
Pengaruh Tegangan Eksitasi Terhadap output Tegangan Generator Sinkron 3 Fasa 6,3kV

Prastyono Eko Pambudi¹, Muhammad Suyanto^{*2}, Dio Septa Yogaswara³

¹²³Jurusan Teknik Elektro, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Email: myanto@akprind.ac.id²

ABSTRACT

Synchronous generators work by changing mechanical energy into 1 and 3 phase electrical energy. Reactive power is needed by consumers to generate magnetic fields in inductive electrical loads. The reactive power setting can be adjusted by increasing or decreasing the excitation current. Excitation current is a DC electric current that is supplied to the generator rotor to generate a magnetic field. The excitation current is proportional to the reactive power released by the generator. This is indicated by the increase in the reactive power of the generator which was initially valued at 0.6999 MVAR to 0.7655VAR after the excitation current was increased from 0.130 kA to 0.140 kA. The data used is measurement data per day from July 1 to July 14, 2022. Calculation of reactive power using the power triangle formula has results that are close to the values of reactive power measured by the largest difference of 0.0198 MVAR or 2.8637547%. The reactive power is all positive so the state of the generator is lagging. The output voltage tends to be stable near the nominal voltage of 6.3 kV, this is because the increase and decrease in excitation is intended to keep the generator output voltage stable.

Keywords: excitation system, reactive power, synchronous generator.

INTISARI

Generator sinkron bekerja dengan mengganti energi mekanis jadi energi listrik 1 dan 3 fasa. Daya reaktif diperlukan konsumen untuk membangkitkan medan magnet pada beban-beban listrik yang bersifat induktif. Pengaturan daya reaktif tersebut dapat diatur dengan menaikkan ataupun menurunkan arus eksitasi. Arus eksitasi merupakan arus listrik DC yang disuplai ke rotor generator untuk membangkitkan medan magnet. Arus eksitasi sebanding dengan daya reaktif yang dikeluarkan generator. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh sistem eksitasi terhadap daya reaktif dan tegangan keluaran generator menggunakan metode longitudinal (time series) yaitu penelitian yang dilakukan berulang-ulang pada sampel dan variabel yang sama. Hal ini ditunjukkan dengan meningkatnya daya reaktif generator yang awalnya senilai 0.6999 MVAR menjadi 0.7655VAR setelah arus eksitasi dinaikkan dari 0.130 kA menjadi 0.140 kA. Data yang digunakan adalah data hasil pengukuran per hari dari tanggal 1 Juli hingga 14 Juli 2022. Perhitungan daya reaktif menggunakan rumus segitiga daya mempunyai hasil yang mendekati nilai-nilai daya reaktif hasil pengukuran yaitu dengan selisih terbesar 0.0198 MVAR atau senilai 2.8637547%. Daya reaktif semua bernilai positif sehingga keadaan generator adalah lagging. Tegangan keluaran cenderung stabil mendekati tegangan nominal 6,3 kV, hal ini dikarenakan peningkatan dan penurunan eksitasi tersebut memang ditujukan untuk menjaga agar tegangan keluaran generator tetap stabil.

Kata kunci: daya reaktif, generator sinkron, sistem eksitasi.

PENDAHULUAN

Generator sinkron mempunyai kumparan jangkar pada stator dan kumparan medan pada stator. Apabila kumparan jangkar dihubungkan dengan sumber tegangan tiga fasa akan ditimbulkan medan putar pada stator (Suyanto dkk., 2021). Kumparan medan rotor diberi arus searah sehingga mendapatkan tarikan dari kutub medan stator hingga turut berputar dengan kecepatan yang sama. (A. K. Datta, 2014). Dalam penelitian ini akan dibahas tentang sistem eksitasi statis yang akan diimplementasikan dalam generator sinkron.

