

# ANALISIS KARAKTERISTIK SISTEM EKSITASI GENERATOR SINKRON PADA PLTU UNIT 1 DAN 2 DI PT PJB UP GRESIK

Ibnu Sofyan Pamungkas

Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta  
Jl. Lingkar Selatan, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta 55183, Indonesia  
[Ibnu6996@gmail.com](mailto:Ibnu6996@gmail.com)

## INTISARI

Generator atau juga disebut alternator adalah alat utama dalam sistem pembangkit listrik karena berfungsi untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Dalam proses pembangkitan energi listrik terdapat suatu proses penting yang disebut sistem eksitasi. Sistem eksitasi merupakan proses pemberian penguatan berupa arus eksitasi yang dialirkan menuju kumparan medan yang terdapat pada rotor di generator. Arus eksitasi yang mengalir pada kumparan medan ini akan menimbulkan adanya fluks magnet. Sistem eksitasi pada PLTU unit 1 dan 2 di PT PJB UP Gresik menggunakan sistem eksitasi statis. Tipe eksitasi ini menggunakan media sikat arang (*carbon brush*) untuk menghantarkan arus eksitasi, sistem eksitasi statis memanfaatkan keluaran dari generator yang ada. Masalah yang dapat terjadi pada sistem eksitasi ini ialah gangguan berupa *under excitation* atau *over excitation* yang dapat merusak generator ataupun perangkat lain, sehingga sistem eksitasi harus selalu diperhatikan dengan baik agar gangguan tersebut dapat dicegah. Kerusakan generator dapat dicegah atau dihindari dengan cara memahami karakteristik sistem eksitasi yang meliputi arus eksitasi, arus jangkar, tegangan generator dan pembebanan. Berubah-ubahnya nilai pembebanan sangat berpengaruh terhadap nilai dari arus eksitasi yang diinjeksikan, karena penginjeksian arus eksitasi ini berfungsi untuk menjaga kestabilan dari tegangan terminal generator agar tetap pada kondisi nominalnya.

**Kata Kunci :** Generator Sinkron, Sistem Eksitasi, Arus Eksitasi, Eksitasi Statis, *Over Excitation*, *Under Excitation*.

## ABSTRACT

*Generator or also called the alternator is the main tool in the power plant system because it serves to convert mechanical energy into electrical energy. In the process of generating electrical energy there is an important process called excitation system. Excitation system is a process of reinforcement in the form of excitation currents flowing to the field coil found on the rotor in the generator. Excitation currents flowing on this field coil, generate magnetic flux. The excitation system of PLTU units 1 and 2 at PT PJB UP Gresik uses a static excitation system. This excitation type uses a carbon brush to deliver excitation current, static excitation systems take advantage of the output of the generator. Problems that can occur in this excitation system is a disruption of under excitation or over excitation that can damage generators or other devices, in addition, the excitation system should always be properly considered so that the disorder can be prevented. Damage generators can be prevented or avoided by understanding the characteristics of excitation systems which include excitation currents, anchor currents, generator voltages and loading. Changes in the value of the load greatly affect the value of the injected excitation current, because the injection of this excitation current serves to maintain the stability of the generator terminal voltage to remain in nominal conditions.*

**Keywords :** Synchronous Generator, Excitation System, Excitation Flow, Static Excitation, Over Excitation, Under Excitation.

## I. PENDAHULUAN

Generator merupakan peralatan yang berfungsi mengubah atau mengonversi energi mekanik menjadi energi listrik. Perubahan energi tersebut terjadi karena terdapat perubahan medan magnet pada kumparan jangkar, dimana pada kumparan jangkar tersebut merupakan tempat terbangkitnya tegangan.

Kumparan medan yang terdapat pada rotor generator sinkron diberi penguatan, disinilah sistem eksitasi tersebut. Eksitasi pada generator sinkron merupakan pemberian arus searah (DC) pada kumparan medan yang ada pada rotor, dengan diberikannya arus searah yang mengalir pada kumparan medan maka akan menimbulkan fluks magnetik.

