

Pengaruh Arus Eksitasi Terhadap Pembebanan Pada Generator Sinkron Unit 7 di ULPLTA TES LEBONG PT PLN (PERSERO)

Anggita Juliana¹, Yanolanda Suzantry H^{1*}, Irnanda P¹

¹Prodi. Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu

Jl. WR. Supratman, Kandang Limun, Bengkulu 38371

Email : yanolanda@unib.ac.id

ABSTRACT

The background of this research is the observation that changes in excitation cause voltage and the reactive power produced by the generator changes every time, while a power plant must be able to generate electric power according to the changing load size. In power generation, these loading fluctuations can be overcome by adjusting the water valve opening and the excitation current injected into the generator rotor at constant rotor rotation by the AVR so that electric power is generated according to the applied load. The purpose of this study is to analyze the effect of the load on the excitation current. The results obtained are the load has an effect on the excitation current.

Keywords: Generation, Excitation, Load.

ABSTRAK

Penelitian ini dilatarbelakangi dengan pengamatan adanya perubahan pada eksitasi menjadi penyebab tegangan dan daya reaktif yang dihasilkan generator setiap waktunya berubah ubah sementara suatu pembangkit tenaga listrik harus mampu untuk membangkitkan daya listrik sesuai dengan besarnya beban yang berubah-ubah tersebut. Pada pembangkitan tenaga listrik, fluktuasi pembebanan ini dapat diatasi dengan mengatur bukaan katup air dan arus eksitasi yang diinjeksikan pada rotor generator pada putaran rotor yang konstan oleh AVR sehingga dihasilkan daya listrik sesuai pembebanan yang diterapkan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisa pengaruh beban terhadap arus eksitasi. Adapun hasil yang didapatkan adalah beban berpengaruh terhadap arus eksitasi.

Kata kunci: Generator, Eksitasi, beban.

1. PENDAHULUAN

PLTA TES memiliki tujuh buah unit mesin pembangkit dengan kapasitas yang berbeda. Unit satu dan dua merupakan unit tertua berasal dari negara Belanda dengan kapasitas daya 2 X 600 kW. Pada unit

tiga sampai dengan enam merupakan unit pembangkit yang berasal dari negara Prancis dengan kapasitas daya 4 X 4400 kW. Sementara pada unit tujuh merupakan unit pembangkit yang berasal dari negara China dengan kapasitas daya 1 X 4400 kW. Saat ini daya yang terpasang dari keseluruhan unit pada PLTA TES yaitu sebesar 23,2 MW yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik di Provinsi Bengkulu melalui jaringan transmisi 70 Kv

Generator merupakan salah satu bagian dari sistem tenaga listrik yang digunakan untuk mengkonversi energi mekanik yang berasal dari putaran turbin menjadi energi listrik dengan memanfaatkan gaya gerak listrik [1]. Dalam proses pembangkitan gaya gerak listrik (GGL) selain putaran dari turbin, diperlukan arus penguat (eksitasi) yang berfungsi untuk menghasilkan medan magnet pada kumparan medan di rotor generator. Arus penguatan digunakan untuk mengatur besarnya tegangan keluaran sesuai pembebanan yang diterapkan. Adapun alat yang digunakan untuk mengatur arus eksitasi adalah Automatic Voltage Regulator (AVR). Pembebanan yang diberikan pada pembangkit setiap waktunya berubah-ubah. Oleh karenanya suatu pembangkit tenaga listrik harus mampu membangkitkan daya listrik sesuai dengan besarnya beban yang berubah-ubah tersebut. Pada pembangkitan tenaga listrik, fluktuasi pembebanan ini dapat diatasi dengan mengatur bukaan katup air dan arus eksitasi yang diinjeksikan pada rotor generator pada putaran rotor yang konstan oleh AVR sehingga dihasilkan daya listrik sesuai pembebanan yang diinginkan [2]. Dengan pentingnya fungsi sistem eksitasi pada suatu pembangkit tenaga listrik, maka dibuatlah penelitian ini, tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisa fungsi eksitasi pada pembangkit tenaga listrik, untuk mengetahui pengaruh arus eksitasi terhadap pembebanan dan kinerja sistem pada generator di PLTA TES.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Generator sinkron

Generator sinkron disebut sinkron atau serempak karena kecepatan perputaran medan magnet yang terjadi

sama dengan kecepatan perputaran rotor generator. Generator ini menghasilkan energi listrik bolak balik (AC) dan biasa diproduksi untuk menghasilkan listrik AC 1-fasa atau 3-fasa.

Adapun syarat yang harus dipenuhi dalam melakukan penyinkronan generator adalah:

1. Tegangan kedua generator harus sama.
2. Frekuensi sistem harus sama.
3. Mempunyai sudut fasa yang sama.

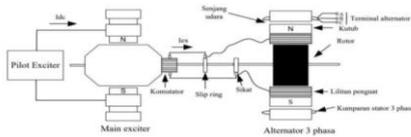
Mempunyai sudut fasa yang sama bisa diartikan, kedua fasa dari 2 Generator mempunyai sudut fasa yang berhimpit sama atau 0 derajat [4].