Sistem eksitasi statis dirancang untuk memenuhi semua mode operasi generator berkapasitas besar. Salah satu pembangkit listrik di Indonesia yang menerapkan sistem eksitasi statis adalah PLTA Saguling, Jawa Barat. PLTA ini menghasilkan daya sebesar 700,72 MW yang terdiri dari empat unit generator, dimana masing-masing generator mempunyai keluaran daya sebesar 175,18 MW. Pada sistem pembangkitan, salah satu komponen utamanya adalah generator. Generator inilah yang akan

menghasilkan tegangan yang kemudian akan disalurkan ke sistem. Sistem pembebanan interkoneksi yang dinamis menyebabkan terjadinya fluktuasi pada tegangan keluaran generator. Perubahan tegangan keluaran ini akan memberikan efek pada generator. Pengaturan tegangan pada generator dilakukan dengan mengatur arus eksitasi pada generator. Ketika beban naik, tegangan keluaran generator akan turun dan ketika beban turun, tegangan generator akan naik. Oleh karena itu, diperlukan pengaturan tegangan keluaran dengan mengatur arus eksitasi. (Ismail.A.F, 2021), menggunakan generator sinkron ada dua hal pengaturan yang harus dilakukan yaitu pengaturan tegangan keluaran yang berhubungan dengan daya reaktif dan frekuensi keluaran yang berhubungan dengan daya aktif generator. Ketika beban naik terjadi penurunan tegangan keluaran dan ketika beban turun terjadi kenaikan tegangan keluaran maka diperlukan pengaturan tegangan keluaran dengan cara mengatur arus eksitasi. (F.Sari, 2021)

Sistem eksitasi merupakan komponen yang sangat berguna pada pengoperasian generator. Sistem eksitasi merupakan sistem penguatan pada generator sinkron untuk membangkitkan arus medan sehingga suatu generator bisa menciptakan tenaga listrik dengan besar tegangan keluaran generator tertentu yang besarnya tergantung pada besar arus eksitasi. Pengaturan arus eksitasi ini akan mempengaruhi tegangan terminal (tegangan keluaran) generator. Arus eksitasi yang tidak dikendalikan akan menimbulkan penyebaran fluks tidak merata. Tegangan yang dihasilkan generator juga akan mempengaruhi daya reaktif yang dihasilkannya.(Habibi, 2019).

Penelitian ini dilakukan untuk mengamati tentang bagaimanakah pengaruh arus dan tegangan eksitasi terhadap tegangan keluaran dan daya reaktif pada generator. dan akan mengkaji tentang pengaruh arus dan tegangan eksitasi terhadap tegangan keluaran dan daya reaktif pada generator pengaruh arus dan tegangan eksitasi terhadap tegangan keluaran dan daya reaktif pada generator.

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian diskriptif *exploratory* ini adalah metode longitudinal (*time series*) yaitu penelitian yang dilakukan berulang-ulang pada sampel dan variabel yang sama. (Sugiyono, 2012). Metode penelitian ini digunakan untuk mendapatkan data dengan tujuan dapat dideskripsikan, dibuktikan, dikembangkan dan ditemukan pengetahuan, teori, untuk memahami, memecahkan dan mengantisipasi masalah dalam kehidupan manusia. (Chapman S. J., 2005).

Peralatan yang digunakan dalam penelitian antara lain *schneider power meter*, *cos phi meter analog*, *ampere meter analog*, *volt meter analog*, *speed meter analog*, *frekuensi meter analog*. Sedangkan bahan yang digunakan adalah generator sinkron unit 2, automatic voltage regulator dan generator eksitasi unit 2, perhitungan daya reaktif dengan menggunakan prinsip segitiga daya lalu membandingkan hasil perhitungan daya reaktif dengan data hasil pengukuran. Perbandingan juga dilakukan antara arus eksitasi dengan daya reaktif dengan tegangan keluaran generator unit 2.

