

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Sistem Eksitasi pada PLTU Unit 1 dan 2 di PT PJB UP Gresik

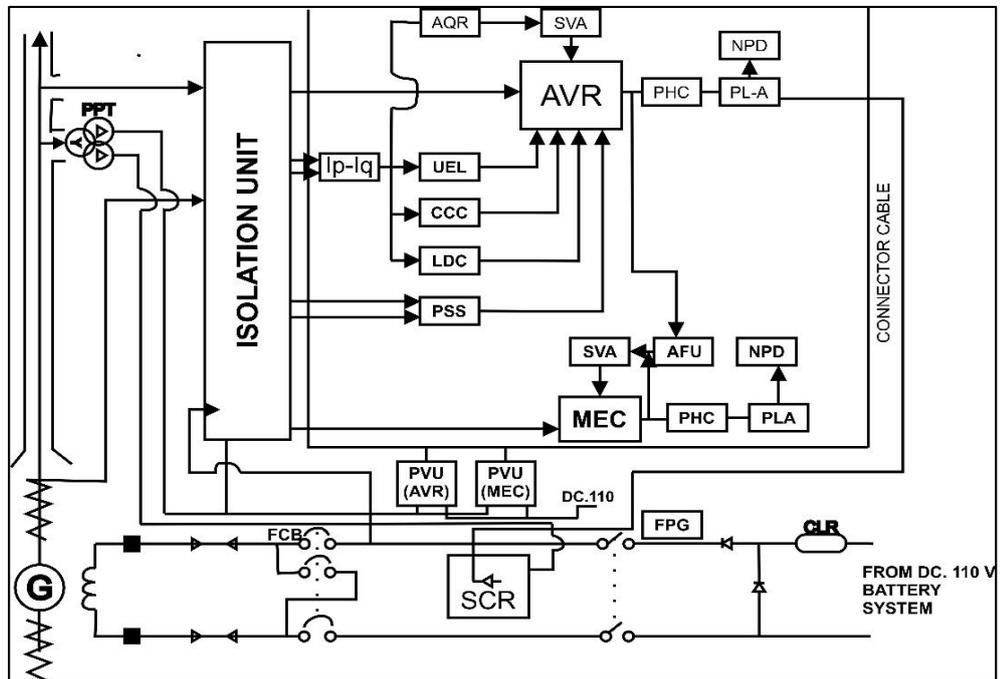
Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) unit 1 dan unit 2 di PT PJB UP Gresik merupakan salah satu aset pembangkit tertua yang dimiliki oleh PT PJB UP Gresik namun masih sangat penting dalam penyediaan energi listrik untuk membantu memenuhi kebutuhan listrik pelanggan. Generator yang digunakan dalam pembangkitan listrik pada PLTU Unit 1 dan 2 adalah generator sinkron berkapasitas 2 x 100 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 1 dan 2 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 1 dan 2 di PT PJB UP Gresik merupakan sistem eksitasi statis atau sistem *self excitation*, disebut demikian karena tidak memerlukan generator tambahan sebagai sumber eksitasi generator sinkron, melainkan memanfaatkan output generator itu sendiri sebagai sumber eksitasi namun disearahkan terlebih dahulu menggunakan alat yang bernama *thyristor*. Terdapat kondisi dimana generator belum dapat menghasilkan tegangan keluaran atau disebut dengan *field flashing*, tentu saja sistem penguatan tidak bisa menggunakan tegangan keluaran dari generator, kondisi tersebut terjadi saat start awal generator saat baru dinyalakan setelah kondisi mati. Dalam kondisi tersebut penguatan yang dilakukan ialah dengan menginjeksi arus eksitasi dari baterai.

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 13,2 KV. Skema dari sistem eksitasi generator sinkron pada PLTU unit 1 dan unit 2 di PT PJB UP Gresik ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Sistem Eksitasi Generator Sinkron PLTU Unit 1 dan 2 di PT. PJB UP Gresik
(Manual book generator PLTU unit 1 dan 2)

4.2 Peralatan Sistem Eksitasi pada Generator Sinkron PLTU Unit 1 dan 2 di PT PJB UP Gresik

Peralatan utama yang digunakan dalam sistem eksitasi dan spesifikasinya pada pembangkit listrik tenaga uap unit 1 dan 2 di PT PJB Gresik adalah sistem eksitasi, generator, *battery*, *battery charger*, *thyristor rectifier*, transformator eksitasi, AVR, MEC, *brush excitation*, serta proteksi sistem eksitasi

4.2.1 Sistem Eksitasi

Pada PLTU unit 1 dan 2 di PT PJB UP Gresik sistem eksitasi yang digunakan merupakan sistem eksitasi statis, artinya sumber yang digunakan pada sistem eksitasi merupakan keluaran dari generator itu sendiri yang telah

disearahkan menggunakan *thyristor* dan penyaluran arus tersebut menuju ke generator menggunakan media *slip ring* dan sikat arang (*carbon brush*).