2.2 Sistem eksitasi

Sistem eksitasi atau biasa disebut sistem penguatan adalah suatu perangkat yang memberikan arus penguat (I_f) kepada kumparan medan generator AC yang dijalankan dengan cara membangkitkan medan magnetnya dengan bantuan arus searah. Dengan mengatur besar kecilnya arus listrik tersebut maka dapat mengatur besar tegangan output generator dan mengatur besar daya reaktif yang diinginkan pada generator yang sedang paralel dengan sistem jaringan besar (*Infinite bus*).

Sistem eksitasi dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu sistem eksitasi dengan menggunakan sikat dan sistem eksitasi tanpa sikat.

1. Sistem Eksitasi menggunakan sikat

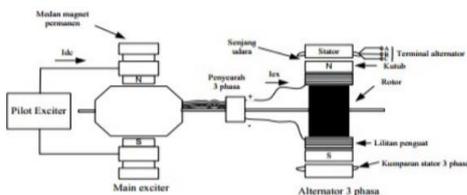


Sistem eksitasi dengan menggunakan sikat terdiri dari:

- a. Sistem Eksitasi Statis merupakan sistem eksitasi yang sumber eksitasinya berasal dari keluaran generator sinkron itu sendiri.

- b. Sistem Eksitasi Dinamik Sistem eksitasi generator tersebut disuplai dari eksiter yang merupakan mesin bergerak.

2. Sistem Eksitasi tanpa sikat



Sistem eksitasi tanpa sikat sama sekali tidak bergantung pada sumber listrik eksternal, melainkan

dengan menggunakan *pilot exciter* dan sistem penyaluran arus eksitasi ke rotor generator utama. Berikut merupakan spesifikasi sistem eksitasi generator unit 7 di PLTA TES yang dapat diamati pada Tabel 2.1

Tabel 2. 1 Spesifikasi Sistem Eksitasi Generator Unit 7

Generator	5.5 MVA, 6600 V, 481 A, 50 Hz
Rated excitation	441 ADC, 72 VDC
Bridge supply	3 x 111 V, 50 Hz
Aux.supply	110 DC, 230V AC, 50 Hz
Control voltage	110V dc

2.3 AVR (Automatic Voltage Regulator)

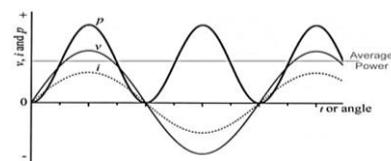
Automatic Voltage Regulator (AVR) adalah sebuah divais pengatur tegangan yang digunakan pada generator sinkron untuk menstabilkan tegangan keluaran yang dihasilkan. Apabila tegangan output generator dibawah tegangan normal tegangan generator, maka AVR akan memperbesar arus penguatan (*exitacy*) pada *exiter*. Dengan demikian apabila terjadi perubahan tegangan output generator dapat distabilkan oleh AVR secara otomatis [5].

2.4 Pengaruh Arus Resistif Terhadap Pembebanan

Terdapat beberapa macam jenis beban yaitu:

a. Beban Resistif

Beban resistif hanya mengkonsumsi daya nyata saja. Sehingga ketika generator dibebani dengan beban resistif, maka tegangan terminal generator akan menurun, untuk menjaga agar tegangan terminal generator tetap pada tegangan jaringan interkoneksi, maka dapat diatasi dengan memperbesar fluks medan dengan cara mengatur besarnya arus eksitasi. Gelombang Listrik AC dengan Beban resistif Murni dapat diamati pada Gambar 2.2

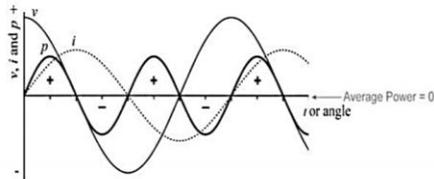


Gambar 2. 1 Gelombang Listrik AC dengan Beban Resistif Murni.

b. Beban induktif

beban induktif murni ($\text{Cos } \varphi = 0 \text{ lag}$), maka arus akan tertinggal sebesar 90 dari tegangan. Hal ini menyebabkan fluksi yang dihasilkan oleh arus jangkar akan melawan fluksi arus medan. Dengan kata lain reaksi jangkar akan *demagnetising* artinya pengaruh raksi jangkar akan melemahkan fluksi arus medan. Seperti yang diketahui, bahwa beban induktif hanya mengkonsumsi daya reaktif saja. Oleh

karenanya pada pembangkit, untuk meningkatkan besarnya daya reaktif (MVAR) yang dibangkitkan, dapat dilakukan dengan cara memperkuat fluksi medan yakni menambah besarnya arus eksitasi yang diinjeksikan ke kumparan medan [6]. Gelombang Listrik AC dengan Beban induktif Murni dapat diamati pada Gambar 2.3

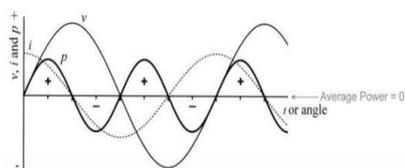


Gambar 2. 2 Gelombang Listrik AC dengan Beban Induktif Murni

Nampak pada gelombang sinusoidal listrik AC di atas, bahwa jika sebuah sumber listrik AC diberi beban induktif murni, maka gelombang arus listrik akan tertinggal sejauh 90° oleh gelombang tegangan. Atas dasar inilah beban induktif dikenal dengan istilah beban *lagging* (arus tertinggal tegangan).