Ada beberapa hal yang perlu dianalisis untuk mengetahui sistem eksitasi bekerja secara baik dan berfungsi sesuai yang di harapkan atau tidak, hal-hal yang perlu dianalisis antara lain mengamati beberapa data yang dihasilkan generator sinkron, daya reaktif di data *logsheet*, eksitasi terhadap daya reaktif generator dan pengaruh eksitasi terhadap tegangan keluaran generator.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Daya reaktif merupakan daya listrik yang dibutuhkan untuk beban-beban listrik yang bersifat induktif. Daya reaktif diperlukan untuk pembangkitan medan magnet pada motor motor listrik. Satuan dari daya reaktif dinyatakan oleh VAR (Volt Ampere Reactive). (Savira.R, 2020). Perhitungan daya reaktif dilakukan untuk membandingkan hasil dari pengukuran keluaran generator dengan hasil perhitungan apakah hasilnya mendekati dengan menggunakan prinsip segitiga daya, perhitungan ini menggunakan persamaan yaitu:

$$Q = V \times I \times \sin \varphi \dots\dots\dots (1)$$

$$\sin \theta = \frac{\text{Output daya aktif}}{\text{Output daya semu}} \dots\dots\dots (2)$$

Data yang diambil merupakan data daya aktif dan daya semu yaitu sebagai berikut,

1. Data operasi generator unit 2, diperoleh hasil,

Daya aktif (P) : 0,58 MW

Daya semu (S) : 0,9143 MVA

$$\sin \theta = \frac{\text{Output daya aktif}}{\text{Output daya semu}} = \frac{0,58 \text{ MW}}{0,9143 \text{ MVA}} = 0,6343$$

$$\begin{aligned}\theta &= \tan^{-1}(0,6343) = 32,3869 \\ \cos \theta &= 0,8444 \\ \sin \theta &= 0,5356 \\ Q &= V \times I \times \sin \theta \times \sqrt{3} = S \times \sin \theta \times \sqrt{3} = 0,9143 \times 0,5356 \times \sqrt{3} = 0,8481 \text{ MVAR}\end{aligned}$$

2. Data operasi generator unit 2, diperoleh hasil,

$$\begin{aligned}\text{Daya aktif (P)} &: 0,64 \text{ MW} \\ \text{Daya semu (Q)} &: 0,9151 \text{ MVA} \\ \sin \theta &= \frac{\text{Output daya aktif}}{\text{Output daya semu}} = \frac{0,64 \text{ MW}}{0,9151 \text{ MVA}} = 0,6993 \\ \theta &= \tan^{-1}(0,6993) = 34,965 \\ \cos \theta &= 0,8195 \\ \sin \theta &= 0,573 \\ Q &= V \times I \times \sin \theta \times \sqrt{3} = S \times \sin \theta \times \sqrt{3} = 0,9151 \times 0,573 \times \sqrt{3} = 0,9082 \text{ MVAR}\end{aligned}$$

3. Data operasi generator unit 2, diperoleh hasil,

$$\begin{aligned}\text{Daya aktif (P)} &: 0,82 \text{ MW} \\ \text{Daya semu (S)} &: 0,918 \text{ MVA} \\ \sin \theta &= \frac{\text{Output daya aktif}}{\text{Output daya semu}} = \frac{0,82 \text{ MW}}{0,918 \text{ MVA}} = 0,8932 \\ \theta &= \tan^{-1}(0,8932) = 41,7712 \\ \cos \theta &= 0,7458 \\ \sin \theta &= 0,6661 \\ Q &= V \times I \times \sin \theta \times \sqrt{3} = S \times \sin \theta = 0,918 \times 0,6661 \times \sqrt{3} = 1,0591 \text{ MVAR}\end{aligned}$$

4. Data operasi generator unit 2, diperoleh hasil,

$$\begin{aligned}\text{Daya aktif (P)} &: 0,83 \text{ MW} \\ \text{Daya semu (S)} &: 0,9181 \text{ MVA} \\ \sin \theta &= \frac{\text{Output daya aktif}}{\text{Output daya semu}} = \frac{0,83 \text{ MW}}{0,9181 \text{ MVA}} = 0,904 \\ \theta &= \tan^{-1}(0,904) = 42,1135 \\ \cos \theta &= 0,7418 \\ \sin \theta &= 0,6706 \\ Q &= V \times I \times \sin \theta \times \sqrt{3} = S \times \sin \theta \times \sqrt{3} = 0,9181 \times 0,6706 \times \sqrt{3} = 1,0663 \text{ MVAR}\end{aligned}$$

