

## **BAB IV**

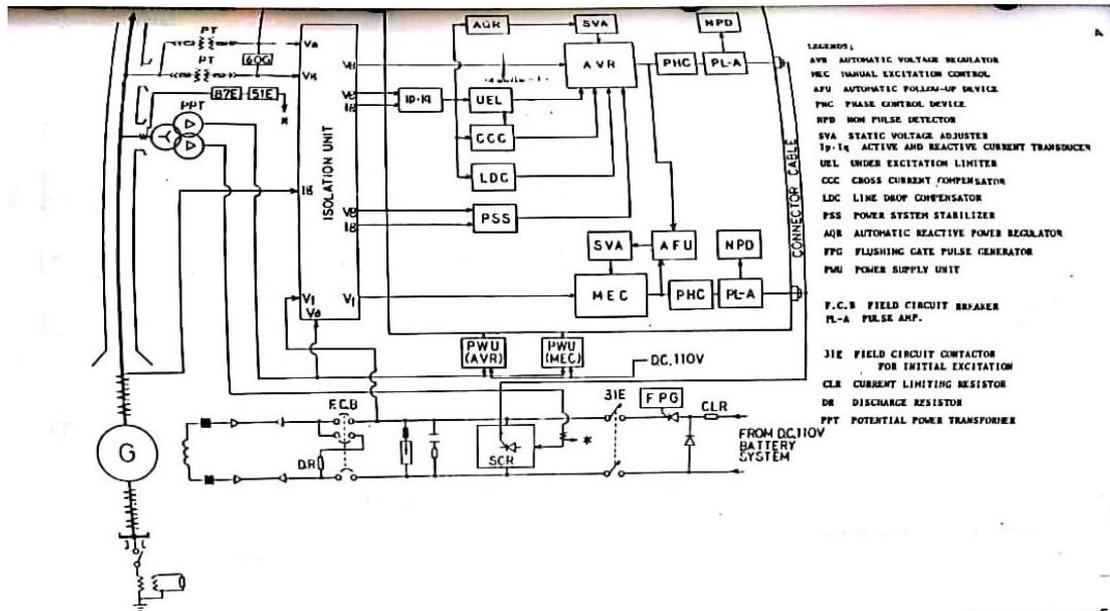
### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Sistem Eksitasi pada PLTU Unit 3 dan 4 di PT PJB UP Gresik**

Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) unit 3 dan 4 merupakan salah satu aset yang penting dalam produksi listrik di PT PJB UP Gresik, dimana mengutamakan penyediaan sumber listrik yang kontinyu guna melayani pelanggan. Sistem PLTU unit 3 dan 4 ini sendiri menggunakan generator sinkron (200 MVA).

Arus eksitasi pada sistem pembangkit memiliki peranan penting dalam menghasilkan tegangan induksi pada belitan yang dimana akan disalurkan keluar melalui terminal generator. Pada sistem eksitasi PLTU unit 3 dan 4 menggunakan *brush excitation* (sikat), dimana sistem eksitasi dengan *brush excitation* ini arus eksitasi yang ada akan disalurkan menuju ke generator menggunakan media *slipring* dan *carbon brush*.

Sistem eksitasi pada PLTU unit 3 dan 4 tidak memerlukan generator tambahan sebagai sumber eksitasi generator sinkron, tetapi memanfaatkan output generator itu sendiri sebagai sumber eksitasi tetapi lebih dulu perlu disearahkan menggunakan *thyristor*. Sistem eksitasi seperti ini disebut juga sebagai *self excitation* atau lebih dikenal sebagai sistem eksitasi statis. Pada saat kondisi dari generator PLTU unit 3 dan 4 masih dalam kondisi mati dan akan dinyalakan maka injeksi awal arus eksitasi yang ada akan menggunakan baterai. Kondisi dari generator yang belum dapat menghasilkan tegangan keluaran ini disebut sebagai *field flashing*, setelah tegangan keluaran pada generator telah mencapai 15% dari tegangan nominal maka akan membuat *thyristor* pada AVR (*Automatic Voltage Regulator*) bekerja dan akan menaikkan tegangan nominal yang ada hingga mencapai nilai sebesar 15 KV. Berikut adalah gambar skema dari sistem eksitasi generator sinkron pada PLTU unit 3 dan 4 di PT PJB UP Gresik :



Gambar 4.1 Sistem Eksitasi Generator Sinkron PLTU Unit 3 dan 4 di PT PJB UP Gresik

## 4.2 Peralatan Sistem Eksitasi pada Generator Sinkron PLTU Unit 3 dan 4 di PT PJB UP Gresik

Peralatan utama yang digunakan dalam sistem eksitasi dan spesifikasinya pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) unit 3 dan 4 di PT PJB UP Gresik adalah sebagai berikut :

### 4.2.1 Sistem Eksitasi

Sistem eksitasi yang digunakan pada PLTU unit 3 dan 4 di PT PJB UP Gresik merupakan sistem eksitasi statis, artinya sumber dari sistem eksitasi yang digunakan berasal dari tegangan keluaran generator itu sendiri dan penyaluran arus eksitasi tersebut menuju ke generator menggunakan *slip ring* dan *carbon brush* (sikat arang). Berikut adalah spesifikasi dari sistem eksitasi yang digunakan pada eksitasi generator sinkron PLTU unit 3 dan 4 di PT PJB UP Gresik:

Tabel 4.1 Spesifikasi Sistem Eksitasi PLTU Unit 3 dan 4

<i>Output</i> Generator	250.000 kVA
Tegangan nominal generator	15.000 V
Arus nominal generator	9.623 A
Frekuensi minimal kerja generator	50 Hz
Perlengkapan eksitasi	
Tipe	Thyristor eksitasi statis
Jumlah	1 per generator
Rating	
Tipe rating	<i>continuous</i>
Daya keluaran (kw)	1.176 kW
Tegangan (V)	490 V
Arus (A)	2.400 A
Karakteristik	
Metode eksitasi	Thyristor eksitasi statis