Gangguan pada generator biasanya meliputi gangguan pada stator, sistem penguat (rotor), back up instalasi diluar generator dan mesin penggerak. Jika generator menyuplai daya reaktif, maka akan bersifat kapasitif dan jika yang terjadi ialah over excitation atau arus eksitasinya berlebihan maka akan menimbulkan panas yang berlebih pada kumparan rotornya. Jika generator itu menyerap daya reaktif maka sifat dari generator itu menjadi induktif, namun jika kondisi eksitasinya kurang atau under excitation maka akan menyebabkan panas yang berlebih pada kumparan statornya.

Berdasarkan permasalahan yang tersebut diatas maka penulis tertarik untuk mengkaji sistem eksitasi serta karakteristik generator sinkron yang ada pada PLTU unit 1 dan 2 di PT PJB UP Gresik. Dengan mengetahui sistem eksitasi dan karakteristiknya, maka dimungkinkan untuk menghindari kerusakan pada generator akibat dari eksitasi yang berlebihan atau kekurangan.

## II. DASAR TEORI

### 2.1 Pengertian Generator

Konversi energi elektromagnetik merupakan perubahan energi mekanik ke bentuk energi listrik dan dari energi listrik ke bentuk energi mekanik. Generator sinkron atau disebut juga alternator adalah mesin listrik arus bolak-balik yang menghasilkan tegangan dan arus bolak-balik yang yang bekerja dengan cara mengubah energi mekanik menjadi ebergi listrik dengan adanya induksi medan magnet. Putaran rotor yang digerakkan oleh penggerak mula akan menghasilkan energi mekanik, sedangkan energi listrik diperoleh dari proses induksi elektromagnetik yang terjadi pada kumparan rotor dan statornya.

Makna sinkron dalam pengertian generator sinkron ialah bahwa frekuensi listrik yang dihasilkan sinkron dengan putaran mekanik generator tersebut. Kecepatan yang sinkron ini dihasilkan dengan kecepatan yang sama

dengan medan putar pada stator. Kumparan medan magnet generator sinkron terdapat di rotornya sedangkan kumparan jangkar terletak pada rotornya. Rotor pada generator sinkron yang terdiri dari belitan medan dengan suplai arus searah akan menghasilkan medan magnet yang diputar dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan putar rotor. Hubungan antara medan magnet dengan frekuensi listrik pada stator ditunjukkan oleh persamaan berikut ini:

$$f = \frac{n \cdot p}{120} \dots \dots \dots (2.1)$$

### 2.2 Sistem Eksitasi Generator Sinkron

Sistem eksitasi merupakan sistem penguatan yang terdapat pada generator. Sistem penguatan tersebut dilakukan dengan cara memberi pasokan listrik arus searah (DC) pada generator agar terjadi penguatan pada medan magnet sehingga generator dapat menghasilkan energi listrik.

Arus eksitasi sendiri ialah suatu arus yang dialirkan pada kutub magnetik, dengan mengatur besar kecil dari nilai arus eksitasi tersebut maka dapat memperoleh nilai tegangan output generator yang diinginkan serta daya reaktifnya (Basofi, 2014).

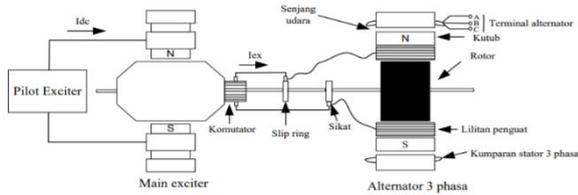
Sistem ini merupakan hal yang sangat vital pada proses pembangkitan energi listrik dan perkembangannya, sistem eksitasi itu sendiri dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu sistem eksitasi dengan menggunakan sikat (brush excitation) dan eksitasi tanpa sikat (brushless excitation).

#### 1. Sistem eksitasi dengan sikat (brush excitation)

Sistem eksitasi dengan menggunakan sikat ini dibedakan menjadi dua tipe yaitu tipe eksitasi dinamik dan tipe eksitasi statis.