Spesifikasi dari sistem eksitasi PLTU unit 1 dan 2 di PT PJB UP Gresik ditunjukkan pada tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4.1 Spesifikasi Sistem Eksitasi PLTU Unit 1 dan 2

<i>Output</i> Generator	125.000 kVA
Tegangan nominal generator	13.200 V
Arus nominal generator	5.468 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 adalah alat yang berfungsi untuk menghasilkan daya listrik yang selanjutnya akan ditransmisikan ke jaringan interkoneksi Jawa-Bali dan juga digunakan untuk sendiri serta penyuplai daya untuk kepentingan eksitasi itu sendiri (*self excitation*). Tabel 4.2 merupakan spesifikasi dari generator sinkron yang digunakan pada PLTU unit 1 dan 2 di PT PJB UP Gresik:

Tabel 4.2 Spesifikasi Generator PLTU Unit 1 dan 2

Tipe-Form	TAKS-ICH
Jumlah kutub	2
Kapasitas	125.000 kVA
Kecepatan	3.000 rpm
Tegangan	13.200 V
Arus	5468 A
Frekuensi	50 Hz
Faktor daya	0.8
	1.5 pu
Tekanan Gas	2,0 kg/cm ² G
Daya yang dikurangi ketika salah satu pendingin rusak	100.000 kVA

4.2.3 Battery

Baterai pada sistem eksitasi digunakan untuk menyuplai sistem penguatan ketika generator belum bisa menghasilkan tegangan keluaran atau saat generator baru start awal karena yang dibutuhkan ialah arus DC maka baterai sangat tepat digunakan sehingga tidak perlu menggunakan perangkat lain untuk menyearahkannya lagi. Berikut merupakan spesifikasi baterai pada PLTU unit 1 dan 2 di PT PJB UP Gresik:

Tabel 4.3 Spesifikasi Baterai PLTU Unit 1 dan 2

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 20° C

4.2.4 Battery Charger

Battery charger berfungsi untuk mengisi ulang *battery* pada PLTU unit 1 dan 2 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 1 dan 2 di PT PJB UP Gresik :

Tabel 4.4 Spesifikasi Battery Charger PLTU Unit 1 dan 2

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

4.2.5 Thyristor Rectifier

Thyristor Rectifier memiliki fungsi untuk menyearahkan tegangan keluaran dari trafo eksitasi pada PLTU unit 1 dan 2 ini nilai trafo eksitasi yang disearahkan adalah 390 VAC menjadi 110 VDC atau sesuai kebutuhan mvar generator, nilai tersebut yang akan menjadi inputan pada generator sinkron sebagai sumber arus eksitasi pada PLTU unit 1 dan 2. Besarnya nilai dari sumber arus eksitasi tersebut dapat diatur dengan cara mengatur sudut penyalaan yang ada pada *thyristor* tersebut. Spesifikasi dari *thyristor rectifier* yang ada pada PLTU unit 1 dan 2 di PT PJB UP Gresik ditampilkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Spesifikasi Thyristor Rectifier PLTU Unit 1 dan 2

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 Transformator Eksitasi

Trafo eksitasi (*excitation transformer*) memiliki fungsi untuk menurunkan tegangan keluaran dari generator sinkron dengan nilai 13,2 KV menjadi 390 VAC dimana tegangan tersebut kemudian akan disearahkan menggunakan *thyristor* dan menjadi tegangan searah dengan nilai yang disesuaikan dengan kebutuhan mvar yang dihasilkan oleh generator (VDC). Tabel 4.6 merupakan spesifikasi dari *excitation transformer* yang digunakan pada PLTU unit 1 dan 2 di PT PJB UP Gresik.

Tabel 4.6 Spesifikasi Excitation Transformer PLTU Unit 1 dan 2

Pabrikan	<i>Toshiba Corp.</i>
Rating	
Kapasitas	2.705 kVA
Kelas rating	<i>Continuous</i>
Tagangan pada tekanan tinggi	13,2 kV

Lanjutan Tabel 4.6 spesifikasi *Excitation Transformer* PLTU Unit 1 dan 2

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 1 dan 2 ketika sistem sedang beroperasi secara normal. Spesifikasi dari *AVR (Automatic Voltage Regulator)* pada PLTU unit 1 dan 2 ditunjukkan pada Tabel 4.7 di bawah ini.

Tabel 4.7 Spesifikasi AVR (Automatic Voltage Regulator) PLTU Unit 1 dan 2

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)

Komponen-komponen dari AVR (*Automatic Voltage Regulator*) ditunjukkan pada Tabel 4.8 di bawah ini.