#### 4.2.2 Generator

Generator memiliki peranan untuk menghasilkan daya listrik dimana daya listrik tersebut akan disalurkan menuju ke jaringan interkoneksi Jawa-Bali, serta digunakan untuk keperluan sendiri dan juga digunakan untuk mencatu daya sistem eksitasi generator sinkron, Karena sistem eksitasi yang digunakan pada PLTU unit 3 dan 4 merupakan tipe *self excitation* yang dimana sumber dari sistem eksitasi yang ada berasal dari generator itu sendiri. Berikut merupakan spesifikasi dari generator yang digunakan pada PLTU unit 3 dan 4 di PT PJB UP Gresik :

Tabel 4.2 Spesifikasi Generator PLTU Unit 3 dan 4

Tipe-Form	TAKS-ICH
Jumlah kutub	2
Kapasitas	250.000 kVA
Kecepatan	3.000 rpm
Tegangan	15.000 V
Arus	9623 A
Frekuensi	50 Hz
Faktor daya	0.8
	1.5 pu
Tekanan Gas	3.2 kg/cm <sup>2</sup> G
Daya yang dikurangi ketika salah satu pendingin rusak	200.000 kVA

### 4.2.3 *Battery*

Pada saat kondisi *starting* awal maka catu daya yang digunakan pada sistem eksitasi berasal dari *battery*. *Battery* digunakan untuk mensuplai sistem eksitasi ketika generator yang ada masih belum mampu untuk menghasilkan tegangan sendiri sebagai sumber sistem eksitasi. Berikut merupakan spesifikasi dari *battery* yang digunakan pada PLTU unit 3 dan 4 di PT PJB UP Gresik :

Tabel 4.3 Spesifikasi *Battery* PLTU Unit 3 dan 4

Tipe	CS1400
Tegangan	106 V
Kapasitas (dalam 10 jam pemakaian)	2800 Ah (1400 Ah x 2 para.)
Jumlah <i>cell</i>	106 cells (53 cells x 2 para.)
Nilai tegangan per- <i>cell</i>	2 V
Nilai tegangan ambang <i>cell</i>	114 V
Nilai gravitasi elektrolit	1,215 at 20o C

### 4.2.4 *Battery Charger*

*Battery charger* ini memiliki fungsi untuk mengisi ulang *battery* pada PLTU unit 3 dan 4 dimana *battery* tersebut akan digunakan sebagai sumber sistem eksitasi pada saat kondisi *starting* awal. Berikut merupakan spesifikasi dari *battery charger* yang digunakan pada PLTU unit 3 dan 4 di PT PJB UP Gresik :

Tabel 4.4 Spesifikasi *Battery Charger* PLTU Unit 3 dan 4

Tipe	GM110-500 V
Sistem rektifikasi	Three phase full wave
Sistem pendinginan	Natural air cooling
Tipe	Continuous
Input (bagian AC)	
Frekuensi	50 Hz $\pm$ 5%
Tegangan	460 V $\pm$ 10%

Lanjutan Tabel 4.4 Spesifikasi *Battery Charger* PLTU Unit 3 dan 4

<i>Output</i> (bagian DC)	
Tegangan awal	
Tegangan ambang	114 V
Tegangan <i>equalizing</i>	127 V
Toleransi tegangan	± 2%
Arus	500 A
Arus jatuh	600 A
<i>Counter cell</i>	
Nominal arus	250 A

#### 4.2.5 *Thyristor Rectifier*

*Thyristor Rectifier* memiliki fungsi untuk menyearahkan tegangan keluaran dari trafo eksitasi pada PLTU unit 3 dan 4 ini nilai trafo eksitasi yang disearahkan adalah 790 VAC menjadi 110 VDC. Nilai 110 VDC ini yang akan menjadi inputan pada generator sinkron sebagai sumber arus eksitasi pada PLTU unit 3 dan 4. Besarnya nilai dari sumber arus eksitasi tersebut dapat diatur dengan cara mengatur sudut penyalan yang ada pada *thyristor* tersebut. Berikut merupakan spesifikasi dari *thyristor rectifier* yang ada pada PLTU unit 3 dan 4 di PT PJB UP Gresik:

Tabel 4.5 Spesifikasi *Thyristor Rectifier* PLTU Unit 3 dan 4

Kemampuan pengendalian <i>thyristor</i> selama gangguan terjadi (Kemampuan mempertahankan voltase medan pada tegangan eksitasi nominal)	
Pengukuran tegangan generator (%)	50
Pewaktuan	<i>Continuous</i>

#### 4.2.6 *Excitation Transformer*

Trafo eksitasi (*excitation transformer*) memiliki fungsi untuk menurunkan tegangan keluaran dari generator sinkron dengan nilai 15 KV menjadi 790 VAC dimana tegangan tersebut kemudian akan disearahkan menggunakan *thyristor* dan menjadi tegangan searah dengan nilai sebesar 110 VDC. Berikut merupakan spesifikasi dari *excitation transformer* yang digunakan pada PLTU unit 3 dan 4 di PT PJB UP Gresik :

Tabel 4.6 spesifikasi *Excitation Transformer* PLTU Unit 3 dan 4

Pabrikan	<i>Toshiba Corp.</i>
Rating	
Kapasitas	2.705 kVA
Kelas rating	<i>Continuous</i>
Tagangan pada tekanan tinggi	15 kV
Tegangan pada tekanan rendah	790 V
Frekuensi	50 Hz
Tipe koneksi tekanan tinggi	Star
Tipe koneksi tekanan rendah	Delta
Penempatan sudut	Ydl
impedansi tegangan (dalam satuan KVA)	13.8 %

#### 4.2.7 AVR (*Automatic Voltage Regulator*)

AVR (*Automatic Voltage Regulator*) berfungsi untuk mengatur nilai tegangan yang akan diinjeksikan ke generator sinkron pada PLTU unit 3 dan 4 ketika sistem sedang beroperasi secara normal. Berikut merupakan spesifikasi dari AVR (*Automatic Voltage Regulator*) pada PLTU unit 3 dan 4 :