##### a. Sistem eksitasi dinamik

Sistem eksitasi dinamik merupakan sistem eksitasi yang arus eksitasinya disuplai oleh mesin eksiter (mesin penggerak). Pada sistem eksitasi ini dapat menggunakan generator DC ataupun generator AC tetapi terlebih dahulu disearahkan oleh rectifier karena arus yang digunakan pada sistem eksitasi merupakan arus searah. Arus tersebut akan disalurkan ke slipring kemudian disalurkan ke medan penguat generator kedua. Gambar sistem eksitasi dinamik dapat dilihat pada Gambar 2.13.

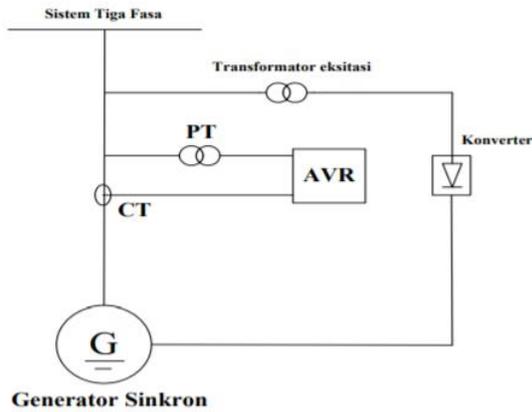


Gambar 2.13 Sistem Eksitasi Dinamik (Basofi, 2014)

b. Sistem eksitasi statis

Sistem eksitasi statis ini juga disebut sebagai self excitation karena sistem eksitasi ini disuplai dari generator sinkron itu sendiri tetapi perlu disearahkan oleh rectifier terlebih dahulu.

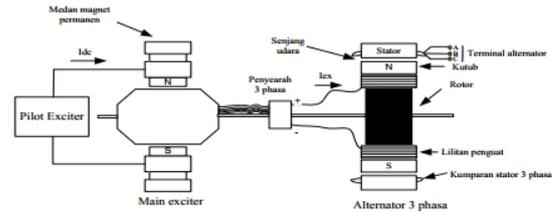
Pada rotor terdapat sedikit medan magnet yang tersisa dan akan menimbulkan tegangan pada stator. Tegangan tersebut selanjutnya akan dimasukkan kembali ke rotor dimana sebelumnya telah disearahkan oleh rectifier, akibatnya medan magnet yang dihasilkan semakin besar dan membuat tegangan terminal yang ada ikut naik. Gambar 2.14 merupakan gambar dari sistem eksitasi statis.



Gambar 2.14 Sistem Eksitasi Statis (Irnan, 2012)

2. Sistem eksitasi tanpa sikat (brushless excitation)

Sistem eksitasi ini mengutamakan kinerja dari pilot exciter serta sistem yang akan menyalurkan arus eksitasi pada generator utama. Pilot exciter terdiri dari generator arus bolak-balik yang memiliki kumparan tiga fasa pada stator serta medan magnet yang terpasang pada poros rotor. Diagram prinsip kerja pada eksitasi system tanpa brush ditunjukkan pada Gambar 2.15 di bawah ini.



Gambar 2.15 Sistem eksitasi tanpa brush (Ridzki, 2013)

2.3 Efek Pengaturan Eksitasi pada Generator Sinkron

Sistem eksitasi yang diubah-ubah maka akan mempengaruhi nilai dari fluks magnetic ( $\phi$ ) seiring dengan naiknya nilai dari arus eksitasi tersebut. Hal ini diperjelas dalam persamaan berikut :

$$E = Cn\phi \dots \dots \dots (2.2)$$

Arus eksitasi yang diatur pada generator yang bekerja secara paralel dimana kondisi dari putaran ( $n$ ) tetap maka nilai dari fluks magnetik akan naik serta daya reaktif yang dibutuhkan juga akan mengalami kenaikan namun nilai dari daya aktif yang tidak akan berubah sehingga akan mempengaruhi nilai dari factor daya.

Generator yang bekerja paralel (G1 dan G2) akan memasok masing-masing setengah beban dari daya reaktif, jadi tiap generator akan memasok arus sebesar nilai  $I$  jadi arus yang harus dipasok pada sistem generator yang bekerja secara paralel adalah senilai  $2I$ .