5. Data operasi generator unit 2, diperoleh hasil,

$$\begin{aligned}\text{Daya aktif (P)} &: 0,84 \text{ MW} \\ \text{Daya semu (S)} &: 0,9183 \text{ MVA} \\ \sin \theta &= \frac{\text{Output daya aktif}}{\text{Output daya semu}} = \frac{0,84 \text{ MW}}{0,9183 \text{ MVA}} = 0,9147 \\ \theta &= \tan^{-1}(0,9147) = 42,4491 \\ \cos \theta &= 0,7378 \\ \sin \theta &= 0,6749 \\ Q &= V \times I \times \sin \theta \times \sqrt{3} = S \times \sin \theta \times \sqrt{3} = 0,9183 \times 0,6749 \times \sqrt{3} = 1,0734 \text{ MVAR}\end{aligned}$$

6. Data operasi generator unit 2, diperoleh hasil,

$$\begin{aligned}\text{Daya aktif (P)} &: 0,81 \text{ MW} \\ \text{Daya semu (S)} &: 0,9177 \text{ MVA} \\ \sin \theta &= \frac{\text{Output daya aktif}}{\text{Output daya semu}} = \frac{0,81 \text{ MW}}{0,9177 \text{ MVA}} = 0,8826 \\ \theta &= \tan^{-1}(0,8826) = 41,4316 \\ \cos \theta &= 0,7497 \\ \sin \theta &= 0,6617\end{aligned}$$

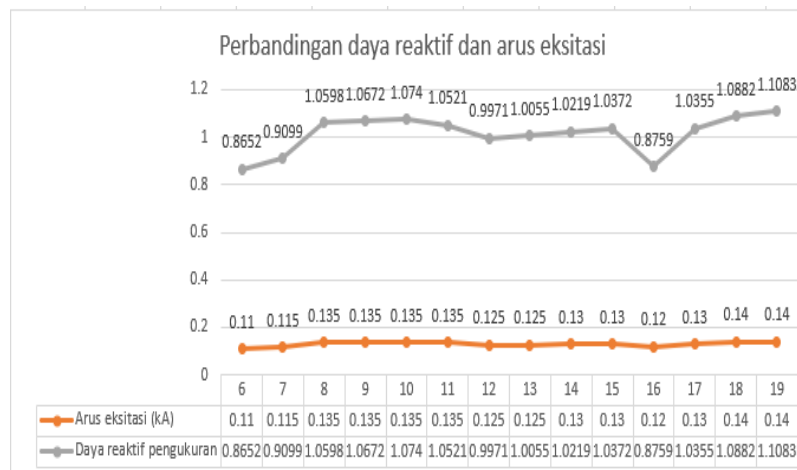
$$Q = V \times I \times \sin \theta \times \sqrt{3} = S \times \sin \theta \times \sqrt{3} = 0,9177 \times 0,6617 \times \sqrt{3} = 1,0517 \text{ MVAR}$$

Hasil analisis pengukuran daya reaktif (MVAR) dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil analisis pengukuran daya reaktif (MVAR)

Jam	Arus eksitasi (kA)	Daya reaktif (MVAR)
6.00	0.11	0.8652
7.00	0.115	0.9099
8.00	0.135	1.0598
9.00	0.135	1.0672
10.00	0.135	1.0740
11.00	0.135	1.0521
12.00	125	0.9971
13.00	125	1.0055
14.00	130	1.0219
15.00	130	1.0372
16.00	120	0.8759
17.00	130	1.0355
18.00	140	1.0882
19.00	140	1.1083

Dari grafik perbandingan arus eksitasi terhadap daya reaktif, yang ditampilkan pada gambar 2 memperlihatkan besarnya arus eksitasi yang diberikan pada generator unit 2 mempunyai pengaruh terhadap daya reaktif yang dihasilkan, sehingga wajib dilakukan pengendalian agar tetap berada pada batasan nominalnya.