Tabel 4.7 Spesifikasi AVR (*Automatic Voltage Regulator*) PLTU Unit 3 dan 4

Respon cepat pada metode eksitasi	Pengontrolan gerbang <i>thyristor</i> dengan AVR
Tegangan eksitasi (V)	3,6
Respon tegangan 1/det derajat eksitasi	898
	(sama dengan 2x tegangan pada generator dalam KVA, faktor daya, tegangan nominal dan frekuensi)

Tabel 4.8 Komponen pada AVR (*Automatic Voltage Regulator*)

Regulator pengatur tegangan otomatis	AVR
Pengontrol fasa	PHC
Penguat gelombang	PL-A
Pendeteksi non gelombang	NPD
Unit penyedia daya	PWU (AVR)
Pengatur tegangan	SVA 90R
Perangkat bantu otomatis	AFU
Pembatas eksitasi keadaan rendah	UEL
Penstabil daya	PSS
Unit isolasi	U- ISO
Arus aktif dan reaktif tranducer	Ip. Iq
Pengkompensasi arus sebrang	CCC
Pengkompensasi jatuh tegangan	LDC
Regulator pengatur daya reaktif otomatis	AQR

#### 4.2.8 *Manual Excitation Control (MEC)*

Pada saat AVR (*automatic voltage regulator*) dalam kondisi rusak ataupun dalam kondisi *maintenance* mak di perlukan *manual excitation control (MEC)* yang berfungsi untuk mengatur eksitasi yang ada secara manual, dengan kata lain MEC ini memiliki fungsi sebagai alat cadangan (*back up operation*). Selain fungsi tersebut MEC juga memiliki fungsi untuk pengecekan pada sistem eksitasi. Berikut adalah spesifikasi dari *manual excitation control (MEC)* yang digunakan pada PLTU unit 3 dan 4 di PT PJB UP Gresik :

Tabel 4.9 Spesifikasi *Manual Excitation Control (MEC)* PLTU Unit 3 dan 4

Pengendali eksitasi manual	MEC
Pengendali fasa	PHC
Penguat gelombang	PL-A
Pendeteksi non gelombang	NPD

Lanjutan Tabel 4.9 Spesifikasi *Manual Excitation Control* (MEC) PLTU Unit 3 dan 4

Unit penyedia daya	PWU (MEC)
Pengatur tegangan static	SVA 70E
Unit isolasi	U- ISO

#### 4.2.9 *Brush Excitation*

*Brush excitation* memiliki fungsi untuk menyalurkan tegangan dari bagian statis menuju ke bagian generator yang bergerang. *Brush excitation* ini terletak pada bagian dalam satu struktur generator sinkron serta turbin. Generator sinkron pada PLTU unit 3 dan 4 menggunakan *carbon brush* (sikat arang), dimana sikat arang ini sendiri memiliki kelebihan yaitu mampu menghantarkan listrik tanpa menyebabkan adanya bunga api. Berikut merupakan *brush excitation* yang digunakan pada PLTU unit 3 dan 4 di PT PJB UP Gresik :

Tabel 4.10 Spesifikasi *Brush Excitation* PLTU Unit 3 dan 4

Material	NCC634
Jumlah	64 <i>piecies</i>
Daya tahan sikat bekerja dibawah kondisi normal	4.500 h
Kemampuan kerja sikat dibawah kondisi normal	10 mm / 1.000 h

#### 4.2.10 *Alat Proteksi Sistem Eksitasi*

Alat pengaman digunakan untuk mengamankan seluruh peralatan yang terdapat pada sistem eksitasi. Alat pengaman pada sistem eksitasi itu sendiri khususnya pada PLTU unit 3 dan 4 antara lain dapat berupa *field circuit breaker* maupun *alarm*. *Field circuit breaker* (FCB) memiliki fungsi untuk memutus apabila terjadi gangguan pada sistem eksitasi. *Alarm* sendiri merupakan alat yang berfungsi untuk melindungi *thyristor* maupun PPT (*Power Potensial Trafo*) dari gangguan yang ada dan gangguan tersebut dapat diatasi pada ruangan kontrol. Berikut adalah spesifikasi dari *field circuit breaker* yang digunakan pada PLTU unit 3 dan 4 :

Tabel 4.11 Spesifikasi Field Circuit Breaker PLTU Unit 3 dan 4

Pabrikan	Toshiba Corp.
Jumlah	One (1) per unit
Rating	
Tegangan	500 VDC
Arus	3.000 ADC
Kapasitas interupsi	30 kA

### 4.3 Prinsip Kerja Sistem Eksitasi Generator Sinkron pada PLTU Unit 3 dan 4 di PT PJB UP Gresik

Pengamatan dan penelitian yang dilakukan dilokasi diketahui bahwa pada sistem eksitasi generator sinkron PLTU unit 3 dan 4 tidak menggunakan medan magnet permanen, artinya medan magnet yang ada digunakan untuk membangkitkan tegangan induksi. Medan magnet tersebut diperoleh dengan cara menginjeksikan arus searah (DC) pada kumparan medan yang lokasinya terdapat pada rotor generator dengan memanfaatkan media berupa *slip ring* dan *carbon brush* (sikat karbon).