Pada generator yang bekerja paralel dan salah satu penguatan generator dinaikkan (misalnya G1), maka akan terjadi kenaikan nilai dari tegangan induksi generator 1 ( $E_1$ ) yang membuat  $E_1 > E_2$  hal ini akan mengakibatkan adanya arus sirkulasi ( $I_s$ ).

III. METODOLOGI PENELITIAN

1. Studi Pendahuluan

Studi Pendahuluan merupakan tahap pertama dalam menyusun karya tulis atau tugas akhir. Pada tahap ini dilakukan pengamatan secara langsung mengenai kondisi lapangan. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai kondisi di lapangan dan situasi lokasi penelitian. Dalam hal ini lokasi yang dipilih adalah PT.PJB UP Gresik.

2. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Setelah dilakukannya tahap pertama yakni studi pendahuluan, maka penulis dapat mengidentifikasi masalah atau menentukan masalah yang akan dibahas

pada tugas akhir ini. Kemudian penyebab dari masalah tersebut dapat ditelusuri lebih lanjut secara langsung dengan metode pengamatan dan juga wawancara atau bertanya secara langsung kepada pekerja, pembimbing lapangan, dan pengawas pada lokasi penelitian

### 3. Studi Pustaka

Setelah dilakukannya identifikasi dan perumusan masalah maka akan dilanjutkan dengan studi pustaka yang merupakan tahap penulis untuk mencari dan mempelajari tentang teori-teori yang relevan dengan pokok bahasan sehingga didapatkan acuan dari penyelesaian masalah dalam penelitian dan penulisan tugas akhir ini. Tahap studi pustaka ini dilakukan dengan cara mencari informasi tentang tinjauan pustaka serta dasar teori yang berasal dari berbagai buku, jurnal, ebook ataupun sumber dari internet.

### 4. Pengamatan Sistem Kerja Eksitasi Generator Sinkron

Pada tahap ini dilakukan pengamatan terhadap sistem kerja eksitasi yang bertujuan untuk mengetahui tentang bagaimana sistem kerja dari eksitasi generator sinkron PLTU Unit 1 dan 2 pada PT. PJB UP Gresik serta mengetahui parameter yang akan digunakan untuk proses penelitian. Pengambilan dan pengumpulan data akan lebih maksimal

### 5. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan cara melakukan pengamatan secara langsung di lapangan dan melakukan proses perekaman data baik dengan cara menulis pada buku atau gawai serta mengambil gambar komponen-komponen yang diperlukan. Selain itu juga dilakukan proses wawancara kepada teknisi, pembimbing dan supervisor yang berhubungan dengan pokok bahasan yang diangkat.

### 6. Pengolahan Data

Pengolahan data dapat dilakukan setelah semua data yang dibutuhkan telah terkumpul. Selanjutnya data yang terkumpul tersebut diklasifikasikan sesuai dengan kebutuhan analisis permasalahan. Pada proses ini, dilakukan pengelompokan data arus dan tegangan eksitasi, daya aktif dan daya reaktif dari generator, dan data-data lainnya sesuai kebutuhan. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan Microsoft excel 2013

untuk melihat hubungan antara parameter-parameter yang telah ditentukan. Dan kemudian data yang diolah tersebut akan disajikan dalam bentuk grafik hubungan.

### 7. Analisis Data

Setelah dilakukan pengolahan data maka akan didapatkan grafik hubungan antara parameter yang telah ditentukan antara lain; hubungan antara arus eksitasi, tegangan eksitasi, dan pembebanan pada generator sinkron, sehingga dapat dilihat hubungan antara parameter yang diamati, maka dapat diambil kesimpulan kemudian dapat diambil langkah apabila terdapat masalah terkait penelitian ini terjadi pada pembangkit listrik.

### 8. Hasil dan Kesimpulan

Setelah melakukan pengolahan data serta analisisnya, maka dapat diambil kesimpulan dari grafik tersebut. Kemudian setelahnya dapat dilakukan tindakan yang harus dilakukan bila ditemukan masalah di lapangan mengenai masalah pada topik yang diangkat dalam pembahasan ini.