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 transducer	Ip, Iq
Pengkompensasi arus sebrang	CCC
Pengkompensasi jatuh tegangan	LDC
Regulator pengatur daya reaktif otomatis	AQR

4.2.8 MEC (Manual Excitation Control)

Manual Excitation Control diperlukan pada saat AVR (*Automatic Voltage Regulator*) dalam kondisi rusak atau sedang dalam *maintenance*. *Manual Excitation Control* itu sendiri mempunyai fungsi untuk mengatur eksitasi secara manual atau dengan kata lain MEC ini menjadi *back up*, selain itu MEC juga berfungsi untuk melakukan pengecekan pada sistem eksitasi. Spesifikasi dari MEC (*Manual Excitation Control*) pada PLTU unit 1 dan 2 di PT PJB UP Gresik ditunjukkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Spesifikasi Manual Excitation Control (MEC) PLTU Unit 1 dan 2

Pengendali eksitasi manual	MEC
Pengendali fasa	PHC
Penguat gelombang	PL-A
Pendeteksi non gelombang	NPD
Unit penyedia daya	PWU (MEC)
Pengatur tegangan static	SVA 70E
Unit isolasi	U- ISO

4.2.9 Brush Excitation

Untuk menyalurkan tegangan dari bagian statis ke bagian generator yang bergerak dibutuhkan *brush excitation*. *Brush excitation* ini terletak pada bagian dalam satu struktur generator sinkron serta turbin. Sistem eksitasi yang ada pada PLTU unit 1 dan 2 merupakan sistem eksitasi statis yang menggunakan sikat arang (*carbon brush*) dimana memiliki kelebihan yaitu mampu menghancurkan listrik tanpa menimbulkan bunga api. Spesifikasi dari *brush excitation* pada PLTU unit 1 dan 2 dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Spesifikasi Brush Excitation PLTU Unit 1 dan 2

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

4.2.10 Proteksi Sistem Eksitasi

Alat pengaman atau proteksi sangat diperlukan untuk mengamankan sistem eksitasi dari gangguan maupun kerusakan yang bisa terjadi. Pada PLTU unit 1 dan 2 itu sendiri terdapat alat proteksi berupa *Field Circuit Breaker* maupun *alarm*. *Field Circuit Breaker* berfungsi seperti *circuit breaker* pada umumnya yaitu memutus rangkaian apabila terjadi gangguan. *Alarm* disini berfungsi untuk melindungi PPT (*Power Potential Transformator*) maupun *thyristor* dari gangguan yang ada dan gangguan tersebut dapat diatasi dari *control room*. Berikut adalah spesifikasi dari *field circuit breaker* yang digunakan pada PLTU unit 1 dan 2:

Tabel 4.11 Spesifikasi Field Circuit Breaker PLTU Unit 1 dan 2

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 1 dan 2 di PT PJB UP Gresik

Dengan penelitian yang dilakukan pada sistem eksitasi generator sinkron di PLTU unit 1 dan 2 diketahui bahwa sistem eksitasi yang digunakan ialah sistem eksitasi tanpa 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 terletak pada rotor generator dengan bantuan media berupa *slip ring* dan *carbon brush* (sikat arang).

PLTU unit 1 dan 2 di PT PJB UP Gresik menggunakan sistem eksitasi statis, artinya arus yang diinjeksikan ke kumparan medan untuk sistem eksitasi merupakan tegangan keluaran dari generator sinkron itu sendiri dimana tegangan itu akan diturunkan tegangannya terlebih dahulu dan disearahkan karena arus yang diperlukan untuk sistem eksitasi merupakan arus searah (DC). Proses pembangkitan listrik di PLTU unit 1 dan 2 ini menggunakan generator sinkron yang menghasilkan tegangan sebesar 13,2 KV 3 fasa yang merupakan tegangan bolak-balik (AC), karena tegangan atau arus yang dibutuhkan merupakan tegangan atau arus searah (DC) maka output dari generator tersebut harus disearahkan terlebih dahulu hingga menghasilkan arus searah. Arus searah inilah yang akan digunakan untuk menginjeksi kumparan medan pada rotor generator. Generator sinkron pada PLTU unit 1 dan 2 mempunyai 64 buah *carbon brush* yang dihubungkan ke *slipring* untuk menyalurkan arus DC.

Nilai tegangan terminal yang dihasilkan oleh generator pada PLTU unit 1 dan 2 ialah sebesar 13,2 KV sehingga harus diturunkan tegangannya terlebih dahulu menggunakan trafo eksitasi sehingga tegangan yang diperoleh sebesar 390 VAC 3 fasa. Tegangan keluaran dari transformator eksitasi ini kemudian disearahkan dan diturunkan lagi tegangannya dengan alat yang bernama *thyristor rectifier* sesuai dengan kebutuhan MVAR dari generator. Fungsi dari *thyristor rectifier* itu sendiri ialah untuk *converter AC to DC* atau dengan kata lain mengonversi listrik bolak-balik (AC) menjadi listrik searah (DC).