PLTU unit 3 dan 4 di PT PJB UP Gresik menggunakan sistem eksitasi statis, artinya arus yang digunakan untuk sistem eksitasi tersebut berasal dari tegangan generator sinkron itu sendiri dimana tegangan tersebut akan diturunkan terlebih dahulu dan disearahkan karena arus yang diperlukan untuk sistem ekstasi tersebut merupakan tegangan searah (DC). Berdasarkan proses yang ada tegangan output yang dihasilkan generator sinkron PLTU unit 3 dan 4 sebesar 15 KV 3 fasa yang merupakan tegangan bolak-balik, karena tegangan yang dibutuhkan merupakan tegangan searah maka tegangan output generator tersebut perlu disearahkan terlebih dulu hingga menghasilkan tegangan searah. Tegangan searah inilah yang akan dimanfaatkan sistem untuk diinjeksikan ke kumparan medan rotor generator. Generator sinkron PLTU unit 3 dan 4 terdapat *carbon brush* sebanyak 64 buah yang akan dihubungkan ke slipring yang memiliki fungsi untuk meyalurkan arus DC.

Nilai tegangan terminal yang merupakan output generator PLTU unit 3 dan 4 adalah sebesar 15 KV 3 fasa, tegangan terminal output dari generator sinkron ini

terlebih dahulu perlu diturunkan nilainya menggunakan transformer *step down* eksitasi hingga diperoleh tegangan sebesar 790 VAC 3 fasa. Tegangan keluaran dari transformator *step down* eksitasi ini dengan nilai 790 VAC 3 fasa selanjutnya akan disearahkan dan diturunkan lagi nilainya hingga menghasilkan tegangan searah dengan nilai sebesar 110 VDC. Alat yang digunakan untuk menyearahkan sekaligus menurunkan tegangan keluaran dari transformator *step down* eksitasi adalah *thyristor rectifier*, dimana fungsi dari *thyristor rectifier* itu sendiri adalah sebagai *converter AC to DC* atau dengan kata lain mengkonversi AC menjadi DC. Selanjutnya tegangan yang telah disearahkan dan diturunkan tersebut (110 VDC) akan diinjeksikan ke kumparan motor melalui media berupa *carbon brush* dan *slip ring* yang akan membangkitkan medan magnet pada motor generator tersebut.



Gambar 4.2 Traformator Eksitasi (*Excitation Transformer*) pada PLTU Unit 3 dan 4

Pada kondisi awal atau *starting* awal generator sinkron pada sistem PLTU unit 3 dan 4 masih belum mampu untuk menghasilkan tegangan keluaran, maka energi yang dibutuhkan untuk sistem eksitasi bersumber dari baterai yang terletak pada ruang baterai di PLTU unit 3 dan 4. Kondisi tersebut disebut dengan proses *field flashing*. Baterai yang digunakan pada PLTU unit 3 dan 4 terdiri dari 53 *cell* dimana tiap *cell* tersebut memiliki tegangan terminal sebesar 2 Volt serta memiliki

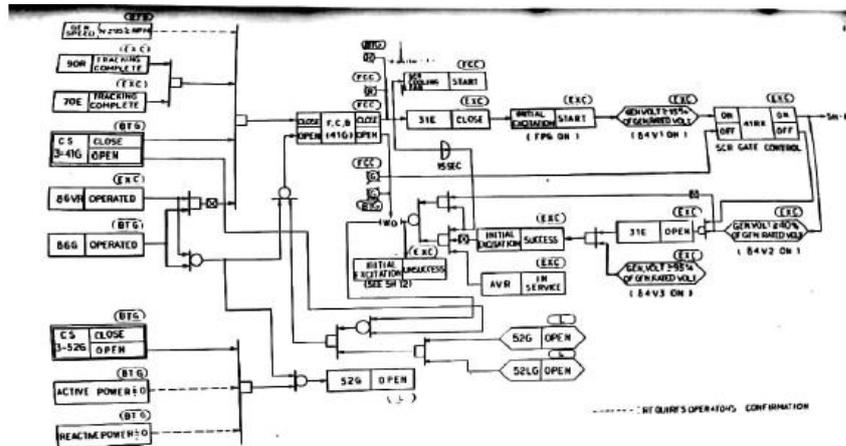
arus sebesar 1.400 Ah. *Cell* baterai yang ada disusun secara seri sehingga total tegangan baterai tersebut cukup untuk menginjeksi arus menuju ke generator sinkron.



Gambar 4.3 *Battery* pada PLTU Unit 3 dan 4 di PT PJB UP Gresik

Proses *field flashing* akan menginjeksikan arus eksitasi yang bersumber dari baterai ke rotor dengan cara mengaktifkan FCB (*field circuit breaker*) yang ada. Dengan injeksi arus yang bersumber dari baterai, maka generator sinkron akan mulai menghasilkan tegangan terminal. Proses ini akan terus berlanjut hingga nilai dari tegangan generator sinkron mencapai 15% dari nilai tegangan nominal generator sinkron tersebut. Ketika kondisi tersebut sudah tercapai, maka *thyristor* akan aktif dan menaikkan nilai tegangan terminal generator sinkron hingga mencapai 15 KV.

Ketika kondisi dari arus eksitasi telah mencapai nilai 40% dari arus eksitasi tanpa beban, maka kontaktor 31E yang menjadi penghubung antara rotor generator dengan baterai akan terbuka, pada kondisi tersebut sistem eksitasi akan mulai disuplai oleh keluaran dari generator sinkron sendiri, tetapi terlebih dahulu keluaran dari generator sinkron tersebut akan disearahkan dan diturunkan terlebih dahulu oleh *thyristor rectifier*.



Gambar 4.4 Proses Sistem Eksitasi Pada PLTU Unit 3 dan 4 di PT PJB UP Gresik

Pengaturan besarnya nilai arus eksitasi yang akan digunakan untuk menginjeksi rotor pada generator dapat menggunakan AVR (*automatic voltage regulator*). AVR tersebut akan mengontrol sistem *switching* sistem eksitasi yang ada dengan cara mengatur nilai tegangan maupun arus yang digunakan untuk menginjeksi gerbang terminal yang ada pada *thyristor*.



