



PERANAN AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR SEBAGAI PENGENDALI TEGANGAN GENERATOR SINKRON

Alimin Nurdin¹⁾, Abdul Azis²⁾ Reri Aresta Rozal³⁾

Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas PGRI Palembang

Email : aliminnurdin@univpgri-Palembang.@ac.id

ABSTRAK Generator sinkron merupakan mesin-mesin listrik yang berfungsi untuk mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik. Generator sinkron mempunyai permasalahan yaitu ketidakstabilan tegangan pada saat perubahan beban, sehingga dibuthkan peralatan yang dapat mengendalikan kestabilan tegangan generator sinkron yaitu *Automatic Voltage Regulator* (AVR). *Automatic Voltage Regulator* (AVR) merupakan sebuah divais pengatur tegangan yang digunakan pada generator sinkron untuk menyetabilkan tegangan keluaran yang dihasilkan dari generator sinkron. *Automatic Voltage Regulator* (AVR) bekerja dengan mengatur arus penguatan (*excitacy*) pada eksiter, apabila beban bertambah maka *Automatic Voltage Regulator* (AVR) akan memerintahkan eksiter untuk berkerja dengan menambah arus eksitasi sebaliknya apabila beban berkurang maka *Automatic Voltage Regulator* (AVR) akan memerintahkan eksiter untuk mengurangi arus eksitasi.

Kata kunci: *Generator sinkron, AVR, Eksiter, Eksitasi*

ABSTRACT *Synchronous generators are electrical machines that function to convert mechanical energy into electrical energy. Synchronous generators have problems that are voltage instability when the load changes, so it requires equipment that can control the stability of the synchronous generator voltage, namely Automatic Voltage Regulator (AVR). Automatic Voltage Regulator (AVR) is a voltage regulating device used in synchronous generators to stabilize the output voltage generated from a synchronous generator. Automatic Voltage Regulator (AVR) works by regulating the excitacy of the exciter, if the load increases then the Automatic Voltage Regulator (AVR) will command the exciter to work by increasing the reverse excitation current if the load decreases then the Automatic Voltage Regulator (AVR) will command the exciter to reduce excitation flow.*

Keywords: *Synchronous generator, AVR, Exciter*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pembangkit tenaga listrik terdiri dari peralatan utama salah satunya adalah generator sinkron [6]. Generator sinkron memegang peranan penting dalam pembangkitan energi listrik ukuran besar. Sebagian besar energi listrik yang dipergunakan oleh konsumen untuk kebutuhan sehari-hari dihasilkan oleh generator fasa banyak (*polyphase*) yang ada di pusat pembangkit. Secara umum prinsip kerja generator sinkron adalah apabila berputarnya rotor yang diputar oleh penggerak mula (*prime mover*) dan stator yang dieksitasi pada kecepatan sama [8].

Generator sinkron mempunyai permasalahan yaitu ketidakstabilan tegangan. Ketidakstabilan tegangan pada generator sinkron akan menyebabkan ketidakstabilan sistem secara keseluruhan terutama kualitas sistem, kualitas dan kemampuan transfer daya dari pembangkit ke konsumen, kondisi terparah terjadinya mekanisme pelepasan bebandengan demikian maka diperlukan peralatan yang dapat mengendalikan kestabilan tegangan generator sinkron yaitu *Automatic Voltage Regulator* (AVR) [1].

Automatic Voltage Regulator (AVR) adalah sebuah divais pengatur tegangan yang digunakan pada generator sinkron untuk menyetabilkan tegangan keluaran yang dihasilkan dari generator sinkron. AVR memegang peranan penting dalam pembentukan tegangan terminal generator sinkron dalam suatu pembangkit.

