

ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN EKSITASI TERHADAP DAYA REAKTIF GENERATOR

Imron Ridzki¹

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh perubahan eksitasi terhadap daya reaktif generator pada unit pembangkitan. Analisis yang dilakukan meliputi operasi paralel generator sinkron dengan sistem daya, perubahan beban, perubahan tegangan, perubahan eksitasi, dan pengontrolan daya reaktif. Penelitian ini menyimpulkan bahwa fluktuasi tegangan berkisar $\pm 0,66\%$ dari tegangan nominal. Tegangan cenderung konstan agar sinkronisasi terjaga dengan sistem. Kenaikan eksitasi awal berkisar $\pm 3,27\%$. Adanya perubahan daya reaktif sebesar $\pm 5,26$ MVAR. Arus medan generator mengontrol daya reaktif yang disuplai generator ke sistem daya.

Kata-kata kunci: perubahan tegangan, eksitasi, daya reaktif, sistem daya

Abstract

This research is to analyze the effect of excitation changes on reactive power of generators operated in power plant unit. The analysis consists of the parallel operation between synchronous generator and power system, the load fluctuation, the voltage fluctuation, the excitation fluctuation, and reactive power control. This research concludes that the voltage fluctuation is $\pm 0.66\%$ of nominal voltage. In order to keep synchronous state between generator and power system, the voltage is almost constant everytime. The increment of the initial excitation is about $\pm 3.27\%$. The fluctuation of reactive power is about ± 5.26 MVAR. The field current of generator controls reactive power supplied to the power system by generator.

Keywords: *voltage fluctuation, excitation, reactive power, power system*

1. PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan energi listrik mendorong peningkatan penyediaan pembangkitan energi listrik yang memadai. Generator adalah salah satu peralatan utama dalam suatu pembangkit tenaga

¹ *Imron Ridzki. Program Studi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang.*

listrik, baik pada pembangkit listrik tenaga air, pembangkit listrik tenaga gas, pembangkit listrik tenaga uap, dan pembangkit listrik tenaga diesel. Pembebanan sistem interkoneksi selalu berubah-ubah setiap saat, sehingga unit-unit generator pada masing-masing pembangkit yang berkontribusi pada sistem interkoneksi harus selalu siap menghadapi berbagai kondisi sistem (Weedy, et.al., 1988: 77). Perubahan beban itu menyebabkan fluktuasi perubahan tegangan keluaran generator. Perubahan tegangan keluaran bisa menimbulkan bermacam-macam efek ke generator. Kondisi stabilitas generator bisa mempengaruhi stabilitas sistem tenaga listrik secara umum. Stabilitas sistem tenaga listrik adalah permasalahan penting dalam menunjang kehandalan sistem tenaga listrik.

Oleh karena itu fenomena pengaruh perubahan tegangan generator perlu dianalisis dalam rangka mendukung stabilitas dan kehandalan sistem tenaga listrik. Makalah ini membahas pengaruh perubahan eksitasi terhadap daya reaktif generator pada unit pembangkitan.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1. Hubungan Tegangan Terminal dan Eksitasi

Eksitasi adalah bagian dari sistem dari generator yang berfungsi membentuk/menghasilkan fluksi yang berubah terhadap waktu, sehingga dihasilkan satu GGL induksi (Jerkovic, et.al., 2010: 142). Setelah generator AC mencapai kecepatan nominal, medannya dieksitasi dari catu DC. Ketika kutub lewat di bawah konduktor jangkar, fluksi medan yang memotong konduktor menginduksikan GGL pada konduktor jangkar. Besarnya GGL yang dibangkitkan tergantung pada laju pemotongan garis gaya (kecepatan rotor) dan kuat medan. Karena generator kebanyakan berkerja pada kecepatan konstan, maka besarnya GGL yang dibangkitkan menjadi bergantung pada eksitasi medan. Eksitasi medan dapat langsung dikendalikan dengan mengubah besarnya tegangan eksitasi yang dikenakan pada kumparan medan generator.

