisis Pengaruh Pengaturan Sudut Penyalaan Thyristor Pada Tegangan Eksitasi Terhadap Keluaran Daya Reaktif Generator di PT.PJB PLTU Gresik Unit 3," *ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 8, no. 3.