Selanjutnya tegangan yang telah disearahkan dan diturunkan akan diinjeksikan ke kumparan motor melalui media berupa *carbon brush* dan *slip ring* yang akan membangkitkan medan magnet pada motor generator tersebut. Bentuk fisik dari trafo eksitasi ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Transformator Eksitasi pada PLTU Unit 1 dan 2

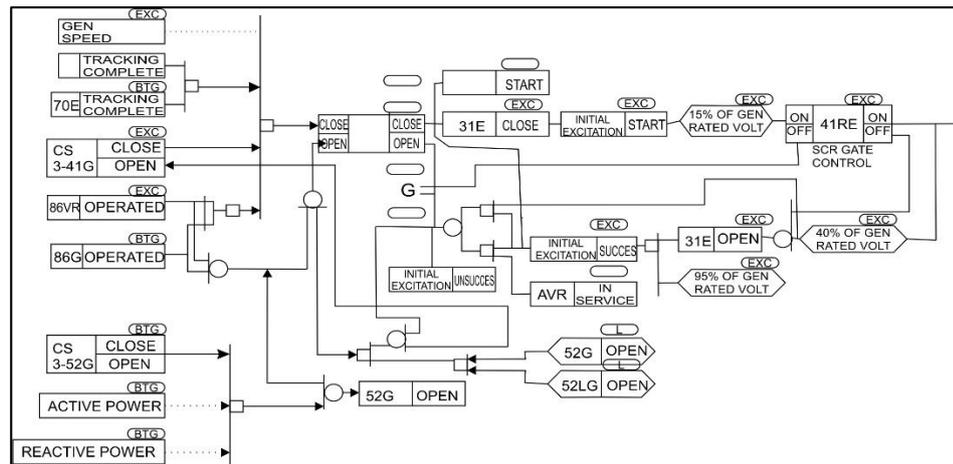
Pada kondisi *starting* awal, generator sinkron pada PLTU unit 1 dan 2 di PT PJB UP Gresik belum mampu menghasilkan tegangan keluaran untuk kepentingan eksitasi sehingga pada kondisi tersebut arus DC yang digunakan untuk menginjeksi kumparan medan generator ialah dari baterai yang terdapat di ruang baterai. Baterai yang digunakan pada PLTU itu sendiri terdiri dari 53 *cell* dimana tiap-tiap *cell* tersebut memiliki tegangan 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. Bentuk fisik dari baterai yang ada pada PLTU unit 1 dan 2 ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Baterai Pada PLTU 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 13,2 KV.

Saat kondisi 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*. Bagan dari proses sistem eksitasi pada PLTU unit 1 dan 2 ditunjukkan pada Gambar 4.5



Gambar 4.4 Proses sistem eksitasi pada PLTU unit 1 dan 2 di PT PJB UP Gresik

Besarnya arus yang diinjeksikan pada kumparan medan di rotor pada generator dapat diatur dengan AVR (*Automatic Voltage Generator*). AVR akan mengontrol sistem *switching* pada sistem eksitasi yang ada dengan cara mengatur nilai tegangan maupun arus yang digunakan untuk menginjeksi gerbang terminal yang ada pada *thyristor*. Bentuk fisik dari AVR ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 AVR (Automatic Voltage Regulator) pada PLTU di PT PJB UP Gresik

4.4 Analisis Terhadap Karakteristik Sistem Eksitasi Generator Sinkron pada PLTU Unit 1 dan 2 di PT PJB UP Gresik

Analisis mengenai sistem eksitasi generator sinkron PLTU unit 1 dan 2 ini menggunakan data operasi harian yang terdapat pada PLTU unit 1 dan 2 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 1 dan 2 di PT PJB UP Gresik:

Tabel 4.12 Data Operasi Harian PLTU Unit 1 dan 2 di PT PJB UP Gresik

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	13,25	50,01	4,54	45	1996,52	574,57	106,39	0,99
2	13,34	50,01	4,16	47,78	2206,52	594,13	110,26	0,99
3	13,41	49,99	5,15	45	2101,30	583,48	105	0,99
4	13,39	49,99	10,87	45	2001,17	621,74	116,74	0,96
5	13,31	49,98	10,87	45	2006	615	116	0,97
6	13,30	49,99	13,65	45	2019,57	634,78	118,74	0,95
7	13,37	50,02	16,39	45	2056,52	650,87	121,91	0,93
8	13,39	50,02	13,00	45	2030,43	633,04	119,61	0,96
9	13,4	49,96	7,7	43	1880	583	108,3	0,97
10	13,42	50,04	7,14	45	1973,91	627,48	107,91	0,98
11	13,34	49,99	16,39	56,39	2552,17	713,48	129,04	0,94
12	13,26	50,03	10,58	52,48	2319,57	650,65	117,43	0,97
13	13,23	50,04	8,36	56,30	2478,26	652,17	118,26	0,98
14	13,21	50	18,10	56,75	2630	720,75	131,25	0,93
15	13,26	49,99	16,75	59,75	2721,50	724	131,7	0,95
16	13,27	49,99	12,67	45	2054	639,17	115,25	0,95
17	13,34	50,01	9,69	45	2000	621,88	111,56	0,97
18	13,36	50,03	11,8	69,80	3063,33	736	134,93	0,98
19	13,30	50,01	14,22	45	2019,57	642,61	120,3	0,95
20	13,30	49,99	14,13	45	2028,26	640	119	0,95
21	13,38	50,03	17,26	46,74	2130,43	673,91	126,17	0,93
22	13,29	50,03	16,96	69,35	3091,30	756,30	142,74	0,96
23	13,31	50,02	16,22	49,91	2256,52	672,61	126,61	0,94
24	13,40	50,01	11,17	45	2010,87	620,43	116,17	0,96