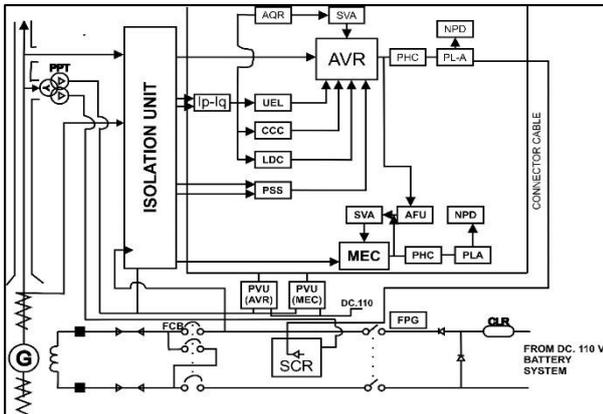
## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Prinsip Kerja Sistem Eksitasi Generator Sinkron pada PLTU Unit 1 dan 2 di PT PJB UP Gresik

Sistem eksitasi pada PLTU unit 1 dan 2 di PT PJB UP Gresik merupakan sistem eksitasi statis atau sistem self excitation, diebut 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

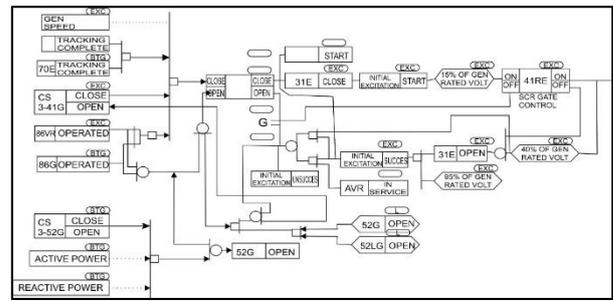
Regulator) bekerja dan akan menaikkan tegangan nominal yang ada hingga mencapai nilai sebesar 13,2 KV. Skema dari sistem eksitasi generator sinkron pada PLTU unit 1 dan unit 2 di PT PJB UP Gresik ditunjukkan pada Gambar 4.1.



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)

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

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

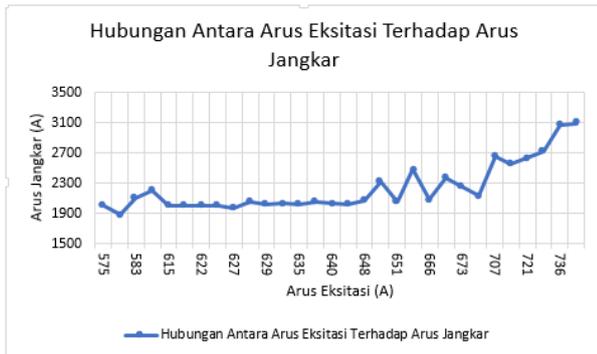
Tabel 4.12 Data Operasi Harian PLTU Unit 1 dan 2 di PT PJB UP Gresik

Waktu Penelitian	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	2005	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
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.

### 4.3 Analisis Hubungan Antara Arus Eksitasi Terhadap Arus Jangkar



Pada Grafik 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 ( $I_a$ ).

### 4.4 Analisis Pengaruh Fluktuasi Tegangan pada Generator Sinkron

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:

$$\begin{aligned} Z_{base} &= \frac{V_{base} / \sqrt{3}}{I_{base}} \dots \dots \dots (4.3) \\ &= \frac{13200 / \sqrt{3}}{5468} = 1.4 \\ X_s \text{ (dalam Ohm)} &= 1.5 \times 1.4 \\ &= 2.1 \Omega \end{aligned}$$

