

ANALISIS PENGARUH ARUS JANGKAR TERHADAP PENURUNAN KECEPATAN PUTARAN GENERATOR

Yakob Liklikwatil

Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Mandala Bandung

Abstrak

Generator listrik adalah alat konversi energi elektromekanik yang bekerja berdasarkan proses induksi fluks magnet dari sistem eksitasi ke kumparan jangkar. Tegangan induksi yang timbul pada kumparan jangkar dinamakan gaya gerak listrik (GGL). Besar GGL ini akan bergantung pada kecepatan putaran dan fluks magnet utama dari sistem exciter. Ketika generator diberi beban maka akan timbul suatu gejala yang dinamakan "Reaksi Jangkar" yang akan menurunkan selain tegangan keluaran juga kecepatan putaran generator. Hal itu disebabkan oleh arus yang mengalir pada kumparan jangkar dan menimbulkan fluks magnetik yang melawan fluks magnet utama yang datang dari sistem exciter. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa adanya arus jangkar menyebabkan inti besi jangkar menjadi bersifat magnetik dan menimbulkan gaya yang melawan torka pemutar (PM) sehingga menahan laju putaran rotor dan mengakibatkan putaran generator menurun. Kesimpulan bahwa "Menurunnya putaran generator disebabkan oleh torka lawan yang dihasilkan oleh sifat kemagnetan inti besi jangkar yang ditimbulkan oleh arus yang mengalir pada kumparan jangkar.

Kata Kunci: Generator , Arus Jangkar, Fluks magnet, Kecepatan Putaran

Abstract

An electric generator is an electromechanical energy conversion device that works based on the magnetic flux induction process from the excitation system to the armature coil. The induced voltage that arises in the armature coil is called the electromotive force (EMF). The magnitude of this emf will depend on the rotational speed and the main magnetic flux of the exciter system. When the generator is given a load, a phenomenon called the "Anchor Reaction" will occur which will decrease in addition to the output voltage as well as the rotational speed of the generator. This is caused by the current flowing in the armature coil and creating a magnetic flux that opposes the main magnetic flux coming from the exciter system. The results show that the presence of armature current causes the iron core of the anchor to become magnetic and creates a force that opposes the rotating torque (PM) so that it restrains the rotational speed of the rotor and causes the generator rotation to decrease. The conclusion that "The decrease in generator rotation is caused by the opposing torque generated by the magnetic properties of the armature iron core caused by the current flowing in the armature coil.

Keywords: Generator, Armature Current, Magnetic Flux, Rotational Speed

1. PENDAHULUAN

Generator listrik adalah alat konversi energi elektromekanik yang bekerja berdasarkan proses induksi fluks magnet dari sistem eksitasi ke kumparan jangkar. Tegangan induksi yang timbul pada kumparan jangkar dinamakan gaya gerak listrik (GGL). Besar GGL ini akan bergantung pada kecepatan putaran dan fluks magnet utama dari sistem exciter. Ketika generator diberi beban maka akan timbul suatu gejala yang dinamakan "Reaksi Jangkar" yang akan menurunkan selain tegangan keluaran, juga kecepatan putaran generator. Hal itu disebabkan oleh arus yang mengalir pada kumparan jangkar dan menimbulkan fluks magnetik yang melawan fluks magnet utama yang datang dari sistem exciter. Oleh karena itu perlu untuk mengetahui lebih dalam penyebab dari gejala tersebut. Dalam penelitian yang dilakukan di laboratorium Mesin-mesin Listrik / TTL STT Mandala peneliti/penulis melakukan pengamatan dan analisis secara cermat apa penyebab dan bagaimana sebenarnya pengaruh dari fluks magnet pada inti besi magnetik jangkar dalam hal ini berada pada rotor).

1.1 Tinjauan Khusus Pada Generator Arus Searah Dengan Eksitasi Terpisah

Teori dasar generator berputar tidak terlepas dari hukum dasar sistem elektromagnetik yaitu Faraday dan Gaya Lorentz. Untuk mengetahui dengan lebih tepat korelasi antara arus jangkar, tegangan keluaran dan kecepatan putaran generator. Dalam riset, pengamatan akan dilakukan pembatasan dimana sebuah parameter

yaitu besar fluks eksitasi dijaga agar selalu konstan, sehingga pengamatan hanya pada arus jangkar dan kecepatan putaran generatr. Oleh karena itu, dalam pengujian digunakan sebuah generator eksitasi magnet permanen. Dari hasil pengujian akan ditelusuri bagaimana sebenarnya pengaruh arus jangkar terhadap kecepatan putaran generator dan apa yang menjadi akar penyebab turunnya kecepatan putaran. Ketika generator diberi beban listrik.

