

ANALISIS ARUS EKSITASI TERHADAP DAYA REAKTIF GENERATOR SINKRON DI UNIT 4 PLTU BUKIT ASAM

Dyah Utari Yusa Wardhani^{1*}, Pertiwi Nurul Utami², Mutiar³, Dwi Ayuningtyas⁴, Choirul Rizal⁵

1,2,3,4 Program Studi D-III Teknik Listrik Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Sriwijaya,
Indonesia

5 Program Studi Teknik Elektro, Universitas Palembang, Indonesia

e-mail: dyah.utari.yusa@polsri.ac.id

ABSTRAK

Analisis yang dilakukan yaitu untuk mengetahui besar nilai tegangan induksi (E_a) yang dibangkitkan oleh generator serta mengetahui pengaruh arus eksitasi (I_f) terhadap daya reaktif (Q). Semakin tinggi arus eksitasi maka semakin kuat kekuatan medan magnet (fluks) rotor generator dan menyebabkan semakin tinggi tegangan yang dibangkitkan oleh generator, oleh karena itu semakin tinggi daya reaktif yang dihasilkan untuk memasok beban induktif oleh sebab itu semakin besar sudut jeda antara arus dan tegangan. Jika didapatkan cosinus dari sudut yang lebih besar maka akan mendapatkan nilai cosinus yang lebih rendah, contoh faktor daya dari $0.96 = 16,26^\circ$ itulah sebabnya didapatkan nilai arus eksitasi lebih tinggi. Begitu juga sebaliknya. Ketika nilai $I_f = 54$ A dan nilai $Q = 7.09$ MVAR, kemudian saat nilai I_f dinaikkan menjadi $I_f = 55$ A maka nilai Q juga mengalami kenaikannya itu sebesar $Q = 8.6$ MVAR.

Kata Kunci: Tegangan Induksi, Arus Eksitasi, Daya Reaktif.

ANALYSIS OF EXCITATION CURRENT ON THE REACTIVE POWER OF SYNCHRONOUS GENERATOR AT UNIT 4 PLTU BUKIT ASAM

ABSTRACT

The analysis carried out is to find out the value of the induced voltage (E_a) generated by the generator and to determine the effect of the excitation current (I_f) on reactive power (Q). The higher the excitation current, the stronger the magnetic field strength (flux) of the rotor generator and causes the higher the voltage generated by the generator, therefore the higher the reactive power produced to supply the inductive load therefore the greater the gap between the current and voltage. If you get a cosine from a larger angle you will get a lower cosine value, for example a power factor of $0.96 = 16.26^\circ$ which is why you get a higher excitation current value. Vice versa. When the I_f value = 54 A and the value $Q = 7.09$ MVAR, then when the I_f value is raised to $I_f = 55$ A then the value of Q also increases, which is equal to $Q = 8.6$ MVAR.

Key words: Induction Voltage, Excitation Current, Reactive Power.