Adanya perubahan-perubahan beban akan menyebabkan tegangan *output* terminal generator berubah-ubah sehingga dibutuhkan alat penyetabil tegangan (AVR) dengan melihat nilai arus eksitasi pada penguat tegangan (eksiter). Persentase tegangan jatuh (drop tegangan) yang terjadi antara tegangan yang dibangkitkan generator terhadap tegangan *ouput* generator dapat dilihat dari nilai regulasi tegangan. peran dan penggunaan AVR sebagai pengendali tegangan generator sinkron Unit II Meidensha,

TINJAUAN PUSTAKA

Generator sinkron

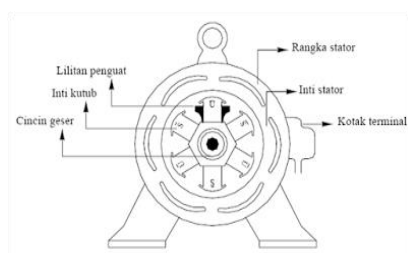
1. Definisi Generator Sinkron

Generator Sinkron atau disebut juga alternator merupakan mesin listrik yang digunakan untuk mengkonversi energi mekanis(energi gerak) menjadi energi listrik(*electric*) melalui proses induksi elektromagnetik [2]. Dikatakan generator sinkron karena jumlah putaran rotornya sama dengan jumlah putaran medan magnet pada stator.

Kecepatan sinkron ini dihasilkan dari kecepatan putar rotor dengan kutub-kutub magnet yang berputar dengan kecepatan yang sama dengan medan putar pada stator. Kumparan medan pada generator sinkron terletak pada rotornya sedangkan kumparan jangkarnya terletak pada stator [10].

2. Konstruksi Generator Sinkron

Generator sinkron mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik bolak-balik secara elektromagnetik. Energi mekanik berasal dari penggerak mula yang memutar rotor, sedangkan energi listrik dihasilkan dari proses induksi elektromagnetik yang terjadi pada kumparan-kumparan stator. Pada gambar 1 dapat dilihat bentuk sederhana dari sebuah generator sinkron.



Gambar 1. Bentuk generator sinkron

Secara umum generator sinkron terdiri atas stator, rotor, dan celah udara bagian yang berputar. Celah udara adalah ruang antara stator dan rotor. Pada bagian ini akan dibahas mengenai konstruksi generator sinkron secara garis besar. Bagian-bagian generator yang dibahas pada bagian ini antara lain Stator dan Rotor [4].

a. Stator

Stator (*armature*) adalah bagian yang berfungsi sebagai tempat untuk menerima induksi magnet dari rotor. Arus AC yang menuju ke beban disalurkan melalui stator. Komponen ini

berbentuk sebuah rangka silinder dengan lilitan kawat. Stator terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu:

- 1) Rangka stator
Rangka stator merupakan rumah kerangka yang menyangga inti jangkar generator
- 2) Inti Stator
Inti stator terbuat dari laminasi-laminasi baja campuran atau besi magnetik khusus terpasang ke rangka stator
- 3) Alur (*slot*) dan Gigi
Alur dan gigi merupakan tempat meletakkan kumparan stator. Ada 3 (tiga) bentuk alur stator yaitu terbuka, setengah terbuka, dan tertutup.
- 4) Kumparan Stator (Kumparan Jangkar)
Kumparan jangkar biasanya terbuat dari tembaga kumparan ini merupakan tempat timbulnya ggl induksi.

b. Rotor

Pada rotor generator terdapat kumparan jangkar yang berfungsi membangkitkan gaya gerak listrik yang disalurkan melalui komutator. Sumber listrik yang dihasilkan komutator dikeluarkan melalui sikat (*brush*). Rotor terdiri dari tiga komponen utama yaitu:

- 1) *Slip Ring*
Slip ring merupakan cincin logam yang melingkari poros rotor tetapi dipisahkan oleh isolasi tertentu. Terminal kumparan rotor dipasang ke *slip ring* ini kemudian dihubungkan ke sumber arus searah melalui sikat (*brush*) yang letaknya menempel pada *slip ring*.
- 2) Kumparan Rotor (Kumparan Medan)
Kumparan medan merupakan unsur yang memegang peranan utama dalam menghasilkan medan magnet. Kumparan ini mendapat arus searah dari sumber eksitasi tertentu
- 3) Poros Rotor
Poros rotor merupakan tempat meletakkan kumparan medan, dimana pada poros rotor tersebut telah dibentuk slot-slot secara paralel terhadap poros rotor.