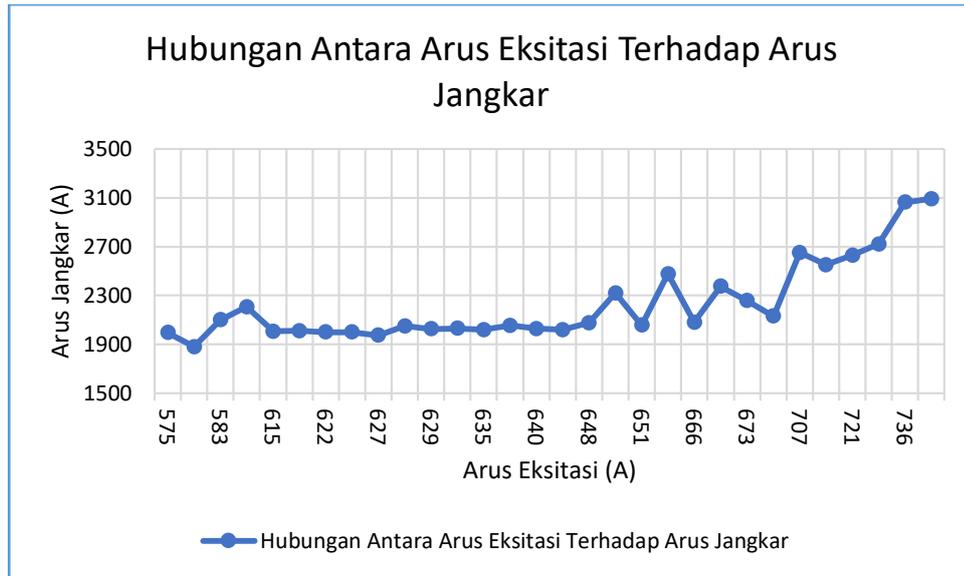
Lanjutan Tabel 4.12 Data Operasi Harian PLTU Unit 1 dan 2 di PT PJB UP
Gresik

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
25	13,36	50,02	17,74	45	2080,43	666,30	124,35	0,93
26	13,29	50,04	16,61	52,87	2375	669,57	127,17	0,95
27	13,23	50,04	16,26	59,26	2652,17	706,96	133,65	0,95
28	13,15	50,02	13,87	45	2050	627,61	119,04	0,95
29	13,20	50,02	13,65	45	2026,09	629,35	118,35	0,95
30	13,13	50,04	16,70	45	2076,06	648,04	121,52	0,93

Data yang diperoleh meliputi Vout Generator, frekuensi, daya reaktif, daya aktif, arus jangkar, arus eksitasi, tegangan eksitasi dan faktor daya ialah data operasi harian per jam, namun pada tabel 4.11 dan data selanjutnya yang ditampilkan merupakan data setelah dilakukan perhitungan rata-rata per hari.

4.4.1 Analisis Hubungan Antara Arus Eksitasi Terhadap Arus Jangkar

Tabel 4.11 menampilkan data operasi harian yang ada pada PLTU unit 1 dan 2 di PT PJB UP Gresik dan data tersebut akan digunakan untuk menganalisis karakteristik dari sistem eksitasi generator sinkron PLTU unit 1 dan 2 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 yang ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Antara Arus Eksitasi dengan Arus Jangkar pada Generator PLTU Unit 1 dan 2

Pada Grafik 4.6 terlihat bahwa hubungan antara arus eksitasi dengan arus jangkar yang ada pada PLTU unit 1 dan 2 menunjukkan nilai arus eksitasi (I_f) sebanding dengan nilai 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 1 dan 2. Terjadinya perubahan nilai arus eksitasi yang diinjeksikan juga terpengaruh oleh pembebanan dari sistem yang ada karena apabila daya yang dibutuhkan oleh sistem interkoneksi semakin besar maka otomatis arus dari generator sinkronpun akan naik, sehingga nilai arus eksitasi yang diinjeksikanpun juga harus disesuaikan.

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).

Hubungan antara arus eksitasi dan arus jangkar terhadap nilai pembebanan yang ada pada generator sinkron dapat dilihat dari tabel 4.11 dimana data yang digunakan adalah data daya reaktif pada generator sinkron serta dari nilai arus jangkar dan arus eksitasi.

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:

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

Nilai dari ggl induksi (E_a) dipengaruhi oleh nilai dari reaktansi jangkar, akan tetapi nilai tersebut dapat diabaikan dikarenakan nilai reaktansi jangkar sangat kecil. Reaktansi jangkar itu sendiri ditentukan berdasarkan arus jangkar dan resistansi jangkar sehingga dapat menyebabkan adanya *drop* tegangan. Maka dengan mengabaikan nilai dari reaktansi jangkar, persamaan yang digunakan dalam mencari nilai ggl induksi (E_a) adalah sebagai berikut:

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

Berdasarkan dengan nilai dari spesifikasi generator yang ada pada PLTU unit 1 dan 2 di PT PJB UP Gresik serta data operasi hariannya, maka nilai E_a pada generator sinkron tersebut dapat diketahui. Berikut adalah data spesifikasinya:

$$\begin{aligned} X_s &= 1,5 \text{ pu} \\ V &= 13,2 \text{ KV} = 13200 \text{ V} \\ I &= 5468 \text{ A} \end{aligned}$$