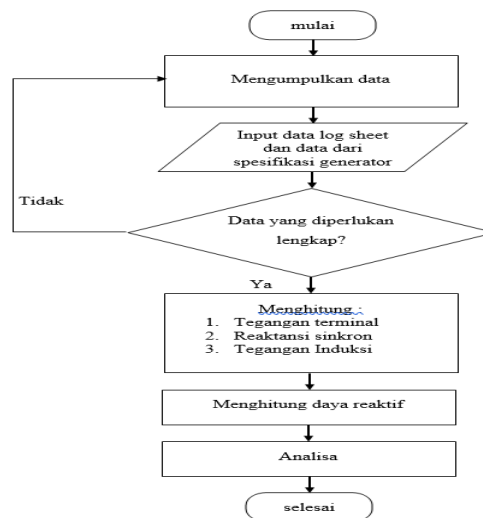
I. PENDAHULUAN

Generator pembangkit listrik memiliki kemampuan daya yang bervariasi selama pertumbuhannya. Dalam hal pembebanan, kapasitas daya yang dihasilkan oleh generator sangat penting dan bergantung pada potensi sumber energi primer. Pembangkit listrik menggunakan jaringan interkoneksi untuk mendistribusikan listrik guna memenuhi kebutuhan energi listrik beban. Sehingga energi listrik didistribusikan dengan cara yang lebih optimal. Jaringan interkoneksi menghubungkan dan menyinkronkan antara generator satu dan yang lain dengan dihubungkan secara paralel terhadap beban. Sebagai prasyarat sinkronisasi generator, tegangan harus diatur agar generator dapat diparalelkan dengan jaringan interkoneksi. Tegangan generator harus dijaga agar nilainya selalu sinkron dengan jaringan karena tegangan akan turun saat generator dioperasikan secara paralel dengan beban karena bebannya selalu berubah-ubah. Penguatan medan atau sistem eksitasi diperlukan untuk mempertahankan nilai tegangan generator yang stabil dengan mengatur arus eksitasi. Daya reaktif (MVAR) juga akan terpengaruh oleh pengaturan tegangan yang disebabkan oleh arus eksitasi. Ketika terjadi peningkatan arus eksitasi akan mengakibatkan kenaikan tegangan dan daya reaktif dan sebaliknya ketika arus eksitasi mengalami penurunan maka akan mengakibatkan penurunan tegangan dan daya reaktif^[5].

II. METODE PENELITIAN

PLTU Bukit Asam menggunakan sistem eksitasi tanpa sikat (brushless excitation). Generator AC dengan penyearah putar merupakan sistem eksitasi pada generator unit 4 PLTU Bukit Asam. Pada saat start awal, baterai DC 110 V memberi daya pada suplai d eksitasi, yang dibantu oleh rangkaian *field flashing* yang berisi sebuah penyearah dan kontaktor DC. Selain itu, penyearah ini dapat mencegah terjadinya tegangan balik dari tegangan penguatan yang terjadi [2]. Komponen *field flashing* kemudian dilepaskan setelah tegangan generator mencapai 30 hingga 40% dari tegangan generator nominal. Hal ini memutus suplai dari baterai dan mengambil suplai eksitasi dari keluaran generator yang diturunkan oleh transformator eksitasi. Keluaran transformator eksitasi disearahkan menggunakan rangkaian penyearah dalam bentuk thyristor dan AVR mengatur penyalan thyristor berdasarkan kebutuhan eksitasi generator, sehingga menghasilkan tegangan yang stabil. Tegangan yang dihasilkan disalurkan menuju *AC exciter*. Karena rotor generator utama dan *AC exciter* berada pada satu poros yang sama, saat turbin berputar, rotor juga akan berputar dan menimbulkan tegangan pada *AC exciter*, yang kemudian disearahkan oleh *rotating dioda* dan digunakan sebagai penguat pada rotor generator utama. Medan magnet akan terbentuk saat kumparan rotor generator utama menerima arus DC. Hal ini akan menyebabkan kumparan magnet rotor memotong kumparan jangkar stator selama putaran, sehingga kumparan jangkar stator generator utama menghasilkan gaya gerak listrik (GGL) AC tiga fasa. Setelah itu, tegangan tiga fasa 11 KV yang dihasilkan oleh generator akan disalurkan ke transformator eksitasi untuk proses eksitasi generator dan ke transformator daya untuk menaikkan tegangan menjadi 150 KV yang selanjutnya akan disalurkan melalui sistem transmisi 150 KV.

Berikut ini merupakan tahapan dalam perhitungan yang akan digunakan untuk menganalisa :



Gambar 1. Flowchart Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

III.1 Hasil

Berikut ini merupakan data hasil operasional generator :

Tabel 3. 1 Data Operasi Generator

Time	Load		Voltage			Current			Power Factor	Exciter	
	MW	MVAR	R (KV)	S (KV)	T (KV)	R (KA)	S (KA)	T (KA)		V	A
15:00	35.2	10.25	10.9	10.9	10.9	1.94	1.9	2	0.96	18	56
16:00	34.7	8.6	10.9	11	11	1.9	1.88	1.9	0.97	18	55
17:00	34.7	8.6	10.9	11	11	1.9	1.84	1.94	0.97	17	55
18:00	34.8	7.09	10.9	11	11	1.88	1.81	1.93	0.98	17	54
19:00	34.5	7.06	10.9	11	11	1.87	1.81	1.92	0.98	17	53
20:00	34.5	7.06	10.9	11	11	1.87	1.82	1.92	0.98	17	53
21:00	34.5	7.02	10.9	11	11	1.86	1.81	1.91	0.98	16	52
22:00	34.5	4.88	10.9	11	11	1.85	1.8	1.9	0.99	16	51
23:00	34.2	4.83	10.9	11	11	1.83	1.83	1.94	0.99	15	50
0:00	33.6	4.76	10.9	11	10.9	1.8	1.8	1.9	0.99	15	49
1:00	33.6	4.76	10.9	11	10.9	1.8	1.7	1.8	0.99	15	48

III.2 Pengaruh Arus Eksitasi (I_f) terhadap E_a dan V_t

Perubahan arus eksitasi berpengaruh terhadap fluktuasi tegangan terminal (V_t) dan tegangan induksi (E_a) pada saat berbeban. Sebelum menghitung tegangan induksi ada beberapa variabel yang harus dicari yaitu, tegangan terminal (V_t), resistansi generator, reaktansi generator.