3. Prinsip Kerja Generator Sinkron

Adapun prinsip kerja dari generator sinkron secara umum adalah [3]:

- a. Kumparan medan yang terdapat pada rotor dihubungkan dengan sumber eksitasi tertentu yang akan mensuplai arus searah terhadap kumparan medan. Dengan adanya arus searah yang mengalir melalui kumparan medan maka akan menimbulkan fluks yang besarnya terhadap waktu adalah tetap.
- b. Penggerak mula (*Prime Mover*) yang sudah terkopel dengan rotor segera dioperasikan sehingga rotor akan berputar pada kecepatan nominalnya.
- c. Perputaran rotor tersebut sekaligus akan memutar medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan. Medan putar yang dihasilkan pada rotor, akan diinduksikan pada kumparan jangkar sehingga pada kumparan jangkar yang terletak di stator akan dihasilkan fluks magnetik yang berubah-ubah besarnya terhadap waktu.

Adanya perubahan fluks magnetik yang melingkupi suatu kumparan akan menimbulkan ggl induksi pada ujung-ujung kumparan tersebut.

Untuk generator sinkron tiga fasa, digunakan tiga kumparan jangkar yang ditempatkan di stator yang disusun dalam bentuk tertentu, sehingga susunan kumparan jangkar yang sedemikian akan membangkitkan tegangan induksi pada ketiga kumparan jangkar yang besarnya sama tapi berbeda fasa 120° satu sama lain. Setelah itu ketiga terminal kumparan jangkar siap dioperasikan untuk menghasilkan energi listrik [4].

4. Generator Sinkron Tanpa Beban

Pada generator sinkron keadaan beroperasi tanpa beban mengandung arti bahwa arus generator $I_a = 0$. Dengan demikian besar tegangan terminal adalah [4]:

$$E_0 = N \frac{d\phi}{dt} \tag{1}$$

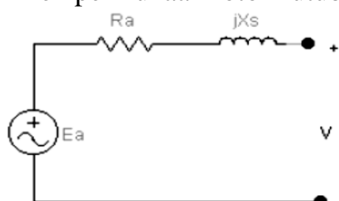
5. Generator Berbeban

Dengan adanya beban yang terpasang pada *output* generator sinkron, maka segera mengalir arus armatur I_a , dengan adanya arus armatur ini, pada kumparan armatur atau kumparan jangkar timbul flux putar jangkar. Flux putar jangkar ini bersifat mengurangi atau menambah flux putar yang dihasilkan oleh kumparan rotor. Hal ini tergantung pada faktor daya beban [4].

6. Rangkaian Ekuivalen Generator Sinkron

Tegangan induksi E_a dibangkitkan pada fasa generator sinkron. Tegangan ini biasanya tidak sama dengan tegangan yang muncul pada terminal generator. Tegangan induksi sama dengan tegangan *output*, hanya ketika tidak ada arus jangkar yang mengalir pada mesin. Beberapa faktor yang menyebabkan perbedaan antara tegangan induksi dengan tegangan terminal adalah [8]:

- a. Distorsimedanmagnet pada cela udara oleh mengalirnya arus pada stator, disebut reaksi jangkar.
- b. Induktansi sendiri kumpuran jangkar.
- c. Resistansi kumpuran jangkar.
- d. Efek permukaan rotor kutub sepatu.



Gambar 2. Rangkaian ekuivalen generator sinkron perphasa

Hubungan yang terjadi antara tegangan terminal dengan tegangan E_a adalah:

$$E_a = V + I \cdot R_a + jI \cdot X_s \tag{2}$$

Sehingga saat tanpa beban, besarnya $I = 0$, dan $E_a = V$

Automatic Voltage Regulator

1. Definisi Automatic Voltage Regulator (AVR)

Automatic Voltage Regulator (AVR) adalah sebuah divais pengatur tegangan yang digunakan pada generator sinkron untuk menyetabilkan tegangan keluaran yang dihasilkan.