Arus medan merupakan arus searah yang diberikan pada belitan rotor. Pemberian arus medan ini bertujuan untuk menghasilkan fluks dan medan pada kumparan rotor. Berdasarkan

hukum Faraday, jika suatu penghantar yang dialiri arus listrik yang digerakkan di sekitar kumparan, maka pada kumparan tersebut timbul GGL induksi (Akhmad, 1983: 27).

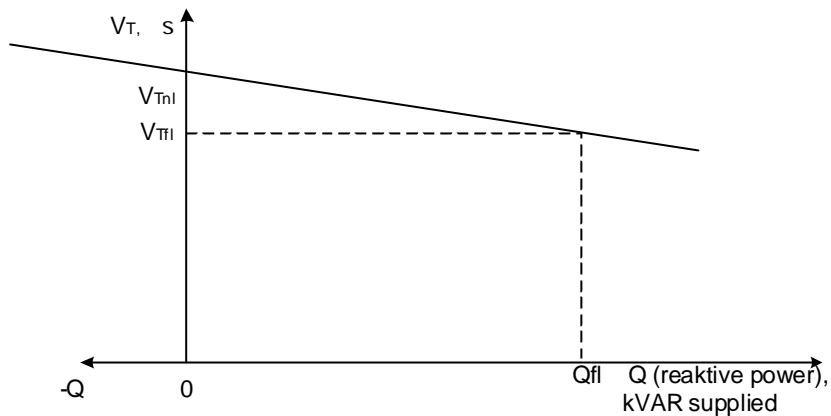
Sama halnya dengan kumparan rotor (kumparan medan) yang dialiri arus listrik kemudian diputar, maka medan di sekitar kumparan medan akan memotong batang-batang konduktor pada stator (kumparan jangkar) (Azis, 1984: 46). Apabila pada ujung-ujung kumparan stator (terminal stator) diberi beban, maka akan timbul GGL induksi pada kumparan stator dan menghasilkan tegangan listrik pada terminal stator yang dihubungkan ke beban tadi.

Tegangan induksi yang dihasilkan tergantung dari rata-rata perubahan fluksi yang melingkupi. Tegangan yang dihasilkan terdapat pada kumparan jangkar dan tergantung dari kuat medan pada rotor dan kecepatannya (Listen, 1988: 239).

Besar kecilnya fluksi tergantung dari arus medan yang diberikan pada kumparan medan. Jika dalam pelaksanaannya putaran generator dibuat tetap, maka tegangan generator tergantung pada kuat lemahnya arus pada kumparan medan (Listen, 1988:239).

2.2. Hubungan Tegangan Terminal dan Daya Reaktif

Pada generator juga ada hubungan antara tegangan terminal VT dan daya reaktif Q. Ketika muatan lambat ditambahkan pada generator sinkron, tegangan terminalnya akan menurun. Sebaliknya, ketika muatan utama ditambahkan pada generator sinkron, maka tegangan terminalnya akan naik. Hal ini dimungkinkan membuat kurva tegangan terminal terhadap daya reaktif, dan plot itu memiliki karakteristik menurun seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kurva tegangan terminal (V_T) dan daya reaktif (Q)

Karakteristik ini tidak linier, tetapi banyak regulator tegangan generator memasukkan fitur untuk melinierkan. Kurva karakteristik dapat dinaikkan dan diturunkan dengan mengubah tegangan terminal tanpa muatan poin yang ditetapkan pada regulator tegangan. Seperti dengan karakteristik daya frekuensi, kurva ini memainkan peran penting dalam operasi parallel generator sinkron.

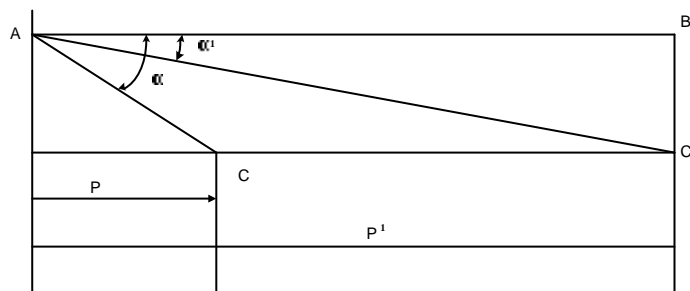
Maka penting merealisasikan bahwa satu generator beroperasi sendiri, daya nyata P dan daya reaktif Q yang disuplai dengan generator akan menjadi jumlah yang diminta oleh muatan yang dicantumkan pada generator P dan Q yang disuplai tidak dapat dikontrol dengan kontrol generator. Karena itu, untuk daya nyata tertentu, pengatur menetapkan poin kontrol frekuensi operasi generator f_e , dan daya reaktif tertentu, kontrol medan arus voltase terminal generator V_T .