c. Beban Kapasitif

Untuk beban kapasitif murni ($\cos \varphi = 0$), maka arus akan mendahului tegangan sebesar 90° . Fluks yang dihasilkan oleh arus jangkar akan searah dengan fluksi arus medan sehingga reaksi jangkar yang terjadi akan *magnetising* artinya pengaruh reaksi jangkar akan menguatkan fluksi arus medan. Dengan terjadinya penguatan fluks medan di kumparan medan generator, maka akan terjadinya kenaikan tegangan generator. Untuk menjaga agar tegangan terminal generator ini sama dengan tegangan jaringan interkoneksi, maka arus eksitasi yang diinjeksikan ke kumparan medan di rotor akan dikurangi. Gelombang listrik AC dengan beban kapasitif murni dapat diamati pada Gambar 2.4



Gambar 2. 3 Gelombang Listrik AC dengan Beban Kapasitif Murni

Terlihat pada Gambar 2.4 Daya listrik bernilai positif (daya diserap kapasitor) pada setengah pertama gelombang sinusoidal daya,

serta negatif (daya dikeluarkan kapasitor) pada setengah gelombang kedua [7].

2.5 Pembentukan Kurva Kapabilitas Generator

Pada generator sinkron bila dioperasikan akan terjadi rugi-rugi di kumparan rotor atau stator. Rugi-rugi ini menghasilkan panas dan bila tidak diinginkan akan menaikkan suhu komponen-komponen tersebut hingga mencapai tingkat berbahaya. Oleh karena itu perlu adanya pendinginan. Pada efektifitas pendinginan tertentu ada batas suhu dan arus. Batas kemampuan tersebut ialah besaran dengan satuan MVA ataupun pu yang diterapkan pada kurva kapabilitas. Kurva kapabilitas generator menentukan batas pengoperasian kontinu suatu generator. Sistem eksitasi akan menambah maupun mengurangi output daya reaktif [8].

2.5.1 Batas Daya Generator

Batas daya generator merupakan batasan dari daya reaktif, daya aktif dan daya semu pada generator. Dan batas daya generator untuk daya aktif dipengaruhi dari putaran rotor dan terkopel dengan steam turbin. Dimana pengaturan kecepatan gerak mula generator berkaitan dengan sistem governor [2].

Batas daya generator ini dinyatakan dengan nilai daya aktif. Jarak titik operasi sumbu daya aktif (P) MW dinyatakan dengan Persamaan 2.1:

$$P = 3V_{\phi}I_a \cos \theta \quad (2.1)$$

Keterangan:

V_{ϕ} = tegangan fasa-netral nominal (volt)

I_a = Arus jangkar (ampere)

Jarak titik operasi sumbu daya reaktif (Q) MVAR dinyatakan dengan Persamaan 2.2:

$$Q = 3V_{\phi}I_a \sin \theta \quad (2.2)$$

2.5.2 Batas Arus stator

Batas arus stator adalah suatu batasan kerja dari kurva kapabilitas generator yang berkaitan dengan kinerja dari stator. Karena apabila stator bekerja melewati kurva tersebut mengakibatkan naiknya suhu generator yang melewati batas amannya dan mengakibatkan rugi – rugi pada bagian belitan stator dan dapat berbahaya bagi isolasi dari stator itu sendiri. Sehingga perlu diketahui batasan maksimum yang diizinkan pada belitan stator [9].

Batas arus stator didefinisikan dengan menggunakan nilai MVA (Daya Semu) dari generator dengan pusat titik lingkaran pada titik (0,0), dan panjang jari-jari lingkaran dapat dicari dengan menggunakan Persamaan 2.3

$$3V_{\phi}I_a \quad (2.3)$$

2.5.3 Batas Arus Rotor

Batas Arus Rotor adalah suatu batasan kerja dari kurva kapabilitas generator yang berkaitan dengan kinerja dari rotor generator. Karena apabila rotor bekerja

melewati kurva tersebut mengakibatkan naiknya suhu generator yang melewati batas amannya dan mengakibatkan rugi – rugi pada bagian belitan rotor dan dapat berbahaya bagi isolasi dari rotor [10]. Batas arus rotor sangat dipengaruhi oleh arus eksitasi yang berpengaruh pada konstantanya besar arus DC pada kumparan medan dengan pusat titik lingkaran dapat ditulis dengan Persamaan 2.4

$$(0, - \frac{3xV\phi^2}{x_s}) \quad (2.4)$$

Keterangan:

V_ϕ = tegangan fasa-netral nominal (volt)

X_s = reaktansi sinkron (Ω)

Sedangkan panjang jari-jari lingkaran dapat ditulis dengan Persamaan 2.4:

$$\frac{3xV\phi^2}{x_s} \quad (2.5)$$

Keterangan:

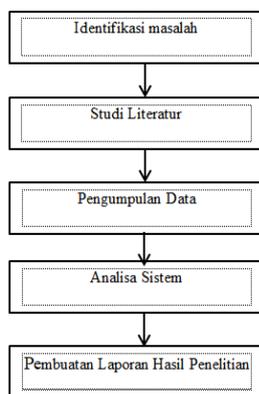
V_ϕ = tegangan fasa-netral nominal (volt)

X_s = reaktansi sinkron (Ω)

odelogi

3. Metodologi

Pada suatu penelitian diperlukan metode yang untuk melakukan penelitian Agar menghasilkan hasil penelitian yang baik dan memenuhi tujuan penelitian, maka proses penelitian akan dirumuskan sesuai dengan judul penelitian dan mencakup langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian tersebut. Berikut langkah-langkah penelitian yang dijelaskan penulis melalui proses penelitian yaitu



Gambar 2. 4 Metodologi Penelitian

3.1 Identifikasi Masalah

Merupakan langkah awal yang dilakukan dalam penelitian. Tahap ini dilakukan identifikasi masalah agar dapat memahami masalah yang akan diteliti, sehingga dalam tahap pengumpulan data dan informasi serta melakukan analisa dapat dilakukan dengan baik dan benar.

3.2 Studi Literatur

Tahap selanjutnya yaitu melakukan studi literatur untuk dijadikan referensi atau rujukan dalam penelitian.

Studi literatur didapatkan dari membaca jurnal, artikel dan situs-situs di internet sehingga mendapatkan kumpulan referensi yang relevan dengan masalah dalam penelitian ini.

3.3 Pengumpulan data

Sebagai bahan pendukung yang sangat berguna bagi penulis untuk mencari dan mengumpulkan data yang diperlukan dalam penelitian ini, penulis menggunakan beberapa cara, yaitu :

- Mengamati Dokumen Kerja (*hard document*).
- Mengamati dan mengumpulkan data pada PC ruang operator (*soft document*).
- Melakukan pengamatan secara langsung (*observation*).
- Melakukan Wawancara (*Interview*) dengan para pekerja di bagian operator, mekanik, K3, dan beberapa pekerja lain.

Untuk menganalisa pengaruh arus eksitasi terhadap pembebanan pada generator unit 7 PLTA TES maka dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :

- Mengumpulkan data teknis dilapangan yaitu data beban dan data suplai daya.
- Menganalisa kapasitas suplai daya pada Unit Generator.
- Mengelompokkan jenis pembebanan
- Mengamati fungsi dan prinsip kerja sistem eksitasi terhadap jenis beban.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Sistem Eksitasi PLTA TES Unit 7.

Generator yang digunakan pada PLTA TES Unit 7 ini memiliki tipe sistem eksitasi statis, yakni arus eksitasi berasal dari tegangan keluaran dari generator itu sendiri yang telah diturunkan dan disearahkan dari tegangan AC 3 fasa menjadi sistem tegangan DC. Cara kerja dari sistem eksitasi statis pada PLTA TES yaitu:

- Tegangan keluaran yang dihasilkan oleh adalah tegangan AC 6,6 kV 3 fasa. Saat rotor berputar dalam kondisi start awal, medan magnet putar dalam rotor belum terbangkitkan maka digunakan baterai untuk mencatu daya pada saat generator belum mampu menghasilkan tegangan keluaran sendiri proses ini disebut field flashing. Kemudian ketika arus eksitasi pada Bus-AC telah mencapai 20% dari arus eksitasi beban nol generator, maka suplai eksitasi dari battery akan terputus dan digantikan dengan sistem eksitasi yang menggunakan output dari generator itu sendiri.
- Setelah suplai baterai diputus, generator utama menghantarkan tegangan ke trafo eksitasi. Trafo eksitasi disini bejenis step down, berfungsi

sebagai penurunan tegangan dari output generator. Setelah tegangan output generator diturunkan, output dari trafo eksitasi tersebut akan diserahkan oleh SCR (*Silicon Controlled Rectifier*).

- AVR berfungsi sebagai pengatur tegangan output dari generator secara otomatis agar tetap konstan pada tegangan yang seharusnya dengan mengatur arus gate pada SCR. AVR juga dilengkapi dengan sensor arus dan tegangan yaitu *Current Transformer* (CT) dan *Potential Transformer* (PT). Fungsi dari CT dan PT ini sebagai sensor pada terminal output tegangan generator yang kemudian dikirimkan ke perangkat AVR. Berawal dari CT dan PT inilah AVR dapat melaksanakan tugasnya sebagai pengatur tegangan output dari generator. Melalui sistem AVR ini nanti arus yang melewati SCR akan diatur, apabila CT dan PT memberikan informasi ke AVR bahwa tegangan output dari generator lebih rendah dari yang seharusnya maka sistem AVR nanti akan menstabilkan dengan memperbesar arus eksitasi yang dikeluarkan eksiter, begitupun sebaliknya

4.2 Pengaruh Arus Eksitasi Terhadap Pembebanan Generator Sinkron Unit 7 PLTA TES

Berikut ini adalah data operasi harian yang didapat melalui logsheet yang diisi operator di PLTA TES Unit 7 pada 1 Februari 2022 yang dapat diamati pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data operasional Generator Unit 7 PLTA TES