Telah diketahui bahwa generator listrik membutuhkan penggera untuk memutar rotor dan alat ini dinamakan penggerak muka atau primemover (PM). Sudah barang tentu bahwa rotor generator menjadi beban bagi PM, artinya bahwa rotor akan memberikan gaya (Torsi) lawan kepada PM. Rotor sebuah generator bisa merupakan system eksitasi dan bisa juga sebagai jangkar (Penghasil daya listrik). Misalkan bahwa rotor adalah sebagai jangkar, dimana kumparan jangkar akan menyuplai arus ke beban listrik.

Hukum Faraday dan Gaya Lorentz adalah gaya yang digunakan untuk memutar armature (kumparan jangkar/ rotor) motor dc. Gaya ini berbanding lurus dengan fluks magnet eksitasi B . Artinya penyebab langsung terjadinya *perputaran n* adalah *Gaya Lorentz* yang sebanding dengan fluks B . Dan apakah fluks magnetik B sama dengan Φ yang termuat dalam persamaan kecepatan putaran motor,

$$e = B.l.v \sin \theta \quad \text{volt} \quad (1)$$

Persamaan Kecepatan Putaran generator

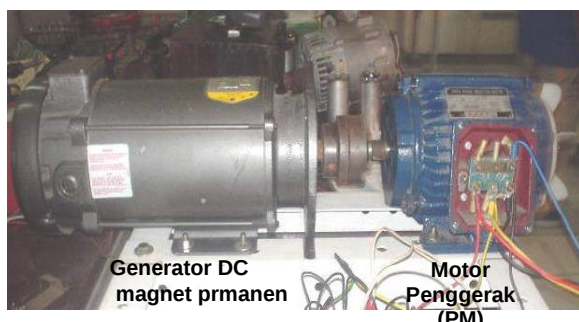
$$n = \frac{V_t + I_a \cdot R_a}{C \cdot \Phi} \quad (\text{Rpm}) \quad (2)$$

2. METODE PENELITIAN

2.1 Pengujian Pada Generator Arus Searah

Generator yang digunakan adalah jenis Eksitasi Magnet permanen 180 V, 1750 rpm 7,7 A, dan sebuah motor dc eksitasi terpisah sebagai penggerak muka (PM)

Beban generator adalah resistor , 1 buah $R = 65 \text{ ohm}$, putaran normal 1750 rpm . Fluks eksitasi konstan (Magnet Permanen)



Gambar 1 : Generator DC magnet prmanen dan Motor penggerak (PM)

2.2 Langkah Pengujian

Pertama menjalankan motor penggerak sebagai PM melalui pengatur tegangan searah, dalam keadaan generator tanpa beban listrik. Mengatur tegangan dan kecepatan putaran PM, hingga harga putaran generator normal sebesar $n_G = 1750 \text{ rpm}$. Melakukan pengamatan kecepatan putaran, ampermeter pengukur arus jangkar generator pada keadaan tanpa beban R, putaran generator 1750 rpm, keadaan normal. Kemudian diberi beban resistor 3 buah R tersusun seri ($3 \times 65 \text{ ohm}$), arus jangkar 0,2 A , putaran generator turun ke 1700 rpm, dan tegangan keluaran V_o turun ke harga 140 V. Kemudian melakukan pemulihan putaran ke harga normal 1750 rpm, tegangan naik ke harga 145 V, arus jangkar naik menjadi 0,4 A. Pembebanan dengan 2 resistor

tersusu seri ($R = 2 \times 65 \text{ ohm}$), arus jangkar menjadi 0,8 A, putaran generator turun ke 1700 rpm, dan tegangan keluaran V_o turun ke harga 140 V .

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan ditunjukkan dalam table 1, Pengamatan kecepatan putaran generator berbeban

Tabel 1

No	Beban Resistor (1R = 65 Ohm)	Teg keluaran (V)	Arus Jangkar (A)	Putaran (rpm)	Keterangan
1	Tanpa beban	150	0	1750	Normal
2	3xR seri	140	0,71	1700	Pembebanan R
3	Pulihkan	145	0,74	1750	Dipulihkan
4	2xR seri	140	0,85	1650	Perubahan beban
5	Pulihkan	145	0,9	1750	Dipulihkan
6	1xR	135	1,6	1600	Perubahan beban
7	Pulihkan	145	1,75	1750	Dipulihkan

3.1 Analisis

Dari table 1 di atas terlihat bahwa dari keadaan tanpa beban arus 0 (nol) putaran 1750 rpm (normal) kemudian diberi beban 3 buah resistor seri maka arus jangkar mengalir sebesar 0,2 A dan putaran turun menjadi 1700 rpm (no.2). Kemudian pada no.4 beban diubah menjadi 2 buah resistor seri artinya beban generator semakin besar sehingga arus jangkar naik menjadi 0,8 A dan putaran turun menjadi 1650 rpm; Dan pada no.6 pembebanan generator lebih besar lagi yaitu 1 buah resistor, arus jangkar sebesar 1,6 A dan putaran turun menjadi 1600 rpm. Dan semua kondisi melalui pemulihan

terlebih dahulu ke keadaan normal. Itu membuktikan bahwa dengan adanya beban dan penambahan yang lebih besar, maka arus yang jangkar menjadi lebih besar dan putaran generator menurun. Seandainya tidak dilakukan pemulihan terlebih dahulu pada setiap perubahan pembebanan, maka jelas kecepatan putaran generator akan lebih rendah dari 1600 rpm (no.6).