3. PEMBAHASAN

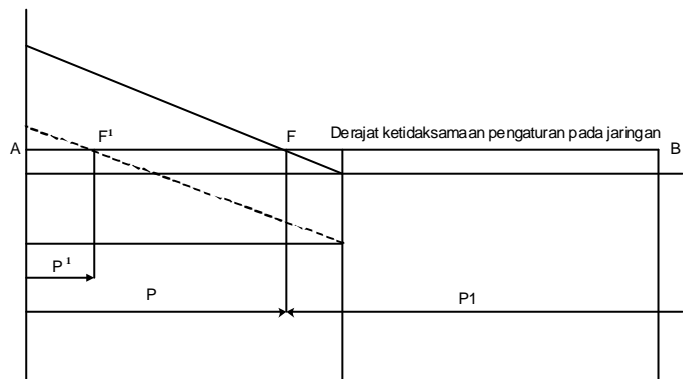
3.1 Perubahan Permintaan Daya

Pada generator yang diparalel dengan sistem daya, apabila putaran dan tegangan dibuat tetap maka pengaturan uap masuk juga ditingkatkan (dengan mengubah set point governor). Pengaruh peningkatan ini, maka frekuensi tanpa muatan generator akan naik. Karena frekuensi sistem tidak berubah (frekuensi infinite bus tidak dapat berubah), maka daya yang disuplai generator meningkat.

Sebagaimana diketahui bahwa semua generator yang bersama-sama memberikan daya pada suatu unit pembangkit yang tunggal mempunyai suatu komposisi pengaturan *Speed Drop* terletak antara pengaturan paling rendah dan yang paling tinggi tiap-tiap individu generator yang beroperasi secara paralel. Gambar 2 adalah karakteristik untuk suatu generator yang mempunyai suatu daya nominal P dan karakteristik S . Jika P naik, karakteristik baru membuat suatu sudut lebih kecil dengan garis horizontal AB paralel pada koordinat daya. Jika beban tak terhingga kurva akan bertepatan dengan AB .



Gambar 2. Karakteristik P Generator



Gambar 3. Karakteristik Generator dan Beban

Dalam Gambar 3, titik operasi generator F terletak pada garis AB . Jika daya generator diturunkan dengan menggunakan *speed changer*, kurva akan bergerak ke bawah. Titik operasi yang baru F' tetap terletak pada garis AB dan frekuensi tidak berubah. Dengan kata lain, bila sebuah generator sedang memberikan daya suatu sistem sangat besar dalam paralel dengan pembangkit-pembangkit lain, kontrol tambahan akan efektif merubah daya dan generator itu khusus tetapi frekuensi akan tetap konstan. Ini

dijaga pada harga normal oleh suatu unit pembangkit lain yang dihubungkan dengan sistem.

3.2 Pengaruh Fluktuasi Tegangan

Berdasarkan data-data harian yang diperoleh, maka dapat dihitung parameter-parameter sebagai berikut:

Dari *nameplate* diketahui:

$$X_s = 1,81 \text{ pu};$$

$$V = 15000 \text{ Volt};$$

$$I = 9623 \text{ A}$$

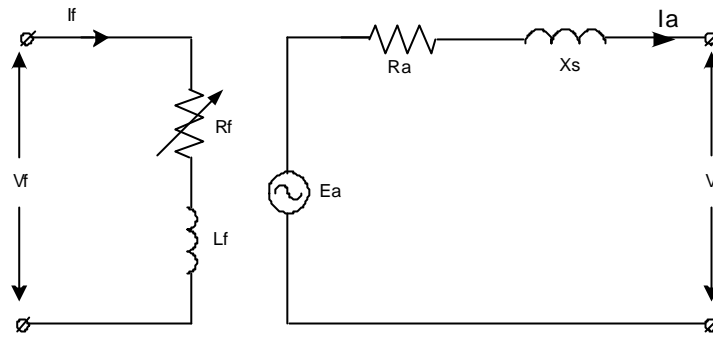
$$Z_{base} = \frac{V_{base}}{I_{base}}$$