2. Konstruksi *Automatic Voltage Regulator*(AVR)

Bagian AVR dibagi menjadi dua bagian utama yaitu [1]:

- a. Bagian penyearah(*rectifier*) yang berfungsi mengubah energi AC menjadi DC yang dibutuhkan oleh generator sinkron dalam proses eksitasi. Pada bagian ini yang lebih diutamakan adalah kontrol sinyal yang untuk menyalakan transistor.
- b. Bagian pengatur tegangan yang berfungsi sebagai pengontrol tegangan DC generator sinkron. *Voltage regulator* merupakan bagian terpenting dalam proses eksitasi pada generator sinkron. Pada bagian ini terdapat kontrol PI yang berfungsi untuk mengatur tegangan DC yang akan diinjeksikan pada medan generator sinkron. Masukan dari pengatur tegangan merupakan tegangan DC yang berasal dari penyearah serta tegangan referensi yang diinginkan dengan kontrol PI yang digunakan maka didapat keluaran berupa tegangan eksitasi yang menjadi masukan generator sinkron.

3. Fungsi *Automatic Voltage Regulator* (AVR)

- a. Menjaga kestabilan tegangan *output* generator
- b. Mengatur pembagian daya semu rektif saat kerja paralel
- c. Memberikan pengaturan arus eksitasi dalam kondisi gangguan supaya tidak keluar dari sinkronisasi
- d. Menurunkan tegangan dengan cepat apabila generator terlepas dari beban yang akan mengakibatkan terjadinya *over voltage* [9].

4. Prinsip kerja *Automatic Voltage Regulator* (AVR)

Apabila tegangan output generator dibawah tegangan normal tegangan generator, maka AVR akan memperbesar arus pengutan (*excitacy*) pada exciter. Dengan demikian apabila terjadi perubahan tegangan output generator akan dapat distabilkan oleh AVR secara otomatis dikarenakan dilengkapi dengan peralatan seperti alat yang digunakan untuk pembatasan minimum ataupun maksimum yang bekerja secara otomatis. Tiga keadaan AVR, yaitu [9]:

- a. Jika tegangan output tinggi maka *error signal*(+) AVR akan memberikan perintah untuk mengurangi arus eksitasi
- b. Jika tegangan cocok dengan harga *set point* (0) maka AVR tidak akan memberikan perintah apapun
- c. Jika tegangan output rendah maka *error signal* akan (-) maka AVR akan memberi perintah agar menambahkan arus eksitasi [9].

Sistem eksitasi

Sistem eksitasi adalah sistem mengalirnya pasokan listrik arus searah sebagai penguatan pada generator listrik, sehingga menghasilkan tenaga listrik dan besar tegangan keluaran bergantung pada besarnya arus eksitasi. Kontrol sistem eksitasi menghasilkan tegangan emf generator. Oleh karena itu, kontrol tersebut tidak hanya untuk mengontrol *power* faktor, arus, dan perbaikan variabel lain. Sistem eksitasi pada generator listrik terdiri dari 2 macam, yaitu [9]:

1. Sistem eksitasi menggunakan sikat

Sistem eksitasi menggunakan sikat (*brush excitation*), sumber tenaga listrik berasal dari sumber listrik yang berasal dari generator arus searah (DC) atau generator arus bolak-balik (AC) yang disearahkan terlebih dahulu dengan menggunakan *rectifier*. Jika menggunakan sumber listrik yang berasal dari generator AC atau permanent Magnet

Generator (PMG) medanmagnetnya adalah magnet permanent. Dalam lemari penyearah tegangan listrik arus bolak-balik diubah atau di searahkan menjadi tegangan arus searah untuk mengontrol kumparan medan *exciter* utama (*main exciter*). Untuk mengalirkan arus eksitasi dari main eksiter kerotor generator menggunakan *slip ring* dan sikat arang, demikian juga penyaluran arus yang berasal dari *pilot exciter* ke *main exciter*.

2. Sistem eksitasi tanpa menggunakan sikat

Penggunaan sikat atau *slip ring* untuk menyalurkan arus eksitasi kerotor generator eksitasi tanpa menggunakan sikat (*brushless excitation*). Keuntungan sistem eksitasi tanpa menggunakan sikat, antara lain adalah:

- a. Energi yang diperlukan untuk eksitasi diperoleh dari poros utama (*main shaft*), sehingga keandalannya tinggi.
- b. Biaya perawatan berkurang karena pada sistem eksitasi tanpa sikat (*brushless excitation*) tidak terdapat sikat, komutator dan *slip ring*.