Gambar 4.5 *Automatic Voltage Regulator* (AVR) pada PLTU Unit 3 dan 4 di PJB UP Gresik

#### 4.4 Analisis Terhadap Karakteristik Sistem Eksitasi Generator Sinkron pada PLTU Unit 3 dan 4 di PT PJB UP Gresik

Analisis mengenai sistem eksitasi generator sinkron PLTU unit 3 dan 4 ini menggunakan data operasi harian yang terdapat pada PLTU unit 3 dan 4 PT PJB UP Gresik, data tersebut terkait data arus eksitasi, arus jangkar, tegangan generator dan daya beban. Data yang dianalisis dalam penelitian merupakan data yang diperoleh dan diamati selama 29 hari dimana penelitian dimulai pada tanggal 1 September 2017 hingga 30 September 2017. Berikut adalah data operasi harian PLTU unit 3 dan 4 di PT PJB UP Gresik

Tabel 4.11 Operasi Harian PLTU Unit 3 dan 4 PT PJB UP Gresik Tanggal 1-30 September 2017

Waktu Penelitian Hari ke-	Vout Generator (KV)	Frekuensi (Hz)	Daya Reaktif (MVAR)	Daya Aktif (MW)	Arus Jangkar (A)	Arus Eksitasi (A)	Tegangan Eksitasi (V)	Faktor Daya
1	15.02	49.99	7.17	112.72	4480.43	1000	166.4	0.99
2	15.15	49.99	7.04	112.83	4216.09	1019.13	170.87	0.99
3	15.16	51.95	7.72	106.43	4119.57	978.61	163.61	0.99
4	15.16	49.98	20.68	99.78	3963.04	1027.83	172.09	0.97
5	15.08	50.02	23	115.65	4534.78	1069.57	180.87	0.98
6	15.06	50.01	25.21	111.96	4417.39	1077.83	181	0.97
7	15.12	50.03	26.36	100	3956.52	1050.87	176.65	0.96
8	15.14	50.01	24.77	100	3980.43	1038.70	173.52	0.96
9	15.15	50.02	15.68	102.61	4002.17	1012.61	168.91	0.98
10	15.09	50.01	6.08	100	3900	956.09	153.26	0.99
11	15.01	50.01	16.08	151.43	5852.17	1170	199.65	0.99
12	15.05	50.02	23.73	128.69	4995.65	1129.57	190.56	0.98
13	15.11	50.03	27.60	100	4000	1053.48	177.39	0.96
14	14.98	49.98	28.26	110.67	4413.33	1083.33	183	0.96
15	15.01	49.98	40.22	146.61	5813.04	1250	213.47	0.966

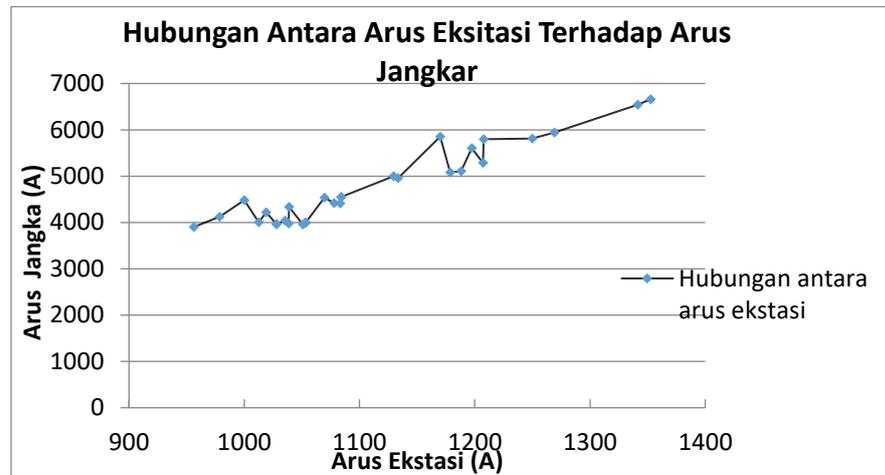
Lanjutan tabel 4.11 Operasi Harian PLTU Unit 3 dan 4 PT PJB UP Gresik 2017

16	15.08	50.03	37.75	116.18	4550	1084.09	182.36	0.97
17	15.11	50.03	37.30	100	4000	1053.48	177.39	0.96
18	15.16	49.98	37.50	99.78	3963.04	1027.83	172.09	0.97
19	15.10	50.02	28.36	143.63	5604.55	1197.27	203.59	0.98
20	15.03	49.99	28.59	148.18	5795.45	1207.73	204.45	0.98
21	15.08	50.03	23.54	116.18	4550	1084.09	182.36	0.97
22	15.09	50.01	38.86	151.13	5940.91	1269.09	215.91	0.96
23	15.11	49.99	41.86	171	6660.87	1352.61	230.65	0.97
24	15.14	49.99	20.81	103.75	4040.63	1035.63	173.12	0.98
25	14.99	50.01	19.18	110.25	4337.5	1038.75	176.81	0.98
26	15.04	50.03	29.64	125.71	4957.14	1133.57	191.78	0.97
27	15.07	50.01	37.5	134.54	5286.36	1207.27	203.68	0.96
28	15.02	49.95	39.81	126.59	5081.82	1178.64	200.64	0.95
29	15.05	50.01	38.91	127.83	5108.70	1188.26	201.17	0.96
30	15.03	50.03	47.66	164	6540	1341.33	229.73	0.96

Pada tabel 4.11, nilai Vout generator, frekuensi, daya aktif, daya reaktif, arus jangkar, arus eksitasi, tegangan eksitasi, dan faktor daya merupakan nilai rata-rata tiap jamnya dalam 1 hari.

#### 4.4.1 Analisis Hubungan Arus Eksitasi Terhadap Arus Jangkar

Tabel 4.11 menunjukkan data operasi harian yang ada pada PLTU unit 3 dan 4 di PT PJB UP Gresik dan data tersebut akan digunakan untuk menganalisis karakteristik dari sistem eksitasi generator sinkron PLTU unit 3 dan 4 tersebut. Karakteristik yang pertama kali dianalisis merupakan hubungan arus eksitasi terhadap arus jangkar yang ada, untuk memudahkan analisis maka dari tabel 4.11 dapat dibuatkan grafik yang dapat menunjukkan hubungan antara arus eksitasi terhadap arus jangkar.