$$= \frac{15000}{9623 \sqrt{3}}$$

$$= 0,9$$

$$X_s \text{ (dalam } \Omega) = 1,81 \times 0,9 \\ = 1,6 \Omega$$

Dari data:	$I_f = 954 \text{ A}$
	$V = 15 \text{ kV}$
	$I_a = 3950 \text{ A}$
	$\cos \varphi = 0,99$
	$\varphi = 8,1^\circ$
Ea	$= V + jIX_s$
	$= 15 \text{ kV} + (j3950 \times 1,6)$
	$= 16,3 \text{ kV} \angle 89,99^\circ$
S	$= V.I$
	$= 15000 \times 3950$
	$= 59.250.000 = 59,25 \text{ MVA}$
Q	$= S \cdot \sin \varphi$
	$= 59,25 \times \sin 8,1^\circ$
	$= 8,3 \text{ MVAR}$



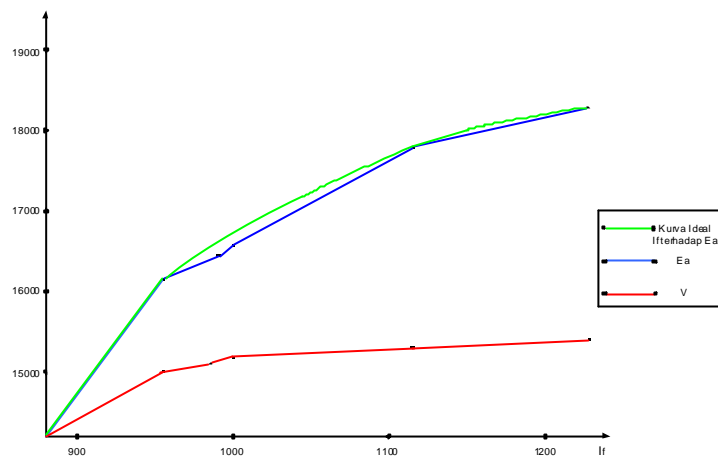
Gambar 4. Rangkaian Ekivalen Generator

Berdasarkan perhitungan diatas dapat dibuat tabel berdasarkan beberapa kondisi pada bulan Maret seperti Tabel 1.

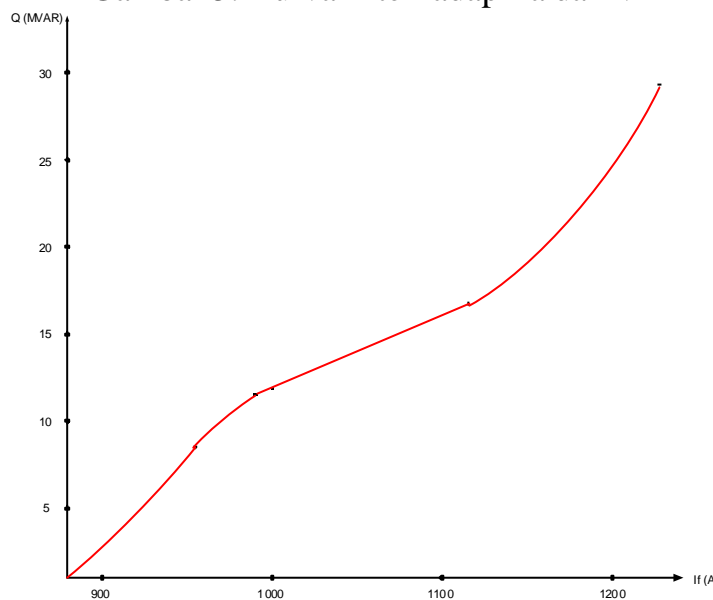
Tabel 1. Perhitungan Ea dan Q

I_f (A)	I_a (A)	$\text{Cos } \phi$	V_T (kV)	E_a (kV)	Q (MV AR)
954	3950	0.99	15	16.3	8,24
990	3900	0.98	15.1	16.4	11,7
1000	3900	0.98	15.2	17.5	11,8
1110	5700	0.97	15.3	17.81	16,7
1270	6100	0.95	15.4	18.23	29,3