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

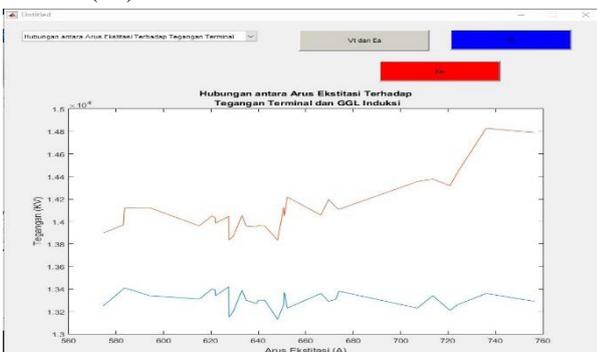
- Data hari ke-1 :  $V_t = 13.25 \text{ KV} = 13250 \text{ V}$   
 $I_a = 1996.52 \text{ A}$   
Maka diperoleh nilai:  $E_a = 13250 + (jI_a X_s)$   
 $= 13250 + (j1996.52 \times 2.1 \Omega)$   
 $= 13897,52 < 17,56^\circ$   
 $= 13.89 \text{ KV}$

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 di bawah ini 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)	Ea (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
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 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).

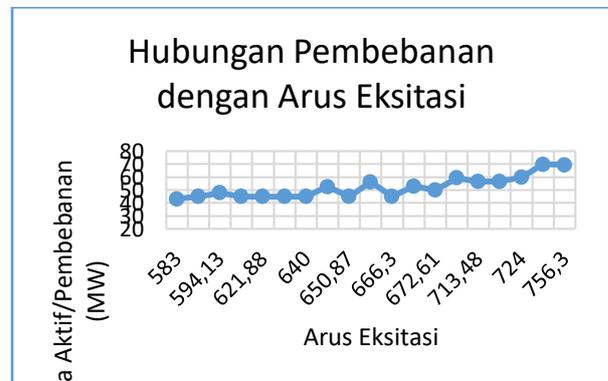


Dari gambar tersebut dapat diamati tentang pengaruh dari arus eksitasi (If) terhadap GGL induksi (Ea) serta tegangan terminal (Vt) pada generator sinkron PLTU unit 1 dan 2 di PJB UP Gresik. Grafik tersebut menunjukkan bahwa terjadi kecenderungan peningkatan nilai dari GGL induksi (Ea) apabila nilai arus eksitasi

yang diinjeksikan semakin besar. Hal yang sama juga terjadi pada nilai tegangan terminal (Vt) dimana nilainya juga cenderung mengalami peningkatan seiring kenaikan nilai arus eksitasi (If) yang diinjeksikan ke generator sinkron.

Pada tampilan grafik tersebut juga terlihat adanya kondisi nilai tegangan terminal (Vt) yang fluktuatif, dimana nilai tegangan terminal yang tiba-tiba turun sedangkan nilai arus eksitasi (If) naik. Adanya perubahan pada nilai pembebanan yang dialami merupakan sebab dari terjadinya fluktuasi tersebut. Untuk membangkitkan tegangan terminal (Vt) 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 (If) yang diinjeksikan ke generator sinkron menjadi cara yang sering dilakukan karena kondisi yang ada kecepatan putar rotor harus dijaga konstan.

#### 4.5 Analisis Hubungan Pembebanan Terhadap Nilai Arus Eksitasi

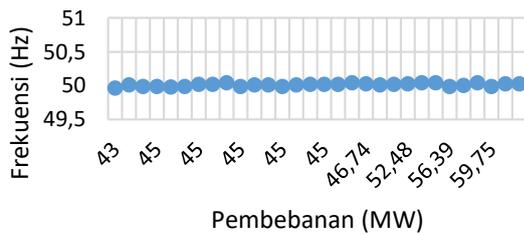


Grafik pada gambar di atas menunjukkan bahwa penambahan arus eksitasi mengikut kenaikan pada pembebanan yang ada, artinya apabila semakin besar nilai dari pembebanan yang ada pada PLTU unit 1 dan 2 di PT PJB UP Gresik maka nilai dari arus eksitasi yang diinjeksikan pada generator sinkron yang ada juga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

### Hubungan Pembebanan (MW) terhadap Frekuensi (Hz)



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:

$$V = E - jX_{ar}I_a - jX_{la}I_a - r_aI_a$$

$$V = E - jX_sI_a - r_aI_a$$

$$E = Cn\phi$$

$$P = V_{eff} \times I_{eff} \times \cos\theta$$

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 ( $\phi$ ) 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.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem eksitasi pada PLTU unit 1 dan 2 di PT PJB UP Gresik merupakan sistem eksitasi statis. Sistem eksitasi tersebut merupakan sistem eksitasi yang memanfaatkan tegangan keluaran generator sinkron itu sendiri yang terlebih dahulu diturunkan tegangannya

serta disearahkan sebelum diinjeksikan ke kumparan medan generator pada rotor generator sinkron, sehingga tidak memerlukan generator tambahan untuk menyuplai sistem eksitasinya.