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Arus Eksitasi dengan Arus Jangkar pada Generator Sinkron PLTU Unit 3 dan 4

Grafik 4.6 menunjukkan hubungan antara arus eksitasi dengan arus jangkar yang ada pada PLTU unit 3 dan 4, pada grafik tersebut terlihat bahwa nilai dari arus eksitasi ( $I_f$ ) sebanding dengan nilai dari arus jangkar ( $I_a$ ) yang ada pada generator sinkron, dengan kata lain bahwa semakin besar nilai dari arus eksitasi yang diinjeksikan maka akan membuat nilai dari arus jangkar pada generator sinkron akan semakin besar. Nilai arus jangkar tersebut berubah-ubah sesuai dengan besar nilai dari arus eksitasi yang diinjeksikan menuju kumparan rotor yang terdapat pada generator sinkron PLTU unit 3 dan 4. Terlihat pula pada grafik adanya fluktuasi atau kondisi dimana nilai arus jangkar ( $I_a$ ) menurun sedangkan nilai dari arus eksitasi ( $I_f$ ) yang diinjeksikan bertambah, hal ini bisa disebabkan karena saat sistem sudah disinkronkan dengan jaringan maka sistem yang ada akan melayani permintaan pembebanan. Kondisi berubah-ubahnya beban inilah yang menyebabkan adanya fluktuasi pada grafik karena arus eksitasi ( $I_f$ ) akan menyesuaikan besar kecilnya nilai pembebanan yang juga akan mempengaruhi nilai dari arus jangkar ( $I_a$ ).

Tabel 4.11 terlihat mengenai hubungan antara arus eksitasi dan arus jangkar terhadap nilai pembebanan yang ada pada generator sinkron, dalam hal ini data yang digunakan merupakan data daya reaktif pada generator sinkron serta data dari nilai arus eksitasi dan arus jangkar.

#### 4.4.2 Analisis Pengaruh Fluktuasi Tegangan pada Generator Sinkron

Nilai dari fluktuasi tegangan dapat diketahui dengan cara menghitung terlebih dahulu nilai dari  $E_a$  (ggl induksi) menggunakan persamaan berikut:

$$V = E_a - jX_s I_a - r_a I_a \dots \dots \dots (4.1)$$

Menentukan nilai dari ggl induksi ( $E_a$ ) dipengaruhi oleh nilai dari reaktansi jangkar, tetapi nilai tersebut dapat diabaikan dikarenakan nilai dari reaktansi jangkar yang sangat kecil. Reaktansi jangkar itu sendiri ditentukan berdasarkan arus jangkar dan resistansi jangkar sehingga dapat menyebabkan adanya jatuh tegangan. Dengan mengabaikan nilai dari reaktansi jangkar, maka persamaan yang digunakan dalam mencari nilai  $E_a$  (ggl induksi) adalah sebagai berikut :

$$E_a = V + jX_s I_a \dots \dots \dots (4.2)$$

Berdasarkan nilai spesifikasi generator serta data operasi harian PLTU unit 3 dan 4 pada tabel 4.11, maka nilai  $E_a$  pada generator sinkron dapat diketahui. Berikut adalah data spesifikasinya :

$$X_s = 1.5 \text{ pu}$$

$$V = 15 \text{ KV} = 15000 \text{ V}$$

$$I = 9623 \text{ A}$$

Data diatas dapat digunakan dalam menentukan nilai  $Z_{base}$  (impedansi) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Z_{base} = \frac{V_{base} / \sqrt{3}}{I_{base}} \dots \dots \dots (4.3)$$

$$= \frac{15000 / \sqrt{3}}{9623} = 0.9$$

$$X_s \text{ (dalam Ohm)} = 1.5 \times 0.9$$

$$= 1.35 \Omega$$

Dari data dan perhitungan diatas maka nilai  $E_a$  sebagai berikut :

$$\text{Data hari ke-1 : } V_t = 15.02 \text{ KV} = 15020 \text{ V}$$

$$I_a = 4480.43 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka diperoleh nilai } E_a &= 15020 + (jI_a X_s) \\ &= 15020 + (j4480.43 \times 1.35 \Omega) \\ &= 16192,15 \angle 21,93^\circ \\ &= 16.19 \text{ KV} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan nilai ggl induksi ( $E_a$ ) pada hari ke-2 dan seterusnya dengan menggunakan rumus yang sama dapat dilihat dari tabel berikut :

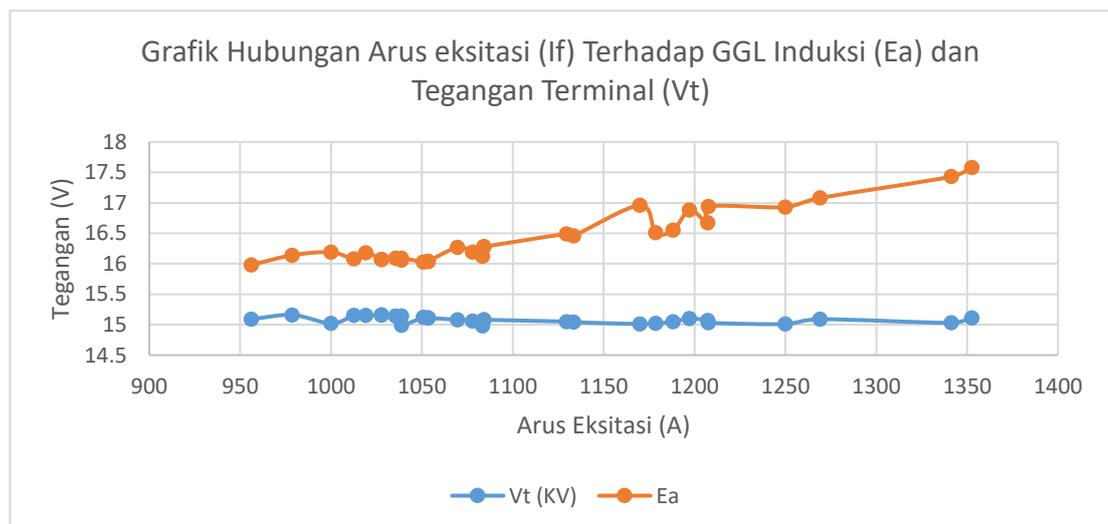
Tabel 4.12 Nilai Hasil Perhitungan GGL Induksi pada Generator Sinkron PLTU Unit 3 dan 4 PJB UP Gresik