Pada sistem eksitasi tanpa sikat (*brushless excitation*) tidak terjadi kerusakan isolasi karena melekatnya debu karbon pada *farnish* akibat sikat arang. Mengurangi kerusakan (*trouble*) akibat udara buruk (*bad atmosphere*) sebab semua peralatan ditempatkan pada ruang tertutup. Selama operasi tidak diperlukan pengganti sikat, sehingga meningkatkan keandalan operasi dapat berlangsung kontinuu pada waktu yang lama. Pemutus medan generator (*generator field breaker*), field generator dan *bus exciter* atau kabel tidak diperlukan lagi. Biaya pondasi berkurang, sebab aluran udara dan *bus exciter* atau kabel tidak memerlukan pondasi.

Pengatur Tegangan Generator

Karena tegangan terminal generator AC banyak berubah dengan berubahnya beban, maka untuk operasi hampir semua peralatan listrik diperlukan usaha untuk menjaga agar tegangannya konstan. Cara yang biasa dilakukan untuk ini adalah menggunakan alat pembantu yang disebut pengatur tegangan (*voltage regulator*) untuk mengendalikan besarnya eksitasi medan DC yang dicatukan pada generator. Bila tegangan terminal generator turun karena perubahan beban, pengatur tegangan secara otomatis menaikkan pembangkitan medan sehingga tegangan kembali normal. Sama halnya bila tegangan terminal naik karena perubahan beban, pengatur mengembalikan nilai tegangan normalnya dengan mengurangi eksitasi medan.

Hampir semua pengatur tegangan mengendalikan eksitasi medan generator secara tak langsung yaitu dengan mengoperasikan rangkaian pegeksitasi medan. Arus yang harus ditangani oleh pengatur jauh lebih kecil dalam rangkaian medan pengeksitasi daripada dalam rangkaian medan generator. Salah satu tipe pengatur tegangan generator adalah jenis tahanan geser kerja langsung. Pada dasarnya pengatur ini terdiri dari tahanan variabel yang dikendalikan secara otomatis dalam rangkaian medan pengeksitasi. Elemen tahanan geser yang dihubungkan seri dengan pengeksitasi medan terdiri dari tumpukan blok tahanan atau *wafers* bukan logam, ditumpuk sehingga tahanan dari tumpukan dapat diubah jika dimiringkan kedepan atau kebelakang oleh elemen kopel. Prinsip kerja pengatur tegangan statik sama seperti jenis tahanan geser kerja langsung, yaitu tegangan generator ac diatur dengan mengubah tahanan efektif dalam rangkaian medan pengeksitasi, yang selanjutnya mengubah keluaran tegangan dari pengeksitasi tersebut.

METODE PENELITIAN

Menentukan Kecepatan Putaran Generator

Nilai kecepatan putaran generator dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [3]:

$$n = \frac{120 \cdot f}{p} \quad (3)$$

Menentukan Tahanan Generator Eksiter

Tahanan generator eksiter dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [3]:

$$R_f = \frac{V_f}{I_f} \quad (4)$$

Menentukan Tegangan Eksitasi Pada Eksiter Per Jam

Tegangan eksitasi pada eksiter per jam dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [2]:

$$E_f = n \cdot c \cdot \phi \quad (5)$$

Menentukan Arus Eksitasi Pada Eksiter Per Jam

Arus eksitasi pada eksiter per jam dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [2]:

$$I_f = \frac{E_f}{R_f} \quad (6)$$

Menentukan Tegangan Generator Tanpa Beban

Regulasi tegangan merupakan perubahan tegangan jepit atau tegangan terminal pada generator sinkron dalam keadaan tanpa beban dan beban penuh. Tegangan generator tanpa beban dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [2]:

$$E_0 = n \cdot c \cdot \phi \quad (7)$$

Menentukan Persentase Regulasi Tegangan

Persentase regulasi tegangan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [3]:

$$\Delta V (\%) = \left(\frac{E_0 - V}{V} \right) \cdot 100\% \quad (8)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

PLTGU Gunung Megang adalah perusahaan yang dimiliki oleh PT MEPPPO-GEN dan dioperasikan oleh PT Sumberdaya sewatama, yang beralamatkan di Jalan Lintas Palembang - Muara Enim, Desa Panang Jaya, Kecamatan Gunung Megang, Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan.