2. Arus eksitasi ( $I_f$ ) berpengaruh pada nilai dari arus jangkar ( $I_a$ ) yang ada pada generator sinkron di PLTU unit 1 dan 2. Pengaruh tersebut ialah saat kondisi tegangan terminal menurun maka arus eksitasi ( $I_f$ ) yang diinjeksikan akan meningkat. Kenaikan nilai dari arus eksitasi ( $I_f$ ) ini akan menyebabkan nilai dari arus jangkar ( $I_a$ ) juga akan meningkat, sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai arus eksitasi ( $I_f$ ) berbanding lurus dengan nilai arus jangkar ( $I_a$ ).

3. Analisis yang telah dilakukan menyatakan bahwa nilai arus eksitasi ( $I_f$ ) memengaruhi nilai fluktuasi tegangan keluaran pada generator sinkron pada PLTU unit 1 dan 2 di PT PJB UP Gresik. Hal ini dikarenakan dimana dalam kondisi tegangan dari generator mengalami penurunan maka arus eksitasi ( $I_f$ ) yang diinjeksikan akan meningkat dan membuat nilai dari ggl induksi ikut meningkat. Sehingga disimpulkan bahwa nilai arus eksitasi ( $I_f$ ) sebanding dengan nilai ggl induksi ( $E_a$ ) serta tegangan keluaran generator ( $V_t$ ).

4. Perubahan kebutuhan listrik dari konsumen seiring waktu mengakibatkan perubahan pembebanan yang ada pada PLTU unit 1 dan 2 di PT PJB UP Gresik yang menyesuaikan pada kebutuhan jaringan dan konsumen. Perubahan dari pembebanan ini yang mengakibatkan adanya fluktuasi pada grafik penelitian. Pembebanan yang ada dapat memengaruhi nilai arus eksitasi ( $I_f$ ), hal tersebut dikarenakan saat kondisi beban naik maka tegangan terminal pada generator sinkron akan menurun yang mengakibatkan nilai arus eksitasi yang diinjeksikan meningkat, dan sebaliknya yaitu saat pembebanan mengalami penurunan maka suplai arus eksitasi juga akan menurun. Penginjeksian arus eksitasi ini bertujuan untuk menjaga kestabilan tegangan terminal generator sinkron yang ada.

5. Tegangan terminal dari generator sinkron pada PLTU unit 1 dan 2 tidak mengalami kenaikan atau penurunan yang drastis, karena bersifat konstan atau mendekati tegangan nominal yang ada yaitu 13,2 KV. Tegangan terminal yang tercatat lebih tepatnya berada pada kisaran 13,13 KV hingga 13,42 KV

6. Sistem eksitasi pada PLTU unit 1 dan 2 di PT PJB UP Gresik dapat dikatakan dalam kondisi yang baik karena sistem eksitasi tersebut berhasil menjaga kestabilan dari tegangan terminal generator sinkron yaitu stabil pada kisaran nilai 13,2 KV.