Waktu Penelitian Hari ke-	V Out Generator (KV)	Arus Jangkar (A)	Arus Eksitasi (A)	$E_a$ (KV)	Tegangan Eksitasi (V)
1	15.02	4480.43	1000	16.19	166.4
2	15.15	4216.09	1019.13	16.18	170.87
3	15.16	4119.57	978.61	16.14	163.61
4	15.16	3963.04	1027.83	16.07	172.09
5	15.08	4534.78	1069.57	16.27	180.87
6	15.06	4417.39	1077.83	16.19	181
7	15.12	3956.52	1050.87	16.03	176.65
8	15.14	3980.43	1038.70	16.06	173.52
9	15.15	4002.17	1012.61	16.08	168.91
10	15.09	3900	956.09	15.98	153.26
11	15.01	5852.17	1170	16.96	199.65
12	15.05	4995.65	1129.57	16.49	190.56
13	15.11	4000	1053.48	16.04	177.39

Lanjutan Tabel 4.12 Nilai Hasil Perhitungan GGL Induksi pada Generator Sinkron PLTU Unit 3 dan 4 PJB UP Gresik

14	14.98	4413.33	1083.33	16.12	183
15	15.01	5813.04	1250	16.93	213.47
16	15.08	4550	1084.09	16.28	182.36
17	15.11	4000	1053.48	16.04	177.39
18	15.16	3963.04	1027.83	16.07	172.09
19	15.10	5604.55	1197.27	16.88	203.59
20	15.03	5795.45	1207.73	16.94	204.45
21	15.08	4550	1084.09	16.28	182.36
22	15.09	5940.91	1269.09	17.08	215.91
23	15.11	6660.87	1352.61	17.58	230.65
24	15.14	4040.63	1035.63	16.09	173.12
25	14.99	4337.5	1038.75	16.09	176.81
26	15.04	4957.14	1133.57	16.46	191.78
27	15.07	5286.36	1207.27	16.67	203.68
28	15.02	5081.82	1178.64	16.51	200.64
29	15.05	5108.70	1188.26	16.55	201.17
30	15.03	6540	1341.33	17.43	229.73

Dari tabel 4.12 maka dapat dibuat grafik yang menunjukkan hubungan antara arus eksitasi yang diinjeksikan terhadap tegangan terminal serta GGL induksi ( $E_a$ ). Grafik tersebut sebagai berikut :



Gambar 4.7 Grafik Hubungan antara Arus Eksitasi ( $I_f$ ) dengan GGL Induksi ( $E_a$ ) serta Tegangan Terminal ( $V_t$ ) pada Generator Sinkron PLTU Unit 3 dan 4

Dari gambar 4.7 diatas dapat diamati mengenai pengaruh dari arus eksitasi ( $I_f$ ) terhadap GGL induksi ( $E_a$ ) serta tegangan terminal ( $V_t$ ) pada generator sinkron PLTU unit 3 dan 4 di PJB UP Gresik. Grafik menunjukkan bahwa semakin besar nilai dari arus eksitasi yang diinjeksikan ke generator sinkron maka akan membuat nilai dari GGL induksi yang ada cenderung meningkat. Hal ini juga terlihat pada nilai dari tegangan terminal ( $V_t$ ) yang nilainya cenderung meningkat seiring naiknya nilai arus eksitasi ( $I_f$ ) yang diinjeksikan ke generator sinkron.

Terbukti bahwa kenaikan dari tegangan terminal ( $V_t$ ) pada generator sinkron diakibatkan oleh naiknya nilai dari arus eksitasi ( $I_f$ ) yang diinjeksikan, hal ini bertujuan untuk menjaga kestabilan dari tegangan terminal ( $V_t$ ) generator sinkron, jadi tegangan terminal yang awalnya rendah dikarenakan adanya perubahan atau kenaikan beban, maka dapat distabilkan lagi dengan cara menambah arus eksitasi yang diinjeksikan guna memperkuat arus penguatan medan yang ada pada generator sinkron.

Grafik gambar 4.7 juga menunjukkan adanya kondisi fluktuasi dimana nilai tegangan terminal ( $V_t$ ) yang tiba-tiba turun sedangkan nilai arus eksitasi ( $I_f$ ) naik, hal ini disebabkan karena adanya perubahan dari nilai pembebanan yang dilayani.

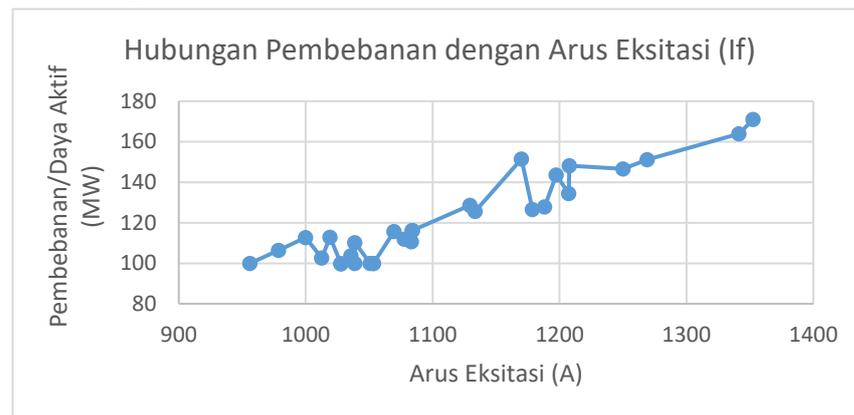
Membangkitkan tegangan terminal ( $V_t$ ) itu sendiri dapat dilakukan dengan dua cara yaitu dengan menambah putaran rotor serta dengan menambah penguatan medan, karena pada kondisi yang ada kecepatan rotor harus dijaga konstan maka langkah yang dilakukan adalah dengan menambah penguatan medan dengan cara meningkatkan nilai arus eksitasi ( $I_f$ ) yang diinjeksikan ke generator sinkron.