Dari data Tabel 1, pada perhitungan pada titik-titik tertentu, maka dapat diperoleh bahwa semakin besar I_f maka nilai E_a pun juga semakin besar. Kenaikan yang paling mencolok pada $I_f = 1000$ A yang mempunyai nilai $E_a = 17,81$ kV. Hal ini juga mempengaruhi nilai V_T yang berubah yaitu dengan nilai ini cenderung konstan karena untuk menjaga sinkronisasi dengan sistem sebesar 15,2 kV menjadi 15,3 kV jadi naik 0,66% dari tegangan nominal. Jadi apabila nilai kenaikan yang diambil dari data di atas didapatkan perubahan kenaikan E_a sebesar rata-rata $\pm 0,48$ kV, maka menyebabkan kenaikan tegangan sebesar 0,66% dari tegangan nominal. Dari data perhitungan di atas juga didapat perubahan nilai Q (daya reaktif) akibat perubahan I_f rata-rata 3,27% (diambil dari sampel data) dengan nilai perubahan Q rata-rata sebesar $\pm 5,26$ MVAR.



Gambar 5. Kurva If terhadap Ea dan V



Gambar 6. Kurva Hubungan If terhadap Q

Penyebab perbedaan kurva hubungan If dan Ea ideal dengan kurva hasil perhitungan adalah:

1. Karena adanya rugi-rugi pada eksitasi. Meskipun rugi eksitasi dianggap kecil, tetapi masih berpengaruh terhadap nilai Ea. Semakin besar arus eksitasi yang disuplai, maka lilitan pada rotor juga akan panas. Hal ini akan berakibat arus eksitasi juga berkurang dan Ea juga akan turun sedikit.
2. Karena kurva ideal diambil pada generator masih keadaan baru (dalam keadaan ideal). Pada generator yang sudah dioperasikan begitu lama, kinerjanya juga akan menurun.
3. Karena perubahan beban yang disuplai generator.

3.3 Daya Reaktif Negatif

Berdasarkan data dan kurva perubahan tegangan pada beberapa bulan tertentu didapatkan adanya nilai Q (daya reaktif) yang bernilai negatif. Diambil 1 bulan tertentu dengan Q (daya reaktif) yang bernilai negatif sebagai sampel, didapatkan perhitungan sebagai berikut:

Data : $I_f = 884 \text{ A}$
 $V = 15,2 \text{ kV}$
 $I_a = 3866 \text{ A}$
 $\cos \varphi = -0,99$
 $\Phi = -8,1^\circ$

Maka:

$$S = V.I$$

$$= 15,2 \times 3866$$

$$= 59,6 \text{ MVA}$$

$$Q = S \cdot \sin \varphi$$

$$= 59,6 \times (\sin -8,1^\circ)$$

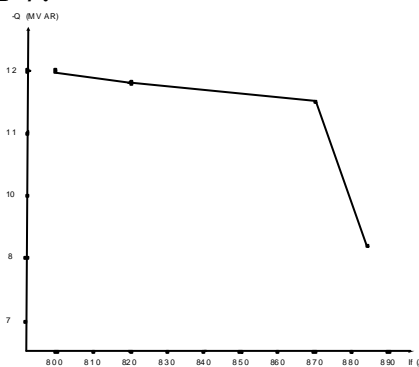
$$= -8,3 \text{ MVAR}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka didapatkan Tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan Q Negatif

I_f (A)	I_a (A)	$\cos \varphi$	V (kV)	Q (MVAR)
800	4000	-0,98	15	-12
820	4000	-0,98	14,9	-11,85
870	3900	-0,99	15	-11,63
884	3866	-0,99	15,2	-8,3

Berdasarkan Tabel 2, didapatkan kurva hubungan I_f terhadap Q seperti pada gambar 7.