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

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

$$= \frac{13200 / \sqrt{3}}{5468} = 1.4$$

$$\begin{aligned} X_s \text{ (dalam Ohm)} &= 1.5 \times 1.4 \\ &= 2.1 \Omega \end{aligned}$$

Dari data serta perhitungan diatas maka nilai E_a adalah sebagai berikut:

- Data hari ke-1 : $V_t = 13.25 \text{ KV} = 13250 \text{ V}$
 $I_a = 1996.52 \text{ A}$

$$\begin{aligned} \text{Maka diperoleh nilai: } E_a &= 13250 + (jI_a X_s) \\ &= 13250 + (j1996.52 \times 2.1 \Omega) \\ &= 13897,52 \angle 17,56^\circ \\ &= 13.89 \text{ KV} \end{aligned}$$

- Data hari ke-2 : $V_t = 13.34 \text{ KV} = 13340 \text{ V}$
 $I_a = 2206.52 \text{ A}$

$$\begin{aligned} \text{Maka diperoleh nilai: } E_a &= 13340 + (jI_a X_s) \\ &= 13340 + (j2206.52 \times 2.1 \Omega) \end{aligned}$$

$$= 14121,85 \angle 19,15^\circ$$

$$= 14,12 \text{ KV}$$

- Data hari ke-18 : $V_t = 13.36 \text{KV} = 13360 \text{ V}$

$$I_a = 3063.33 \text{ A}$$

Maka diperoleh nilai: $E_a = 13360 + (jI_a X_s)$

$$= 13360 + (j3063.33 \times 2.1 \Omega)$$

$$= 14828,12 \angle 25,71^\circ$$

$$= 14,82 \text{ KV}$$

Untuk hasil perhitungan nilai ggl induksi (E_a) pada hari yang lain pada bulan september dengan menggunakan cara dan rumus yang sama dapat dilihat pada tabel berikut ini:

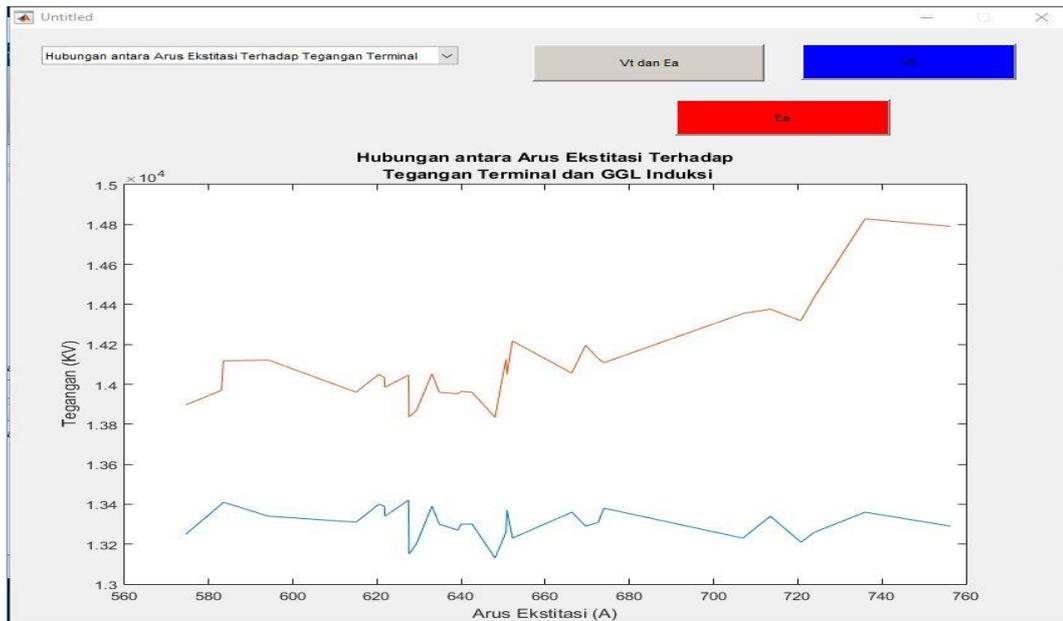
Tabel 4.13 Hasil Perhitungan E_a (GGL Induksi) pada Generator Sinkron PLTU Unit 1 dan 2 di PT PJB UP Gresik

Waktu Penelitian Hari ke-	V Out Generator (KV)	Arus Jangkar (A)	Arus Eksitasi (A)	E_a (KV)	Tegangan Eksitasi (V)
1	13,25	1996,52	574,57	13,89	106,39
2	13,34	2206,52	594,13	14,12	110,26
3	13,41	2101,30	583,48	14,11	105
4	13,39	2001,17	621,74	14,03	116,74
5	13,31	2006	615	13,96	116
6	13,30	2019,57	634,78	13,95	118,74
7	13,37	2056,52	650,87	14,05	121,91
8	13,39	2030,43	633,04	14,05	119,61
9	13,4	1880	583	13,96	108,3
10	13,42	1973,91	627,48	14,04	107,91