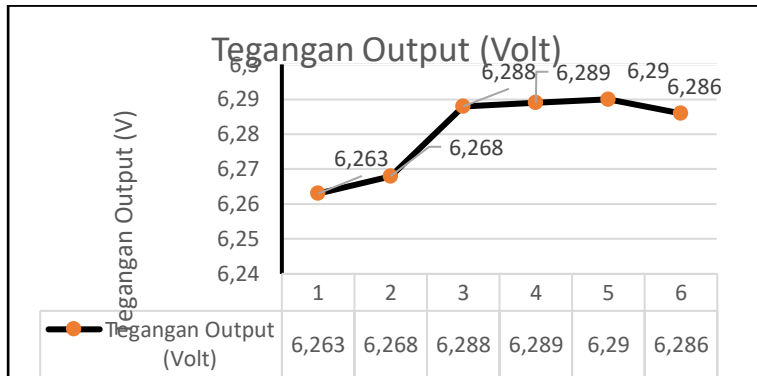
Gambar 2. Grafik perbandingan arus eksitasi terhadap daya reaktif

Pada saat beban puncak, tegangan yang terukur pada sistem relatif lebih rendah, hal tersebut disebabkan pengaruh dari nilai beban induktif yang harus di kendalikan oleh sistem, sehingga menimbulkan tegangan output generator terlihat lebih rendah dari batasan nominal. Penyelesaian yang dapat dicoba untuk mengatasi hal tersebut, maka daya reaktif pada generator tersebut dinaikkan dengan tujuan agar tetap dapat mengirimkan daya reaktif ke sistem. Dengan demikian, perbandingan arus eksitasi dengan tegangan keluaran generator yang di perlihatkan pada tabel 2 terlihat peningatakan terhadap tegangan generator sesuai dengan nilai nominalnya.

Tabel 2. Hasil analisis perbandingan arus eksitasi terhadap tegangan keluaran generator

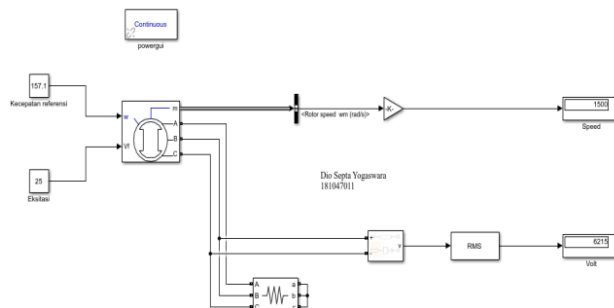
Arus Eksitasi	Tegangan Keluaran Generator
0.11	6.263
0.115	6.268
0.135	6.288
0.135	6.289
0.135	6.290
0.135	6.286

Untuk menaikkan ataupun mengurangi daya reaktif generator, arus eksitasi yang diberikan wajib sebanding, maka tugas AVR yaitu mengendalikan besar arus eksitasi sesuai dengan yang diperlukan oleh generator. Kebalikannya, disaat keadaan tidak dalam beban paling tinggi, kebutuhan beban induktif dari sistem menjadi rendah, sehingga nilai daya reaktif generator relatif lebih kecil serta tidak melebihi dari tegangan nominalnya, sehingga arus eksitasi yang dialirkan ke rotor generator wajib diturunkan supaya bisa mengurangi daya reaktif yang dihasilkan oleh generator. Terlihat dari bentuk grafik pada gambar 3, besar nilai daya reaktif yang dihasilkan oleh generator berbanding lurus dengan arus eksitasi yang diberikan. Nilai daya reaktif paling tinggi ialah sebesar 1.1083 MVAR dengan nilai arus eksitasi sebesar 0,140 kA. Serta nilai daya reaktif terendah 0,8652 kV dengan nilai arus eksitasi 0,11 kA.