1. Menghitung Tegangan Terminal

Untuk perhitungan diambil dari tabel 4.1 yaitu data pada pukul 15.00 WIB yang dapat dilakukan perhitungan parameter-parameter sebagai berikut :

$$V_L = 10900 \text{ V}$$

$$I_a = 1940 \text{ A}$$

$$V_t = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$$

$$= \frac{10900}{\sqrt{3}}$$

$$= 6293,11 \text{ V}$$

2. Perhitungan Reaktansi Sinkron

Sebelum menghitung reaktansi sinkron Per fasa harus terlebih dahulu impedansi sinkron pada Generator. Untuk menghitung impedansi sinkron diketahui nilai-nilainya adalah sebagai berikut :

$$V_L = 11000 \text{ V}$$

$$V_t = 6350,85 \text{ V}$$

$$I_{sc} = 6610 \text{ A}$$

$$R_a = 0,0028 \text{ ohm}$$

$$Z_s = \frac{V_t}{I_{sc}}$$

$$= \frac{6350,85}{6610}$$

$$= 0,96 \Omega$$

Setelah Z_s dan R_a sudah diketahui maka harga X_s dapat dicari dengan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} X_s &= \sqrt{Z_s^2 - R_a^2} \\ &= \sqrt{(0,96)^2 - (0,0028)^2} \\ &= 0,959 \Omega \end{aligned}$$

3. Menghitung Tegangan Induksi Jangkar Generator

Maka tegangan induksi yang dibangkitkan oleh generator per fasa dapat dihitung :

$$V_t = 6293,11 \text{ V}$$

$$I_a = 1940 \text{ A}$$

$$R_a = 0,0028 \Omega$$

$$X_s = 0,959 \Omega$$

$$\cos \theta = 0,96$$

$$\theta = \cos^{-1} 0,96 = 16,26^\circ$$

$$\sin \theta = \sin 16,26^\circ = 0,28$$

$$E_a = \sqrt{(V_t \cos \theta + I_a R_a)^2 + (V_t \sin \theta + I_a X_s)^2}$$

$$E_a = \sqrt{(6293,11 \cdot 0,96 + 1940 \cdot 0,0028)^2 + (6293,11 \cdot 0,28 + 1940 \cdot 0,959)^2}$$

$$E_a = \sqrt{(6041,3856 + 5,432)^2 + (1762,0708 + 1860,46)^2}$$

$$E_a = \sqrt{36564003,088 + 13122729,397}$$

$$E_a = \sqrt{49686732,485}$$

$$E_a = 7048,88 \text{ V}$$

Jadi tegangan induksi saluran yang dibangkitkan oleh generator Yaitu:

$$E_{aL} = \sqrt{3} \cdot E_{a/ph}$$

$$= \sqrt{3} \cdot 7048,88 \text{ V}$$

$$= 12209,01 \text{ V}$$

Berdasarkan hitungan di atas maka dapat dimasukkan ke dalam tabel 4.1 berdasarkan data generator unit 4 PLTU Bukit Asam .

III.3 Pengaruh Arus Eksitasi (I_f) terhadap Daya Reaktif (Q)

Karena beban sering berubah-ubah terhadap waktu dan permintaan daya, maka diperlukannya pengaturan terhadap arus eksitasi. Perhitungan parameter-parameter sebagai berikut :