Lanjutan Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Ea (GGL Induksi) pada Generator Sinkron PLTU Unit 1 dan 2 di PT PJB UP Gresik

Waktu Penelitian Hari ke-	V Out Generator (KV)	Arus Jangkar (A)	Arus Eksitasi (A)	Ea (KV)	Tegangan Eksitasi (V)
11	13,34	2552,17	713,48	14,37	129,04
12	13,26	2319,57	650,65	14,12	117,43
13	13,23	2478,26	652,17	14,21	118,26
14	13,21	2630	720,75	14,31	131,25
15	13,26	2721,50	724	14,43	131,7
16	13,27	2054	639,17	13,95	115,25
17	13,34	2000	621,88	13,98	111,56
18	13,36	3063,33	736	14,82	134,93
19	13,30	2019,57	642,61	13,95	120,3
20	13,30	2028,26	640	13,96	119
21	13,38	2130,43	673,91	14,10	126,17
22	13,29	3091,30	756,30	14,79	142,74
23	13,31	2256,52	672,61	14,12	126,61
24	13,40	2010,87	620,43	14,04	116,17
25	13,36	2080,43	666,30	14,05	124,35
26	13,29	2375	669,57	14,19	127,17
27	13,23	2652,17	706,96	14,35	133,65
28	13,15	2050	627,61	13,83	119,04
29	13,20	2026,09	629,35	13,86	118,35
30	13,13	2076,06	648,04	13,83	121,52

Dari tabel 4.12 maka dapat ditampilkan grafik yang menunjukkan hubungan antara arus eksitasi yang diinjeksikan terhadap tegangan terminal serta ggl induksi (Ea). Pada Gambar 4.7 di bawah ini merupakan grafik yang menunjukkan hubungan antara arus eksitasi yang diinjeksikan terhadap tegangan terminal serta ggl induksi (Ea).



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 1 dan 2

Dari gambar 4.7 tersebut dapat diamati tentang pengaruh dari arus eksitasi (I_f) terhadap GGL induksi (E_a) serta tegangan terminal (V_t) pada generator sinkron PLTU unit 1 dan 2 di PJB UP Gresik. Grafik tersebut menunjukkan bahwa terjadi kecenderungan peningkatan nilai dari GGL induksi (E_a) apabila nilai arus eksitasi yang diinjeksikan semakin besar. Hal yang sama juga terjadi pada nilai tegangan terminal (V_t) dimana nilainya juga cenderung mengalami peningkatan seiring kenaikan nilai arus eksitasi (I_f) yang diinjeksikan ke generator sinkron.

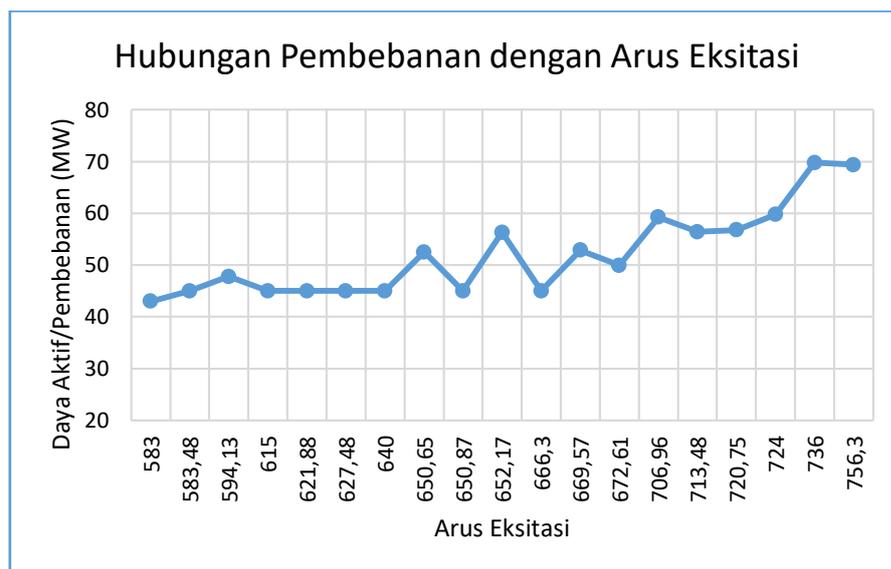
Pada tampilan grafik tersebut juga terlihat adanya kondisi nilai tegangan terminal (V_t) yang fluktuatif, dimana nilai tegangan terminal yang tiba-tiba turun sedangkan nilai arus eksitasi (I_f) naik. Adanya perubahan pada nilai pembebanan yang dilayani merupakan sebab dari terjadinya fluktuasi tersebut.

Untuk membangkitkan tegangan terminal (V_t) bisa dilakukan dengan dua cara yaitu dengan menambah atau mempercepat putaran rotor serta dengan menambah penguatan medan. Menambah penguatan medan dengan cara meningkatkan nilai arus eksitasi (I_f) yang diinjeksikan ke generator sinkron

menjadi cara yang sering dilakukan karena kondisi yang ada kecepatan putar rotor harus dijaga konstan.