Gambar 3. Grafik perbandingan arus eksitasi terhadap tegangan keluaran generator

Untuk grafik perbandingan antara arus eksitasi dengan tegangan keluaran generator, tampak jika tegangan keluaran generator cenderung normal. Peningkatan beban yang dihubungkan dengan sistem akan menimbulkan penurunan tegangan. Hal ini diatasi dengan mengendalikan arus eksitasi yang diberikan sehingga tegangan terminal bisa bertahan stabil. Sehingga dari grafik di atas bisa dilihat bahwa pengaturan tegangan lumayan baik terindikasi dari stabilnya tegangan keluaran. Pada gambar 4, bisa dilihat perbandingan antara arus eksitasi (I_f) terhadap tegangan keluaran generator (V_t), di mana semakin besar arus eksitasi yang diberikan maka tegangan keluaran generator akan semakin besar. Sehingga tegangan keluaran generator berbanding lurus terhadap arus eksitasinya. Besar- kecilnya tegangan keluaran generator sangat dipengaruhi oleh besarnya arus eksitasi. Nilai tegangan paling tinggi di pengukuran ialah sebesar 6, 292 kV dengan nilai arus eksitasi sebesar 0,135 kA. Serta nilai tegangan terendah terendah 6, 263 kV dengan nilai arus eksitasi 0,11 kA. Simulasi pengaruh tegangan ekstiasi terhadap generator (tanpa beban) dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4 Simulasi Pengaruh Tegangan Ekstiasi Terhadap Generator

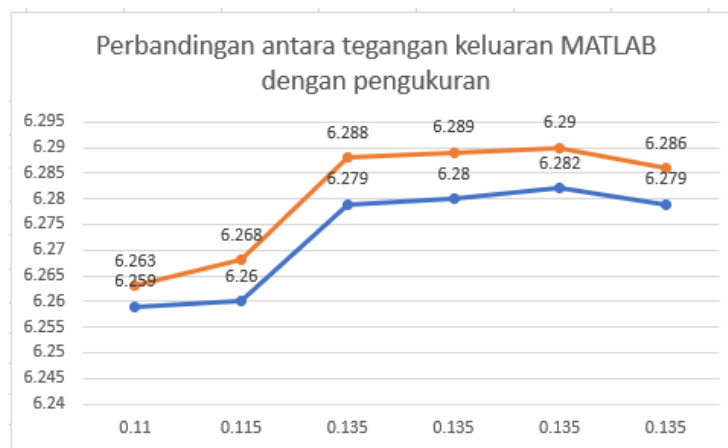
Dari tabel 3 hasil simulasi tegangan eksitasi terhadap generator tanpa beban menghasilkan, grafik perbandingan antara tegangan eksitasi dengan tegangan keluaran generator gambar 5, tampak jika tegangan keluaran generator cenderung normal. Peningkatan beban yang dihubungkan dengan sistem akan menimbulkan penurunan tegangan. Hal ini diatasi dengan mengendalikan tegangan eksitasi yang diberikan sehingga keluaran arus dari eksitasi dapat membuat tegangan

terminal bisa bertahan stabil. Dari grafik di atas bisa dilihat bahwa pengaturan tegangan lumayan baik terindikasi dari stabilnya tegangan keluaran.

Tabel 3. Hasil simulasi tegangan eksitasi terhadap generator (tanpa beban)

Arus Eksitasi _i	Tegangan Eksitasi	Tegangan keluaran generator pengukuran	Tegangan keluaran generator (MATLAB)	Selisih	KR %
0.110	23	6.263	6.259	0.004	0.0639
0.115	24	6.268	6.260	0.008	0.1277
0.135	24	6.288	6.279	0.009	0.1433
0.135	24	6.289	6.280	0.009	0.1433
0.135	24	6.290	6.282	0.008	0.1273
0.135	24	6.286	6.279	0.007	0.1114
0.125	23	6.276	6.271	0.005	0.0797
0.125	23	6.278	6.272	0.006	0.0956
0.130	23	6.283	6.279	0.004	0.0637
0.130	24	6.285	6.280	0.005	0.0796
0.120	23	6.272	6.267	0.005	0.0797
0.130	24	6.284	6.280	0.004	0.0636
0.140	25	6.292	6.288	0.004	0.0636
0.140	25	6.298	6.290	0.008	0.1271