Disini terlihat bahwa adanya kenaikan arus jangkar (oleh penambahan beban) akan memperbesar torsi atau gaya lawan dari sistem jangkar dalam hal ini perupakan rotor yang berhubungan langsung dengan poros penggerak PM.

$$\text{Torsi PM, } T_{PM} = F \times r \quad (\text{Nm}) \quad (3)$$

$$\text{Torsi jangkar } T_a = C \times \Phi \times I_a \quad (\text{Nm}) \quad (4)$$

$$\text{Torsi netto, } T_{net} = T_{PM} - T_a \quad (\text{Nm}) \quad (5)$$

dimana :

F = gaya pada penggerak PM (Nm)

r = jari-jari PM (m)

C = konstanta generator

Φ_r = fluks magnet resultan (Wb)

I_a = arus jangkar generator (A)

$$\text{Fluks resultan, } \Phi_r = \Phi_f - \Phi_a \quad (6)$$

dimana

Φ_f = fluks magnet exciter

Φ_a = fluks jangkar

Rangkaian magnetik jangkar:

$$N_a \times I_a = \mathcal{R}_a \times \Phi_a \quad (7)$$

dimana,

N_a = banyak lilitan jangkar (**lilit**)

$\mathcal{R}_a$ = Reluctance inti jangkar (**lilit/Wb**)

Φ_a = fluks pada jangkar (**Wb**)

Fluks jangkar adalah

$$\Phi_a = \frac{N_a \times I_a}{\mathcal{R}_a} \quad (8)$$

Persamaan 8 menunjukkan bahwa fluks jangkar berbanding lurus dengan arus jangkar, banyaknya lilitan kumparan N_a adalah tetap dan reluctance $\mathcal{R}_a$ juga dianggap konstan sehingga penambahan arus jangkar akan memperbesar fluks jangkar, dengan demikian dapat dikatakan bahwa sifat kemagnetan inti jangkar juga akan semakin kuat.

Ini menunjukkan bahwa, karena penambahan arus jangkar, maka sifat kemagnetan inti besi jangkar meningkat sehingga akan mengalami gaya tahan (Tarik menarik) dengan inti besi exciter, menahan rotor dan memperbesar torsi jangkar T_a yang melawan torsi PM (T_{PM}) sehingga memperlambat kecepatan putaran generator n_g . Torsi netto yang dipakai untuk memutar rotor generator semakin melemah dan oleh karenanya putaran akan semakin menurun.

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa adanya arus jangkar menyebabkan inti besi jangkar menjadi bersifat magnetik dan menimbulkan gaya yang melawan torka pemutar (PM) sehingga menahan laju putaran rotor dan mengakibatkan putaran generator menurun. Kesimpulan bahwa "Menurunnya putaran generator

disebabkan oleh torka lawan yang dihasilkan oleh sifat kemagnetan inti besi jangkar yang ditimbulkan oleh arus yang mengalir pada kumparan jangkar.

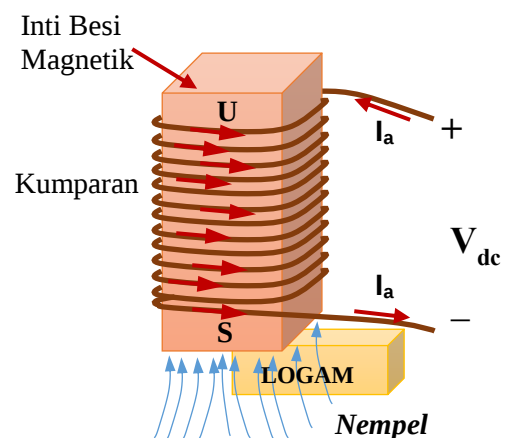
3.2 Sifat Kemagnetan Pada Inti Kumparan Eksitasi Generator

Dua hal yang dapat mempengaruhi kecepatan putaran rotor yaitu: Besarnya fluks magnet di celah udara antara stator dan rotor, dan Sifat kemagnetan inti besi sistem eksitasi dan inti besi jangkar. Dalam sebuah generator dengan sistem eksitasi elektromagnetik, maka apabila kita memperbesar arus eksitasi, maka akan menyebabkan sifat kemagnetan inti besi kumparan eksitasi akan bertambah besar sehingga akan menahan laju perputaran rotor.