#### **4.4.3 Analisis Hubungan Pembebanan Terhadap Nilai Arus Eksitasi**

Hubungan dari pembebanan ini berkaitan dengan tegangan terminal serta arus eksitasi pada generator sinkron. Prinsipnya adalah ketika nilai dari pembebanan naik maka akan mengakibatkan nilai dari tegangan jaringan menurun, hal ini membuat nilai dari tegangan terminal juga akan menurun. Sehingga untuk mengatasi hal ini maka dibutuhkan penambahan nilai arus eksitasi yang diinjeksikan ke generator sinkron dengan tujuan untuk menjaga kestabilan dari tegangan terminal agar tetap pada kondisi nominalnya. Untuk memperjelas

mengenai hubungan antara pembebanan terhadap arus eksitasi dapat dilihat dari grafik berikut :

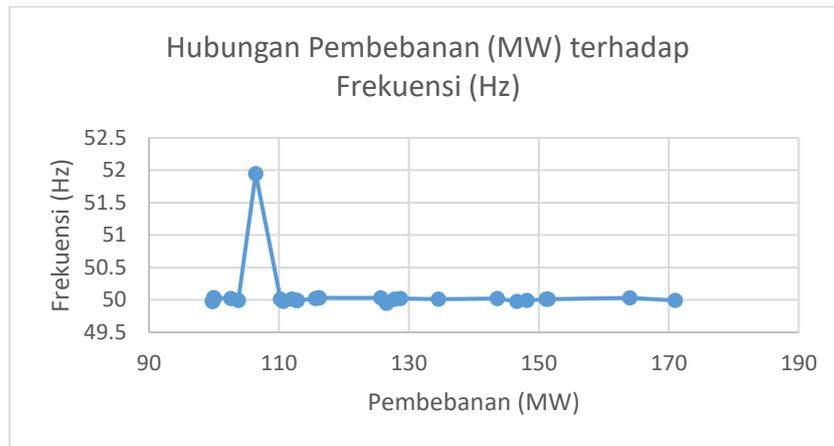
Gambar 4.8 Grafik Hubungan Pembebanan dengan Arus Eksitasi pada Generator Sinkron PLTU Unit 3 dan 4



Grafik gambar 4.8 menunjukkan bahwa semakin besar nilai dari pembebanan yang ada pada PLTU unit 3 dan 4 PJB UP Gresik maka nilai dari arus eksitasi ( $I_f$ ) yang diinjeksikan pada generator sinkron yang ada ikut meningkat, hal ini bertujuan untuk menjaga kestabilan dari tegangan terminal pada generator sinkron PLTU unit 3 dan 4 tersebut.

Grafik gambar 4.8 menunjukkan adanya fluktuasi, karena pada kenyataannya nilai pembebanan yang ada akan berubah-ubah seiring waktu tergantung dari kebutuhan konsumen. Perubahan nilai pembebanan inilah yang juga mempengaruhi nilai dari arus eksitasi ( $I_f$ )

PLTU unit 3 dan 4 di PJB UP Gresik juga menjaga nilai dari frekuensi generator sinkron agar tetap konstan yaitu berada di kisaran 50 Hz. Hal tersebut dapat dilihat dari grafik sebagai berikut :



Gambar 4.9 Grafik Hubungan Pembebanan terhadap Arus Eksitasi pada PLTU Unit 3 dan 4 PJB UP Gresik

Grafik gambar 4.9 terdapat adanya fluktuasi hingga nilai 52 Hz, hal ini dapat terjadi dikarenakan perubahan nilai pembebanan yang ada pada sistem jaringan, saat pembebanan turun cukup drastis maka akan membuat frekuensi dari generator naik seketika. Kondisi 52 Hz ini hanya berlangsung sesaat (3 detik), karena apabila melebihi setting waktu yang ada maka akan mengakibatkan sistem menjadi trip.

Pembahasan dasar teori telah menjelaskan mengenai tegangan terminal, dimana secara sistematis tegangan terminal tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut :

$$V = E - jX_{ar}I_a - jX_{la}I_a - r_aI_a \dots \dots \dots (4.4)$$

$$V = E - jX_s I_a - r_a I_a \dots \dots \dots (4.5)$$

$$E = Cn\phi \dots \dots \dots (4.6)$$

$$P = V_{eff} \times I_{eff} \times \cos\theta \dots \dots \dots (4.7)$$

Berdasarkan persamaan yang ada diatas maka dapat diketahui bahwa tegangan terminal yang ada (Vt) pada generator akan berbanding lurus dengan nilai dari ggl induksi (Ea) sehingga berbanding lurus pula dengan nilai dari arus eksitasi (If). Dikarenakan frekuensi pada generator sinkron yang ada dijaga konstan yaitu berada di kisaran 50 Hz, sehingga untuk pengaturan nilai tegangan terminal (Vt)

yang dibangkitkan generator sinkron hanya dipengaruhi oleh fluksi ( $\phi$ ) medan magnet yang berasal dari injeksi arus ekstasi ( $I_f$ ) ke generator sinkron.

Dengan mengetahui karakteristik pada sistem eksitasi generator sinkron ini, kerusakan pada generator tersebut yang bisa saja disebabkan oleh *under excitation* ataupun *over excitation* dapat dihindari