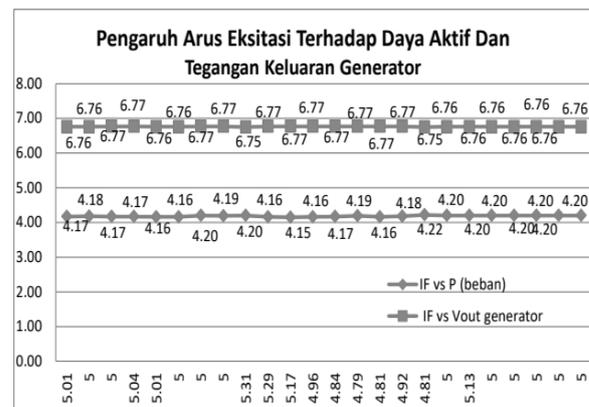
JAM	VOUT generator (KV)	Arus Generator (A)	Daya Akti (MW)	Daya Reaktif (Mvar)	Arus Eksitasi (A)	Cos phi
01.00	6.76	314	3.80	0.77	4.65	0.99
02.00	6.76	314	3.81	0.76	4.73	0.99
03.00	6.76	314	3.81	0.80	4.89	0.99
04.00	6.75	315	3.81	0.80	4.92	0.99
05.00	6.73	316	3.81	0.82	4.92	0.99
06.00	6.73	316	3.81	0.82	4.92	0.99
07.00	6.69	319	3.81	0.82	4.92	0.99
08.00	6.69	319	3.82	0.82	4.92	0.99
09.00	6.69	315	3.82	0.82	4.93	0.99
10.00	6.69	314	3.82	0.82	4.93	0.99
11.00	6.69	308	3.82	0.80	4.94	1.00
12.00	6.69	309	3.83	0.80	4.94	1.00
13.00	6.68	309	3.83	0.80	4.94	1.00
14.00	6.68	310	3.83	0.80	4.94	1.00
15.00	6.67	311	3.83	0.80	4.95	1.00
16.00	6.67	312	3.84	0.80	4.96	1.00
17.00	6.66	312	3.90	0.80	4.96	0.99
18.00	6.66	312	3.90	0.80	4.96	0.99

19.00	6.66	312	3.90	0.85	4.96	0.99
20.00	6.66	312	3.90	0.85	4.97	0.99
21.00	6.65	312	3.90	0.88	4.97	0.99
22.00	6.65	312	3.90	0.88	5	0.99
23.00	6.65	312	3.90	0.89	5	0.99
24.00	6.65	312	3.90	0.89	5	0.99

Berdasarkan data tersebut dapat dibahas beberapa hal, yakni:

1. Pengaruh arus eksitasi terhadap daya aktif generator sinkron unit 7 PLTA TES

Berdasarkan data yang diperoleh melalui logsheet harian pada Tabel 4.1 maka dapat dibuat analisis data menggunakan Grafik untuk mengetahui pengaruh arus eksitasi terhadap daya aktif generator sinkron unit 7 PLTA TES seperti yang dapat diamati pada Gambar 4.1

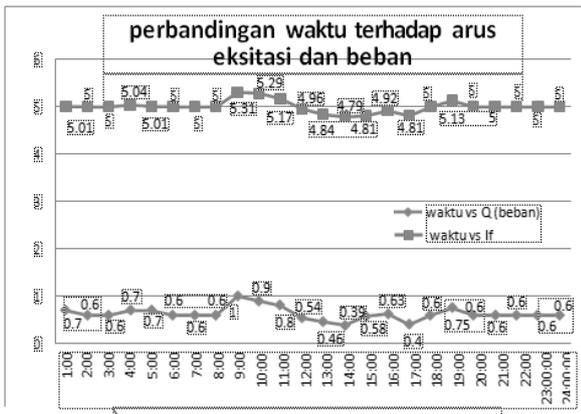


Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Arus Eksitasi Daya Aktif dan Tegangan Keluaran Generator

Berdasarkan Gambar 4.1, maka dapat diketahui bahwa semakin besar arus eksitasi yang diinjeksikan pada kumparan medan pada rotor generator maka akan semakin meningkat pula pembebanan (daya aktif) yang dihasilkan. Hal yang berbeda terjadi pada tegangan keluaran generator sinkron unit 7 yang saya amati, bahwa semakin besar arus eksitasi yang diinjeksikan pada kumparan medan di rotor generator maka akan semakin menurun tegangan keluaran yang dihasilkan generator begitupun sebaliknya.