4.4.3 Analisis Hubungan Pembebanan Terhadap Nilai Arus Eksitasi

Hubungan dari pembebanan ini berkaitan dengan tegangan terminal serta arus eksitasi pada generator sinkron. Prinsip yang berlaku ialah pada saat nilai dari pembebanannya naik, maka akan mengakibatkan nilai tegangan jaringan menurun, hal tersebut membuat nilai dari tegangan terminal juga akan menurun. Untuk mengatasi hal tersebut dibutuhkan penambahan nilai arus eksitasi yang diinjeksikan ke generator sinkron yang bertujuan untuk menjaga kestabilan dari tegangan terminal agar tetap atau tidak jauh dari kondisi nominalnya. Grafik pada Gambar 4.8 di bawah ini akan memperjelas mengenai hubungan antara pembebanan terhadap arus eksitasi.



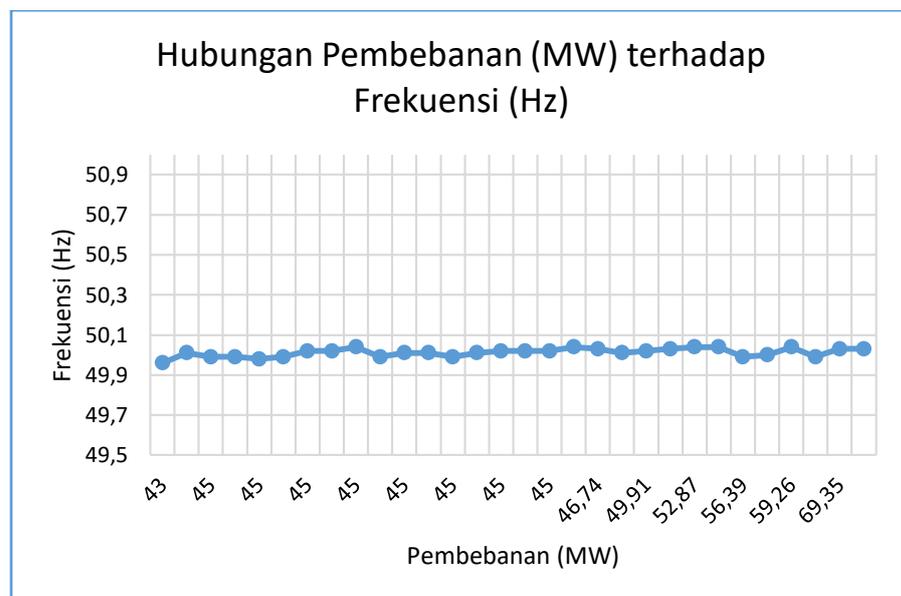
Gambar 4.8 Grafik Hubungan Pembebanan dengan Arus Eksitasi pada Generator Sinkron PLTU unit 1 dan 2

Grafik pada gambar 4.8 menunjukkan bahwa penambahan arus eksitasi mengikut kenaikan pada pembebanan yang ada, artinya apabila semakin besar nilai dari pembebanan yang ada pada PLTU unit 1 dan 2 di PT PJB UP Gresik maka nilai dari arus eksitasi yang diinjeksikan pada generator sinkron yang ada

juga ikut meningkat. Hal itu terjadi juga karena untuk menjaga kestabilan dari tegangan terminal pada generator sinkron pada PLTU unit 1 dan 2 tersebut.

Terdapat fluktuasi tegangan yang ditunjukkan oleh grafik di gambar 4.8, pada keadaan sesungguhnya nilai pembebanan yang ada akan berubah-ubah seiring waktu tergantung dari kebutuhan konsumen. Perubahan kebutuhan konsumen yang terjadi inilah yang dapat juga memengaruhi nilai dari arus eksitasi.

Pembangkit di PJB Gresik juga menjaga nilai frekuensi generator sinkron agar sesuai dengan sistem sinkronisasi di Indonesia yaitu pada kisaran 50 Hz. Hal tersebut dapat dilihat dari grafik pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Grafik Hubungan Pembebanan terhadap Arus Eksitasi pada PLTU Unit 1 dan 2 di PT PJB UP Gresik

Pada garif di gambar 4.9 terlihat bahwa pada tegangan yang naik turunpun frekuensi dapat dijaga konstan dengan cukup baik, dimana nilainya tidak ada yang jauh dari angka 50 Hz. Hal itu terjadi karena memang putaran rotor dijaga konstan.

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

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

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

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

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

Berdasarkan persamaan yang ada di atas, maka dapat diketahui bahwa tegangan terminal (V_t) yang ada pada generator akan berbanding lurus dengan nilai dari ggl induksi (E_a) sehingga berbanding lurus pula dengan nilai dari arus eksitasi (I_f). Dikarenakan frekuensi pada generator sinkron yang ada telah dijaga konstan yaitu 50 Hz, sehingga untuk pengaturan nilai tegangan terminal (V_t) yang dibangkitkan generator sinkron hanya dipengaruhi oleh fluksi (ϕ) medan magnet yang bersumber dari injeksi arus eksitasi (I_f) ke generator sinkron.

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