### 5.2 Saran

Berdasarkan pada penelitian dan analisis yang telah dilakukan tentang karakteristik sistem eksitasi generator sinkron pada PLTU unit 1 dan 2 di PT PJB UP Gresik,

terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan, yaitu sebagai berikut:

1. Pemeliharaan atau maintenance pada AVR (Automatic Voltage Regulator) harus diperhatikan dan lebih ditingkatkan karena AVR dapat dikatakan sebagai pengendali sistem eksitasi dimana perannya sangat penting untuk menjaga kestabilan tegangan terminal generator sinkron.
2. Komponen AVR yang harus dilakukan pengecekan rutin meliputi limiter yang ada karena diharapkan jika terjadi gangguan ringan, berbagai limiter inilah yang harus bekerja terlebih dahulu, jadi alat proteksi utama hanya akan bekerja saat terjadi gangguan yang lebih besar.
3. Penggunaan MEC (Manual Excitation Control) harus dengan teliti karena dengan kondisi AVR yang sedang dimaintenance maka sistem eksitasi dilakukan oleh MEC secara manual.
4. Pihak operasi harian pada PLTU unit 1 dan 2 harus selalu mencatat serta memerhatikan segala yang berhubungan dengan sistem eksitasi ini, karena dalam pembangkitan energi listrik, sistem eksitasi merupakan salah satu komponen yang sangat penting.
5. Melihat pentingnya kelangsungan sistem eksitasi untuk menjaga tegangan terminal agar tetap dapat berjalan sesuai sinkronisasi, maka penelitian tentang sistem eksitasi agar lebih diperbanyak dengan membahas tipe sistem eksitasi yang lain. Hal itu juga sangat bermanfaat untuk menambah pengetahuan di dunia pendidikan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Armansyah, Sudaryanto, 2016. *Pengaruh Penguatan Medan Generator Sinkron Terhadap Tegangan Terminal*. Journal of Electrical Technology. Medan: UISU
- Bandri, Sepannur, 2013. *Analisa Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Karakteristik Generator Sinkron*, Jurnal Teknik Elektro Volume 2, No. 1, Padang: Institut Teknologi Padang
- Basofi, Syamsul Amien. 2014. *Studi Pengaruh Arus Eksitasi Pada Generator Sinkron Yang Bekerja Paralel Terhadap Perubahan Faktor Daya*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Cahyo, Dwi dan Robandi, Imam, 2007. *Optimisasi Parameter Sistem Eksitasi IEEE Type ST2 Menggunakan Genetic Algorithm*. Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Cahyono, Budi, 2013. *Penggunaan Software Matrix Laboratory (MATLAB) dalam Pembelajaran Aljabar Linier*. Jurnal Phenomenon. Semarang: UIN Walisongo
- Elfizon, 2015. *Analisis Pengaruh Perubahan Arus Eksitasi Terhadap Arus Jangkar Dan Faktor Daya Motor Sinkron Tiga Fasa*. JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional)
- Jerkovic, dkk. 2010. *Excitation System Models Of Synchronous Generator*. Osijek: University of Osijek
- Kurniawan, Aditia, 2015. *Analisa Pengaruh Arus Eksitasi Generator Terhadap Pembebanan Pada PLTA Cirata Unit 2*. Bandung: Politeknik Negeri Bandung
- Laksono, Heru dan Febrianda, Adry, 2015. *Analisa Performasi Tanggapan Tegangan Sistem Eksitasi Generator Terhadap Perubahan Parameter*, Jurnal Nasional Teknik Elektro. Padang: Universitas Andalas
- Prajapati, Manish, Jigar Patel, Hina Chandwani, and Vinod Patel, 2000s. *Digital Excitation System for Synchronous Generator*. Journal of Electrical Engineering.
- Ridzki, Imron. 2013. *Analisis Pengaruh Perubahan Eksitasi Terhadap Daya Reaktif Generator*. Malang: Politeknik Negeri Malang
- Syahputra, Rudi, 2012, *Pengaruh Perubahan Arus Eksitasi terhadap Tegangan Keluaran Generator Sinkron*, Jurnal Teknologi, Vol. 12, No. 2, Oktober 2012: 85-88, Medan: Politeknik Negeri Lhokseumawe
- Terimanda, Nasrun Hariyanto, Syahril. 2016. *Studi Pengaturan Arus Eksitasi untuk Mengatur Tegangan Keluaran Generator di PT Indonesia Power UBP Kamojang Unit 2*. Bandung: Institut Teknologi Nasional Bandung.
- Zaleskis, Genadijs dkk, 2013. *Self-Excitation System for Synchronous Generator*. Electrical, Control and Communication Engineering. Latvia: Riga Technical University