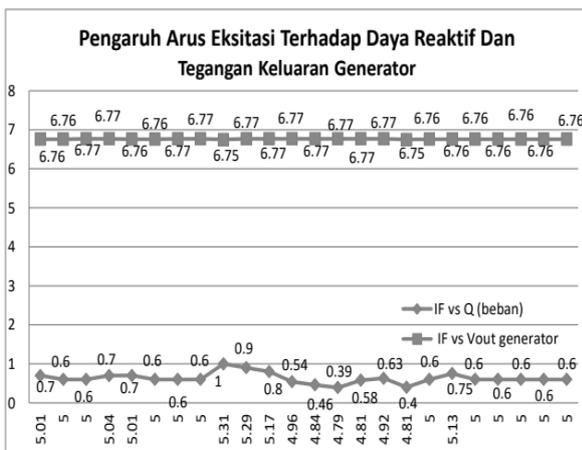
2. Pengaruh arus eksitasi terhadap daya reaktif pada generator sinkron unit 7 PLTA TES

Berdasarkan data operasi harian yang dapat diamati pada Tabel 4.1 maka dapat dibuat analisis data menggunakan suatu Grafik untuk mengetahui pengaruh waktu terhadap arus eksitasi dan beban seperti yang dapat diamati pada Gambar 4.2



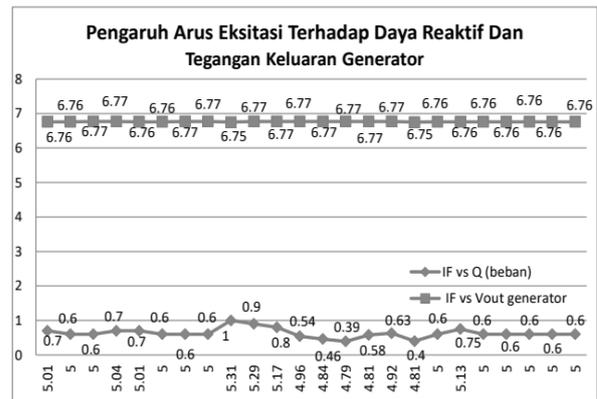
Gambar 4. 2 Grafik perbandingan waktu terhadap arus eksitasi dan Q (beban)

Berdasarkan Gambar 4.2, maka dapat diketahui bahwasanya arus eksitasi dengan daya reaktif memiliki hubungan yang berbanding lurus, dimana ketika arus eksitasi yang diinjeksikan meningkat maka akan meningkat pula daya reaktif (beban) yang dihasilkan, begitupun sebaliknya. kemudian untuk pengaruh Arus eksitasi terhadap daya reaktif dan tegangan keluaran generator dapat dimati pada Gambar 4.3



Gambar 4. 3 Grafik perbandingan arus eksitasi terhadap Q (beban)

Berdasarkan Gambar 4.3 maka dapat diketahui bahwasanya arus eksitasi dengan daya reaktif memiliki hubungan yang berbanding lurus, dimana ketika arus eksitasi yang diinjeksikan meningkat maka akan meningkat pula daya reaktif yang dihasilkan, begitupun sebaliknya. Kemudian untuk pengaruh arus eksitasi terhadap daya reaktif dan tegangan keluaran generator dapat dimati pada Gambar 4.4



Gambar 4. 4 Pengaruh Arus Eksitasi Terhadap Daya Reaktif Dan Tegangan Keluaran Generator

Dari Gambar 4.4 tersebut maka dapat diketahui bahwa semakin besar arus eksitasi yang diinjeksikan pada kumparan medan pada rotor generator maka akan semakin meningkat pula pembebanan (daya Reaktif) yang dihasilkan. Hal yang berbeda terjadi pada tegangan keluaran generator sinkron unit 7 yang saya amati, bahwa semakin besar arus eksitasi yang diinjeksikan pada kumparan medan di rotor generator maka akan semakin menurun tegangan keluaran yang dihasilkan generator begitupun sebaliknya.

4.3 Perhitungan Batas-Batas Operasi Generator Unit 7 PLTA TES 2.3.

1. Batas Daya Generator

Dimana Batasan daya generator 5,5 MVA yang didapat dari spesifikasi generator Unit 7 PLTA TES.

- Berikut dibawah ini merupakan kondisi lagging dengan daerah kinerja berada pada wilayah positif di dalam kurva kapabilitas generator yaitu :

$$\text{Daya aktif (P)} = S \times \cos \theta = 5,5 \text{ MVA} \times 0,85 = 4,675 \text{ MW}$$

$$\text{Faktor Daya (} \cos \theta \text{)} = 0,85$$

$$\text{Daya reaktif (Q)} =$$

$$\text{Mencari } \sin \theta \text{ dari } \cos \theta = 0,85$$

$$\cos^{-1} 0,85 = \theta$$

$$\theta = 31,7883$$

$$\sin 31,78 = 0,53$$

Setelah didapat sin, maka daya reaktif didapat :

$$\begin{aligned} Q &= S \sin \theta \\ &= 5,5 \text{ MVA} \times 0,53 \\ &= 2,915 \text{ MVAR} \end{aligned}$$

Sehingga didapat nilai batasan dalam kondisi karakteristik pembebanan lagging dengan daya aktif sebesar 4,675 MW dan daya reaktif sebesar 2,915 MVAR.