PLTGU Gunung Megang yang dimiliki oleh PT Meppo-Gen dioperasikan pada tahun 2007. Pengoperasi PLTGU Gunung Megang dilakukan langsung oleh karyawan PT Meppo-Gen. PLTGU Gunung Megang yang berkafasitas 110 MW pada awal beroperasinya PLTGU Gunung Megang memiliki kapasitas 80 MW yang terdiri dari 2 GTG (gas turbin generator).

Dengan bertambahnya kebutuhan masyarakat dalam bidang ketenaga listrik pada tahun 2014 PLTGU Gunung Megang menambah satu buah unit generator berdaya 30 MW (STG) dengan memanfaatkan gas buang dari dua Unit GTG dengan demikian maka bertambah juga kapasitas daya yang dihasilkan oleh PLTGU Gunung Megang menjadi 110 MW.

Tabel 1.Data Generator Utama

Merek	Meidensa Synchronous Generator
<i>Output</i>	63.000 kVA
Putaran	3.000 Rpm
Frekuensi	50 Hz
Tegangan 1 phasa	11.500 V
Tegangan 3 phasa	34.500 V
Tegangan eksitasi	321 V
<i>Phasa</i>	3
<i>Pule</i>	2
<i>Power faktor</i>	80%
<i>Field ampere</i>	529 A
<i>Date</i>	2005

Tabel 2. Data Beban Harian Generator Utama Dan Eksiter

Jam	Generator Utama					
	<i>f</i> (Hz)	<i>V</i> (kV)	<i>I</i> (kA)	<i>P</i> (MW)	<i>Q</i> (MVAR)	<i>Cos φ</i>
01:00	50,26	34,34	5,353	35,09	4,54	0,99
02:00	49,79	34,40	5,330	34,91	5,05	0,99
03:00	50,24	34,40	5,334	35,05	4,49	0,99
04:00	50,24	34,39	5,321	34,91	4,77	0,99
05:00	50,04	34,24	5,350	34,91	4,77	0,99
06:00	49,92	33,99	5,394	35,00	4,63	0,99
07:00	50,18	33,98	5,425	35,09	5,23	0,99
08:00	50,24	34,05	5,323	34,59	4,68	0,99
09:00	50,26	33,90	5,187	33,53	4,72	0,99
10:00	50,05	33,79	5,153	33,11	5,14	0,99
11:00	50,46	33,66	5,097	32,65	4,86	0,99
12:00	50,09	33,53	5,145	32,84	4,95	0,99
13:00	50,12	33,53	5,036	32,01	5,55	0,99
14:00	50,24	33,41	5,071	32,28	4,68	0,99
15:00	50,07	33,44	5,039	32,14	4,12	0,99
16:00	50,36	33,69	5,001	32,24	3,66	0,99
17:00	50,25	33,73	5,083	32,74	3,71	0,99
18:00	50,00	33,92	5,185	33,52	4,86	0,99
19:00	49,81	33,77	5,209	33,90	3,76	0,99
20:00	50,04	33,89	5,276	33,76	6,75	0,99
21:00	50,02	33,86	5,309	34,08	6,01	0,99
22:00	50,30	33,78	5,238	33,71	4,86	0,99
23:00	50,24	33,92	5,211	33,71	4,63	0,99
24:00	50,32	34,16	5,257	34,31	4,45	0,99

Tabel 3.Hasil PerhitunganKecepatanGenerator

Jam	<i>n</i>	Jam	<i>n</i>
01:00	3.016	13:00	3.007
02:00	2.987	14:00	3.014
03:00	3.014	15:00	3.004