Dari data yang diperoleh :

$$I_f = 56 \text{ A}$$

$$V_L = 10900 \text{ V}$$

$$I_L = 1940 \text{ A}$$

$$\cos \theta = 0,96$$

$$\theta = \cos^{-1} 0,96 = 16,26^\circ$$

$$\sin \theta = \sin 16,26^\circ = 0,28$$

maka diperoleh hasil perhitungan daya aktifnya yaitu:

$$P = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \cos \varphi$$

$$P = \sqrt{3} \times 10900 \times 1940 \times 0,96$$

$$P = 35,2 \text{ MW}$$

maka diperoleh hasil perhitungan daya reaktifnya yaitu :

$$Q = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \sin \varphi$$

$$Q = \sqrt{3} \times 10900 \times 1940 \times 0,28$$

$$Q = 10,25 \text{ MVAR}$$

maka diperoleh hasil perhitungan daya semunya yaitu :

$$S = \sqrt{3} \times V_L \times I_L$$

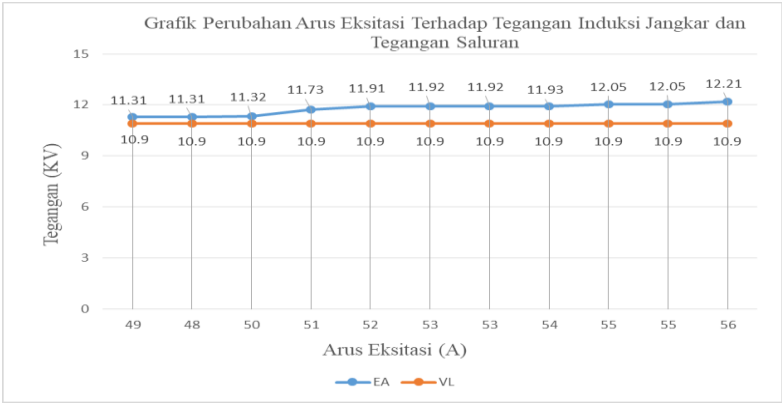
$$S = \sqrt{3} \times 10900 \times 1940$$

$$S = 36,62 \text{ MVA}$$

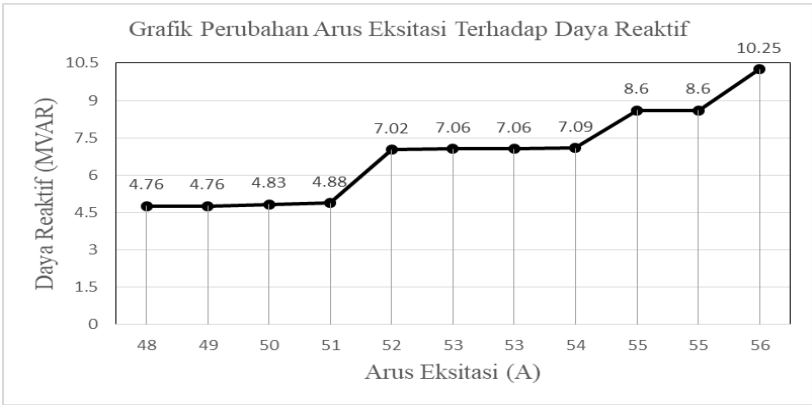
Berdasarkan perhitungan seperti di atas maka didapatkan perhitungan data dayanya yang tertera pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Tabel Perhitungan Daya Reaktif dan Tegangan Induksi Saluran

Jam	Daya Aktif (MW)	Data Reaktif (MVAR)	Tegangan Saluran VL (KV)	Arus Saluran IL (KA)	Faktor Daya	Eksitasi		Tegangan Induksi Jangkar $E_a \cdot \sqrt{3}$ (KV)
						V _f (V)	I _f (A)	
15:00	35.2	10.25	10.9	1.94	0.96	18	56	12.21
16:00	34.7	8.6	10.9	1.9	0.97	18	55	12.05
17:00	34.7	8.6	10.9	1.9	0.97	17	55	12.05
18:00	34.8	7.09	10.9	1.88	0.98	17	54	11.93
19:00	34.5	7.06	10.9	1.87	0.98	17	53	11.92
20:00	34.5	7.06	10.9	1.87	0.98	17	53	11.92
21:00	34.4	7.02	10.9	1.86	0.98	16	52	11.91
22:00	34.5	4.88	10.9	1.85	0.99	16	51	11.73
23:00	34.2	4.83	10.9	1.83	0.99	15	50	11.32
0:00	33.6	4.75	10.9	1.8	0.99	15	49	11.31
1:00	33.6	4.76	10.9	1.8	0.99	15	48	11.31



Gambar 2. Grafik Perubahan Arus Eksitasi Terhadap Tegangan Induksi Jangkar Dan Tegangan Saluran