- Berikut perhitungan dibawah ini merupakan kondisi leading dengan daerah kinerja generator berada pada wilayah negatif di dalam kurva kapabilitas generator yaitu :

$$\text{Faktor Daya } (\cos \theta) = 0,95$$

$$\text{Daya Aktif (P)}$$

$$P = S \cos \theta$$

$$= 5,5 \text{ MVAR} \times 0,95$$

$$= 5,225 \text{ MW}$$

Sehingga didapat daya aktif dalam kondisi leading sebesar 49,4 MW.

$$\text{Daya Reaktif (Q)}$$

$$\text{Mencari } \sin \theta \text{ dari } \cos \theta = 0,95$$

$$\cos^{-1} 0,95 = \theta$$

$$\theta = 18,19$$

$$\sin 18,19 = 0,31$$

Setelah didapat sin, maka daya reaktif didapat :

$$Q = S \sin \theta$$

$$= 5,5 \text{ MW} \times 0,31 = 1,705 \text{ MVAR}$$

Sehingga didapat nilai batasan dalam kondisi karakteristik pembebanan leading dengan daya aktif sebesar 5,225 MW dan daya reaktif sebesar 1,705 MVAR.

Dengan batas daya generator yang telah didapat, maka didapatkan titik koordinat pada kurva dengan daya reaktif sebagai sumbu x dan daya aktif sebagai sumbu y yaitu (2,915 MVAR.; 4,675 MW) dengan batas kondisi karakteristik pembebanan lagging dan (1,705 MVAR; 5,225 MW) dengan batas kondisi karakteristik pembebanan leading pada kurva kapabilitas generator.

2. Batas Arus Stator

- Titik pusat lingkaran pada batas arus stator: (0,0).

- Jari-jari lingkaran dihitung dengan persamaan 2.3

$$V_{\phi} \frac{V_{base}}{\sqrt{3}} = \frac{6600}{\sqrt{3}} = 3.810,51 \text{ V}$$

$$I_{a \text{ maximum}} = \frac{S}{3xV_{\phi}} = \frac{5,5 \times 10^6 \text{ VA}}{3 \times 3.810,51 \text{ V}}$$

$$= 481,21 \text{ A}$$

$$S = 3 \times V_{\phi} \times I_{a \text{ maximum}}$$

$$= 3 \times 3.810,51 \text{ V} \times 481,21 \text{ A}$$

$$= 5.499.937,71 \text{ VA} = 5,5 \text{ MVA}$$

Dari perhitungan batas arus stator di atas, maka didapat titik pusat sebesar (0,0) dengan jari-jari 5,5 MVA

3. Batas Arus Rotor

- Titik pusat batas arus rotor dengan persamaan 2.4

$$= \frac{3xV_{\phi}^2}{X_s} = -\frac{3 \times 3.810,51 \text{ V}^2}{8,7912 \Omega}$$

$$= -4,954 \text{ MVAR}$$

- Jari-jari lingkaran menggunakan persamaan 2.5 , denga mencari nilai tegangan induksi pada rotor ke stator terlebih dahulu

$$E_i = V_{\phi} + I_{a \text{ maximum}} jX_d$$

$$= 3.810,51 \text{ V} + 481,12 \angle \cos^{-1}(0,85) (j8,7912)$$

$$= 3.810,51 \text{ V} +$$

$$(481,12 \angle -31,7883^\circ \text{ A})(j8,7912)$$

$$= 6.038,59 + 3595,18j$$

$$= 7.027,79 \angle -30,77^\circ$$

Sehingga diperoleh $E_i = 7.027,79 \text{ V}$, setelah itu dapat dihitung jari – jari lingkaran dengan $I_{a \text{ maximum}}$ yang merupakan batas rotor yaitu

$$\frac{3xEXV_{\phi}}{X_s}$$

$$= \frac{3 \times 7.027,79 \times 3.810,51 \text{ V}}{8,7912 \Omega}$$

$$= 9,138 \text{ MVAR}$$

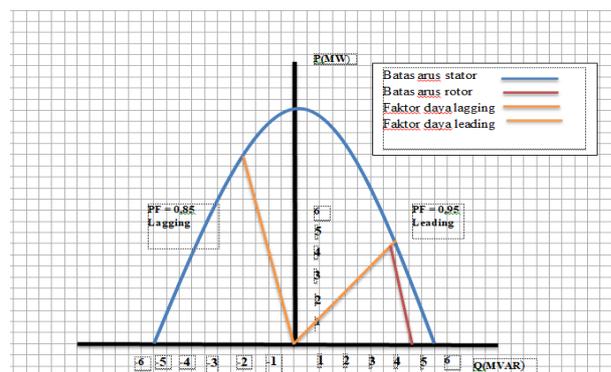
$$Q_{\text{maximum}} = 9,138 \text{ MVAR} - 4,954 \text{ MVAR}$$

$$= 4,184 \text{ MVAR}$$

Untuk titik koordinat batas arus rotor diperoleh yaitu (4,18; 0) dimana titik tersebut merupakan daya reaktif maksimum yang diijinkan.

4.4 Pembuatan Kurva Kapabilitas Generator Unit 7 PLTA TES

Berdasarkan hasil perhitungan maka dapat dibuat Kurva Kapabilitas Generator Unit 7 seperti pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 Kurva Kapabilitas

Pada Gambar 4.5 diatas bahwa terdapat batasan - batasan agar dapat memonitoring kerja suatu generator agar dapat berkerja dalam kondisi aman berupa batas arus rotor dengan garis berwarna merah sebesar -4,954 MVAR, untuk batas arus stator dengan garis berwarna

biru sebesar 5,5 MVA. Selanjutnya untuk garis batas faktor daya lagging dan leading dengan garis berwarna orange. Dimana untuk garis orange di wilayah positif adalah lagging, faktor dayanya sebesar 0,85 dan garis orange di wilayah negatif adalah leading faktor dayanya sebesar 0,95.