04:00	3.014	16:00	3.022
05:00	3.002	17:00	3.015
06:00	2.995	18:00	3.000
07:00	3.011	19:00	2.989
08:00	3.014	20:00	3.002
09:00	3.016	21:00	3.001
10:00	3.003	22:00	3.018
11:00	3.028	23:00	3.014
12:00	3.005	24:00	3.019

nilai tahanan pada generator eksiter R_f 0,6068 Ω , $c\phi$ 0,107

Tabel 4. Hasil Perhitungan Tegangan Eksitasi Dan Arus Eksitasi Pada Eksiter

Jam	Generator eksiter		Jam	Generator eksiter	
	V(V)	I (A)		V(V)	I (A)
01:00	322,712	531,8216	13:00	321,749	530,2346
02:00	319,609	526,7079	14:00	322,498	531,4689
03:00	322,498	531,4689	15:00	321,428	529,7056
04:00	322,498	531,4689	16:00	323,354	532,8796
05:00	321,214	529,3529	17:00	322,605	531,6453
06:00	320,465	528,1186	18:00	321,000	529,0003
07:00	322,177	530,9399	19:00	319,823	527,0606
08:00	322,498	531,4689	20:00	321,214	529,3529
09:00	322,712	531,8216	21:00	321,107	529,1766
10:00	321,321	529,5293	22:00	322,926	532,1743
11:00	323,996	533,9376	23:00	322,498	531,4689
12:00	321,535	529,8819	24:00	323,033	532,3506

Perhitungan Persentase Regulasi Tegangan

Untuk mengetahui regulasi tegangan *output* generator selama 24 jam, nilai konstanta generator utama

$$K = \frac{E_0}{n \cdot I_f} = \frac{34.500}{(3.000) \cdot (529)} = 0,0217$$

Tabel 5. Hasil Perhitungan Tegangan Generator Tanpa Beban Dan Persentase Regulasi Tegangan

Jam	E_0 (V)	ΔV (%)	Jam	E_0 (V)	ΔV (%)
01:00	34.806,2346	1,36	13:00	34.598,8151	3,18
02:00	34.140,0910	-0,76	14:00	34.760,0856	4,04
03:00	34.760,0856	1,05	15:00	34.529,8130	3,26
04:00	34.760,0856	1,08	16:00	34.944,8587	3,73
05:00	34.483,8477	0,71	17:00	34.783,1510	3,12
06:00	34.323,2110	0,98	18:00	34.437,9110	1,53
07:00	34.690,9228	2,09	19:00	34.185,8357	1,23
08:00	34.760,0856	2,09	20:00	34.483,8477	1,75
09:00	34.806,2346	2,67	21:00	34.460,8798	1,78
10:00	34.506,8297	2,12	22:00	34.852,4142	3,18
11:00	35.083,7583	4,23	23:00	34.760,0856	2,48
12:00	34.552,8039	3,05	24:00	34.875,5122	2,10

Dari data perhitungan nilai arus eksitasi diatas dapat diketahui bahwa besarnya nilai arus eksitasi dipengaruhi oleh besarnya tegangan keluar generator, jumlah putaran generator dan beban generator. Semakin besar putaran generator semakin besar nilai tegangan dan arus eksitasi pada generator eksiter, seperti pada jam 02:00 dengan kecepatan putaran 2.987 Rpm, tegangan keluar 34,40 kV dan beban 34,91 MW dengan nilai arus eksitasi sebesar 526,7079 A sedangkan pada jam 11:00 dengan kecepatan putaran 3028 Rpm, tegangan keluar 33,66 kV dan beban 32.65 MW dengan nilai arus eksitasi 533,9376 A

Dari data perhitungan nilai persentase regulasi tegangan diatas dapat diketahui bahwa besarnya persentase regulasi tegangan dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya yaitu besarnya nilai arus eksitasi dan frekuensi generator. Semakin besar frekuensi generator maka semakin besar kecepatan generator. Semakin besar nilai kecepatan generator dan nilai arus eksitasi maka semakin besar tegangan generator tanpa beban selain itu persentase regulasi tegangan juga dipengaruhi oleh tegangan terminal. Apabila tegangan generator tanpa beban tinggi dan tegangan terminal kecil maka semakin besar nilai persentase regulasi tegangan sebaliknya apabila tegangan generator tanpa beban kecil dan tegangan terminal makin besar maka nilai persentasenya semakin kecil, seperti pada jam 02:00 dengan frekuensi 49,79 Hz, nilai arus eksitasi 526,7079, kecepatan putaran generator 2.987, tegangan generator tanpa beban 34.140,0910 V dan tegangan terminal generator 34.400 V dengan nilai persentase regulasi tegangan -0,76% sedangkan pada jam 11:00 dengan frekuensi 50,46 Hz, arus eksitasi 533,9376, kecepatan putaran generator 3.028 Rpm, tegangan generator tanpa beban 35.083,7583 V dan tegangan terminal generator 33.660 V dengan nilai persentase regulasi 4,23%