Gambar 3. Grafik Perubahan Arus Eksitasi Terhadap Daya Reaktif

III.4 Analisa

Berdasarkan Gambar 3 diketahui hubungan perubahan arus eksitasi terhadap tegangan saluran dan tegangan induksi jangkar. Dibuktikan dengan hasil perhitungan pada tabel 4.1 yaitu saat $I_f = 55$ A dan nilai $E_a = 12.05$ KV, kemudian saat I_f dinaikkan menjadi $I_f = 56$ A nilai E_a juga bertambah besar yaitu $E_a = 12.21$ KV. Saat $I_f = 54$ A dan nilai $E_a = 11.93$ KV, kemudian saat I_f diturunkan menjadi $I_f = 53$ A nilai E_a juga bertambah kecil yaitu $E_a = 11.92$ KV. Dari hasil perhitungan tersebut bahwa I_f berbanding lurus dengan E_a , semakin tinggi arus eksitasi maka semakin besar juga tegangan induksi yang dibangkitkan (E_a) yang dihasilkan. Begitu juga sebaliknya saat I_f diperkecil maka tegangan induksi yang dibangkitkan (E_a) juga semakin kecil.

Pada Gambar 4 grafik tersebut menjelaskan hubungan I_f terhadap Q yang diperoleh dari perhitungan, maka dapat diketahui bahwa sifat arus eksitasi berbanding lurus dengan daya reaktif. Hal ini dibuktikan dengan hasil perhitungan pada tabel 4.2 ketika nilai $I_f = 54$ A dan nilai $Q = 7.09$ MVAR, kemudian saat nilai I_f dinaikkan menjadi $I_f = 55$ A maka nilai Q juga mengalami kenaikan yaitu sebesar $Q = 8.6$ MVAR. Dari pembuktian tersebut bahwa semakin besar nilai arus eksitasi (I_f) maka semakin besar juga nilai daya reaktifnya (Q), begitu juga sebaliknya ketika arus eksitasi semakin kecil maka daya reaktif juga akan semakin kecil. Sudut yang lebih besar maka akan mendapatkan nilai cosinus yang lebih rendah, contoh faktor daya dari $0.96 = 16,26^\circ$ itulah sebabnya didapatkan nilai arus eksitasi lebih tinggi.

IV. KESIMPULAN

1. Kekuatan medan magnet (fluks) rotor generator meningkat seiring dengan meningkatnya nilai arus eksitasi, sehingga menyebabkan meningkatnya tegangan yang dihasilkan oleh generator. Saat $I_f = 55$ A dan nilai $E_a = 12.05$ KV, ketika nilai I_f dinaikkan menjadi 56 A maka nilai E_a juga bertambah besar yaitu 12.21 KV. Sebaliknya, pada saat nilai I_f diturunkan menjadi 54 A maka nilai E_a ikut turun menjadi 11.93 KV, dan semakin turun ketika nilai I_f diturunkan menjadi 53 A dimana nilai E_a juga bertambah kecil yaitu $E_a = 11.92$ KV.
2. Besar faktor daya dipengaruhi oleh sudut antara tegangan dan arus, dimana sudutnya akan semakin kecil ketika faktor daya mendekati nilai 1, contoh faktor daya dari $0.96 = 16,26^\circ$ sehingga didapatkan nilai arus eksitasi yang tinggi. Semakin besar arus eksitasi maka nilai Q juga akan semakin besar. Ketika nilai $I_f = 54$ A dan nilai $Q = 7.09$ MVAR, kemudian saat nilai I_f dinaikkan menjadi 55 A maka nilai Q juga mengalami kenaikan yaitu sebesar 8.6 MVAR.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Budiardi, Esa. 2016. *Analisa Pengaruh Arus Eksitasi Terhadap Daya Reaktif Generator*. Repository UGM : Yogyakarta.
- [2] Erwin dan Hilman. 2016. *Teknik Generator*. Akademi Udiklat : Suralaya.
- [3] Marsudi, Djiteng. 2011. *Pembangkitan Tenaga Listrik Edisi Kedua*. Erlangga: Jakarta.
- [4] Rinjono. Jon. 1997. *Dasar Teknik Listrik (Edisi Revisi)*. Andi Offset : Yogyakarta.
- [5] Rizdki, Imron. 2000. *Pengaruh Arus Eksitasi Terhadap Daya Reaktif Generator*. Malang : Repository Politeknik Negeri Malang.

- [6] Wijaya, Mochtar. 2001.*Dasar-dasar Mesin Listrik*. Djambatan: Jakarta.
- [7] Zuhail. 1991, *Dasar Tenaga Listrik*. ITB : Bandung.