Pada gambar, bisa dilihat perbandingan antara tegangan eksitasi (V_f) terhadap tegangan keluaran generator (V_t), di mana semakin besar tegangan eksitasi yang diberikan maka tegangan keluaran generator akan semakin besar. Sehingga tegangan keluaran generator berbanding lurus terhadap tegangan eksitasinya. Besar- kecilnya tegangan keluaran generator sangat dipengaruhi oleh besarnya tegangan eksitasi. Nilai tegangan paling tinggi pada pengukuran ialah sebesar 6,298 kV dengan nilai tegangan eksitasi sebesar 0,025 kV dan arus eksitasi sebesar 0.140 kA. Serta nilai tegangan terendah ialah 6,263 kV dengan nilai tegangan 0.23 kV dan arus eksitasi 0,011 kA. Dan pada simulasi Matlab nilai tegangan paling tinggi pada pengukuran ialah sebesar 6,290 kV dengan nilai tegangan eksitasi sebesar 0,025 kV dan arus eksitasi sebesar 0.140 kA. Serta nilai tegangan terendah ialah 6,259 kV dengan nilai tegangan 0.23 kV dan arus eksitasi 0,011 kA



Gambar 5. Grafik perbandingan tegangan eksitasi terhadap tegangan keluaran generator

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan pengaruh system eksitasi terhadap daya reaktif dan tegangan keluaran generator unit 2 PT. Madubaru, dapat disimpulkan dapat diambil kesimpulan bahwa daya reaktif berbanding lurus dengan arus eksitasi. Daya reaktif biasanya mengalami kenaikan ketika arus eksitasi mengalami kenaikan juga. Hal ini ditunjukkan dengan daya reaktif tertinggi yaitu sebesar 1.083 MVAR dengan nilai arus eksitasi sebesar 0,140 kA. Serta nilai daya reaktif terendah 0,8652 kV dengan nilai arus eksitasi 0,11 kA. Tegangan terminal cenderung stabil pada angka nominal yaitu 6,2-6,3 kV. Kestabilan tegangan terminal ini dipengaruhi oleh pengaturan eksitasinya. Ketika tegangan terminal mengalami penurunan akibat penambahan beban-beban listrik, arus eksitasi dinaikkan sehingga tegangan tetap stabil. Dari data-data, grafik, dan hasil simulasi yang telah ditunjukkan, bisa dilihat bahwa tegangan eksitasi berbanding lurus dengan

tegangan output generator. Hal ini ditunjukkan dengan nilai tegangan paling tinggi pada pengukuran ialah sebesar 6,298 kV dengan nilai tegangan eksitasi sebesar 0,025 kV dan arus eksitasi sebesar 0.140 kA. Serta nilai tegangan terendah ialah 6,263 kV dengan nilai tegangan 0.23 kV dan arus eksitasi 0,011 kA. Dan pada simulasi Matlab nilai tegangan paling tinggi pada pengukuran ialah sebesar 6,290 kV dengan nilai tegangan eksitasi sebesar 0,025 kV dan arus eksitasi sebesar 0.140 kA. Serta nilai tegangan terendah ialah 6,259 kV dengan nilai tegangan 0.23 kV dan arus eksitasi 0,011 kA

DAFTAR PUSTAKA

- A. K. Datta,(2014), Modelling and Simulation of Static Excitation System in Synchronous Machine Operation.
- F. Sari, A. Darmanto, (2021), Analisis Sistem Eksitasi Pada Generator Pararel Terhadap Daya Reaktif, jurnal Teknik, pp.10-19.
- Chapman, S. J. (2005). Electric Machinery Fundamental. New York: McGraw
- Habibi, P. H. (2019). Pengaruh Sistem Eksitasi terhadap Tegangan Keluaran Generator pada Unit 3 PLTU Banten 3 Lontar. Jakarta: STT-PLN.
- Savira R, (2020), Analisis Pengaruh Arus Eksitasi Terhadap Daya Reaktif dan Tegangan Terminal Generator Unit 3 PLTP Gunung Salak.
- Sugiyono. (2012). Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. Bandung: Alfabeta.
- Ismail, A. F., Taqiyyuddin, H. M., & Sulo, B. D. (2021). Analisis Sistem Eksitasi Terhadap Kondisi Jenis Beban Pada Generator 11 Kv Di Pt. Pupuk Indonesia Energi. *Science Electro*.
- Suyanto, M., Santoso, G., & Permadi, A. L. (2021). Penerapan Pembangkit Listrik Piko Hidro Model Kanal Terbuka Menggunakan Generator Magnet Permanen, Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) 2021 Yogyakarta, ISSN: 1979-911X,