5. Kesimpulan

Dari analisa yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal dimana jenis sistem eksitasi pada generator PLTA TES Unit 7 adalah sistem eksitasi statik. Semakin besar pembebanan pada generator, maka arus eksitasi yang diinjeksikan akan semakin besar. Semakin besar pembebanan, maka tegangan terminal pada generator akan semakin menurun, Pengaturan tegangan terminal generator saat berbeban dapat dilakukan dengan menaikkan dan menurunkan arus eksitasi. Kurva kapabilitas generator yaitu memberikan batasan jumlah pembangkitan daya aktif dan daya reaktif dari generator dan juga digunakan untuk memberikan batasan pada operasi *Optimal Power Flow* (OPF), dari hasil analisa dan perhitungan didapatkan didapat nilai batasan dalam kondisi karakteristik pembebanan lagging dan beroperasi dalam kondisi normal dengan daya aktif sebesar 4,675 MW dan daya reaktif sebesar 2,915 MVAR, batas arus rotor sebesar -4,954 MVAR, dan batas arus stator sebesar 5,5 MVA.

6. Saran

pengujian terhadap kurva kapabilitas baiknya dilakukan menggunakan software, agar batasan aman operasi yang dihasilkan sudah sesuai dengan letak titik kerja dari kurva kapabilitas generator

7. REFERENSI

- [1] R. H. Hendrik Tupan, Masahida Zuleiha, Permana Ari, "Pengaruh Pembebanan Terhadap Arus Eksitasi Generator Unit 2 PLTMH CURUG," *J. Simetrik*, vol. 11, no. 1, pp. 388–397, 2021
- [2] Rimbawati, P. Harahap, and K. Putra, "Analisis Pengaruh Perubahan Arus Eksitasi Terhadap Karakteristik Generator," *J. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 1, pp. 37–44, 2019.
- [3] H. H. T. Lukas, Daniel Rohi, "Studi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) di Daerah Aliran Sungai (DAS) Brantas," *J. Tek. Elektro*, vol. 10, no. 1, pp. 17–23, 2017, doi: 10.9744/jte.10.1.17-23.
- [4] C. Teguh Wibowo Aji, I. Muhammad Suyanto, J.

Teknik Elektro, I. AKPRIND Yogyakarta Jl Kalisahak, and K. Balapan, "Studi Tentang Sistem Kerja Paralel Generator Sinkron 471 Mva Pada Pltu Ubp Suralaya, Serang, Banten," *J. Elektr.*, vol. 1, no. 2, pp. 33–43, 2014.

[5] A. Nurdin, A. Azis, and R. A. Rozal, "Peranan Automatic Voltage Regulator Sebagai Pengendali Tegangan Generator Sinkron," *J. Ampere*, vol. 3, no. 1, p. 163, 2018, doi: 10.31851/ampere.v3i1,2018.

[6] Ramadhan, E. Zondra, and M. Putra Halilintar, "Analisis Eksitasi Generator Unit 3 Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) Teluk Lembu PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Pekanbaru," *J. Sain, Energi, Teknol. Ind.*, vol. 6, no. 1, pp. 32–38, 2021, doi: 10.31849/sainetin.v6i1.7318,2021

[7] Jumadi and J. M. Tambunan, "Analisis pengaruh jenis beban listrik terhadap kinerja pemutus daya listrik di gedung cyber jakarta," *J. Energi Kelistrikan*, vol. 7, no. 2, pp. 108–117, 2015.

[8] Z. Anthony, *Buku Mesin listrik dasar*. 2018.

[9] D. S. K. G. A. S. di P. P. K. S. Supena, R. M. Yunus, T. Mesin, and U. Majalengka, "Analisis Sistem Kerja Generator AC Sinkron di Plta Parakan Kondang Sumedang," *Reka Elkomika*, pp. 80–85, 2018.

[10] R. Kambey, M. Tuegeh, A. F. Nelwan, M. Pakiding, J. T. Elektro-ft, and A. G. Sinkron, "Simulasi Keamanan Kerja Generator PLTP Lahendong 4," p. 1, 2012.

8. PERNYATAAN KEASLIAN

1. Saya menyatakan bahwa makalah saya yang berjudul "Pengaruh Arus Eksitasi Terhadap Pembebanan Pada Generator Sinkron Unit 7 di ULPLTA TES LEBONG PT PLN (PERSERO)" adalah asli dan tidak pernah dipublikasikan di tempat lain.

2. Dengan publikasi, saya kirimkan hak cipta kepada Jurnal Amplifier. Transfer hak cipta termasuk di dalamnya hak untuk mereproduksi fotografi untuk artikel sejenis dan terjemahannya. Hal ini juga termasuk dalam hak untuk memasukkan artikel dalam sistem komputer untuk disebarluaskan dalam jaringan internet dsb.

Sabtu, 7 mei 2023

Penulis,



Anggita Juliana