Nilai persentase regulasi tegangan tidak boleh melebihi batas nilai persentase regulasi tegangan $\pm 20\%$. Dengan melihat nilai terendah dan nilai tertinggi dari persentase regulasi tegangan generator Unit II Meidensha tersebut maka nilai regulasi tidak melebihi batas persentase regulasi tegangan generator yang di izinkan perusahaan. Dari nilai persentase regulasi tegangan tersebut maka berarti *automatic voltage regulator* (AVR) bekerja dengan baik dan *automatic voltage regulator* (AVR) berperan dalam pengendalian tegangan generator Unit II Meidensha.

Nilai arus eksitasi tertinggi terjadi pada jam 11:00 dengan kecepatan putaran 3.028 Rpm, tegangan keluar 33,66 kV dan beban 32,65 MW dengan nilai arus eksitasi 533,9376 A. Nilai arus eksitasi terendah 02:00 dengan kecepatan putaran 2.987 Rpm, tegangan keluar 34,40 kV dan beban 34,91 MW dengan nilai arus eksitasi sebesar 526,7079 A.

KESIMPULAN

1. Besarnya nilai arus eksitasi dipengaruhi oleh kecepatan putaran dan beban generator Unit II Meidensha.
2. Nilai toleransi persentase regulasi tegangan yang ditetapkan perusahaan adalah $\pm 20\%$, dengan melihat nilai persentase regulasi tegangan terendah dan tertinggi disimpulkan bahwa nilai persentase regulasi tegangan masih dalam keadaan normal dan tidak melebihi nilai toleransi yang ditetapkan perusahaan sehingga *Automatic Voltage Regulator* (AVR) bekerja dengan baik sebagai pengendalian tegangan generator Unit II Meidensha.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alam, Abd. Ashal., Syahrial, Nandang Taryana. 2015. *Pemodelan dan Simulasi Automatic Voltage Regulator untuk Generator Sinkron 3 kVA Berbasis Proportional Integral*. Jurnal Reka Elkomika, Vol.3, No.2, Juli 2015, hlm. 97-110, ISSN: 2337-439X.
- [2] Chapman, S.J. 1985. *Electric Machinery Fundamentals*. Singapore: McGraw-Hill, Inc.
- [3] Fitzgerald, A.E. et al. 1997. *Mesin-Mesin Listrik*. Jakarta: Erlangga.
- [4] Lister, Eugene C. 1998. *Mesin dan Rangkaian Listrik*, Edisi Keenam. Jakarta: Erlangga.
- [5] Marsudi, Djiteng. 2005. *Pembangkitan Energi Listrik*. Jakarta: Erlangga.
- [6] Meppo-gen. 2012. *Buku Paduan Operasi dan Pemeliharaan*. PT Meppo-Gen.
- [7] Meidensha Corporation. 2004. *Manual Book*. Tokyo: Meidensha Corporation.
- [8] Priyadi, Irnanda. 2012. *Analisis Pengaruh Eksitasi Terhadap Efek Harmonisa Pada Hubungan Belitan Generator Sinkron Dengan Behan LHE*. Jurnal Ilmiah Bidang Teknik Elektro dan Komputer AMPLIFIER, Volume 2 Nomor 1, Mei 2012, hlm. 40-44, ISSN: 2089-2020.
- [9] Robandi, Imam. 2009. *Modern Power System Control*. Yogyakarta: Andi Offset.
- [10] Simanjuntak, Basofi., Syamsul Amien. 2014. *Studi Pengaruh Arus Eksitasi Pada Generator Sinkron Yang Bekerja Paralel Terhadap Perubahan Faktor Daya*. Jurnal Singuda Ensikom Vol. 7, No. 1, April 2014, hlm. 8-15, ISSN: 2337-3237.