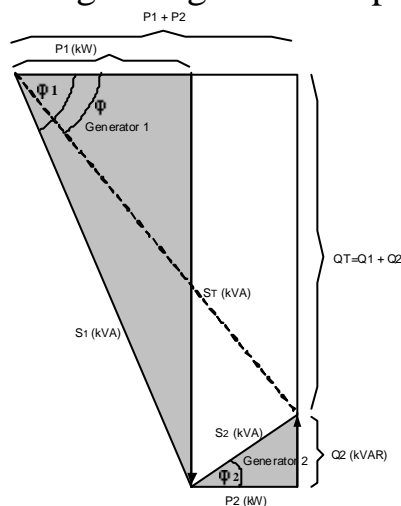
Gambar 7. Kurva Hubungan I_f terhadap Q

Berdasarkan gambar 7, semakin kecil I_f maka daya reaktif (Q) semakin turun yaitu:

- Saat $I_f = 884$ A ——— $Q = -8,3$ MVAR
- Saat $I_f = 870$ A ——— $Q = -11.63$ MVAR
- Saat $I_f = 820$ A ——— $Q = -11.85$ MVAR
- Saat $I_f = 800$ A ——— $Q = -12$ MVAR

Generator yang mempunyai nilai Q (daya reaktif) negatif berarti generator tersebut bertindak sebagai kapasitor dengan kata lain generator tersebut mengkonsumsi daya reaktif. Hal ini terjadi karena generator terlalu dibebani beban kapasitif pada saat terjadi nilai negatif tersebut. Kondisi ini disebabkan beroperasinya motor sinkron secara bersamaan pada sebagian besar pabrik. Bagaimana generator tersebut dapat disesuaikan dengan pensuplaian daya reaktif kepada sistem tersebut, tergantung pada menyesuaikan arus medan (I_f).

Dalam sistem interkoneksi, jika ada generator lain yang diberi eksitasi berlebihan ketika menghadapi penambahan beban, maka pada generator lainnya akan menyerap daya reaktif (daya reaktif negatif). Kurva daya 2 generator, dengan salah satu generator menyerap daya reaktif negatif digambarkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Kurva Daya 2 Generator

Berdasarkan Gambar 8, diketahui bahwa generator 1 yang mempunyai kapasitas yang lebih besar daripada generator 2. Eksitasi generator 1 dinaikkan lebih sehingga E_1 lebih besar dari E_2 , sehingga daya reaktif generator 2 bernilai negatif (karena

bersifat kapasitif). Kondisi ini hanya sesaat, karena apabila berlangsung terus menerus akan mengakibatkan rele yang mengamankan generator 2 akan bekerja. Dalam makalah ini, generator yang dibahas adalah generator 2 yang berkapasitas lebih kecil dibanding generator 1.

4. PENUTUP

Berdasarkan pembahasan dapat disimpulkan bahwa fluktuasi tegangan berkisar $\pm 0,66\%$ dari tegangan nominal. Tegangan cenderung konstan agar sinkronisasi terjaga dengan sistem. Kenaikan eksitasi awal berkisar $\pm 3,27\%$. Adanya perubahan daya reaktif sebesar $\pm 5,26$ MVAR. Arus medan generator mengontrol daya reaktif yang disuplai generator ke sistem daya.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Akhmad, S., 1983, *Sistem Eksitasi, Divisi Pemeliharaan PLTU Gresik*, Gresik, hal. 27.
- Azis, M., 1984, *Operasi Generator Arus Bolak-Balik, Divisi Pemeliharaan PLTU Gresik*, Gresik, hal. 46.
- Jerkovic, V., Miklosevic, K., Zeljko, S., 2010, *Excitation System Models of Synchronous Generator*, Faculty of Electrical Engineering Osijek, Croatia, 142.
- Listen, E.C., 1988, *Mesin dan Rangkaian Listrik*, Erlangga, Jakarta, 239.
- Weedy, B.M., Cory, B.J., 1998, *Electric Power System*, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, England, 77.