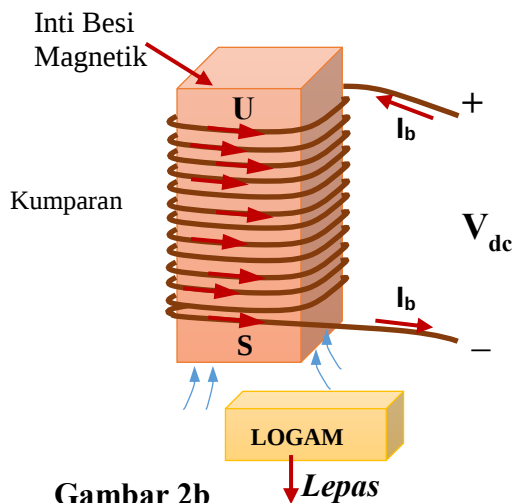
Dalam generator dengan sistem eksitasi magnet permanen (di stator) dan sistem jangkar dengan inti kumparan berada di rotor, maka apabila terjadi penambahan beban sehingga arus jangkar membesar (arus jangkar berbeban), maka sifat kemagnetan dari inti besi jangkar akan meningkat, dan menimbulkan gaya tahan yang lebih besar atau menimbulkan torsi lawan yang lebih besar terhadap torsi poros dari penggerak (PM) dan menyebabkan putaran menurun.

Berikut ini diberikan sebuah ilustrasi rangkaian elektromagnetik seperti pada gambar 2 dibawah ini, untuk memberikan gambaran dan pengertian tentang apa yang sebenarnya terjadi didalam sistem generator listrik yang tidak lain merupakan sebuah peralatan elektromagnetik.

Gambar 2 memperlihatkan sebuah rangkaian magnetik sederhana, hal ini untuk menjelaskan keadaan sifat kemagnetan inti besi dengan kumparan yang dilewati arus dc, dan sebuah logam besi berada di sebelah bawah. Ketika pada kumparan mengalir arus dc yang besar seperti pada gambar 2a, maka sifat kemagnetan inti kumparan akan sangat kuat, sehingga akan menarik logam besi menempel pada inti besi kumparan. Akan tetapi jika arus yang mengalir pada kumparan diperkecil, (gambar 2b), maka sifat kemagnetan inti besi kumparan akan melemah sehingga logam yang semula menempel akan terlepas (jatuh) dari inti besi kumparan. Artinya bahwa kekuatan kemagnetan akan mempengaruhi gaya tarik inti besi kumparan terhadap logam besi. Demikian juga sama halnya dengan inti besi kumparan eksitasi (rotor) pada sebuah generator listrik



Gambar 2a



Gambar 2b

Peralatan digunakan dalam pengujian pembuktian dari system sifat kemagnetan



3.3 Besar ggl generator E_a

$$E_a = V_t + I_a \cdot R_a \quad (9)$$

dimana :

V_t adalah tegangan terminal keluaran generator

R_a adalah resistansi kumparan jangkar

I_a adalah arus pada kumparan jangkar

Perhitungan berdasarkan data pada table,

- Pada kondisi tanpa beban, tidak ada arus jangkar dan putaran adalah

1750 rpm, tegangan ggl E_a sesuai dengan persamaan 9 adalah

$$E_a = V_t + I_a R_a = 150 + 0 = 150 \text{ volt.}$$

Untuk menentukan nilai-nilai ggl pada kondisi berbeban, maka perlu untuk menentukan parameter $C \cdot \Phi$ yaitu dengan menggunakan nilai ggl pada kondisi tanpa beban, yakni :

$E_a = c \cdot \Phi \cdot n$, dan karena fluks konstan (magnet permanen), maka nilai $c \cdot \Phi$ adalah

$$\frac{E_a}{n} = \frac{150 \text{ V}}{1750 \text{ rpm}} = 0,0857 \text{ V/rpm}$$

- Pada no.2 dalam table, yaitu generator diberi beban $3 \times R$, besar tegangan $V_t = 140 \text{ V}$, dan arus jangkar $0,2 \text{ A}$, putaran 1700 rpm . Besar ggl adalah :

$$E_a = C \cdot \Phi \cdot n = 0,0857 \frac{\text{V}}{\text{rpm}} \times 1700 \text{ rpm} = 145,69 \text{ V}$$

Penentuan besar resistansi jangkar dapat dilakukan melalui persamaan 9 pada setiap kondisi berbeban, yaitu : Dengan resistansi beban sebesar $R_B = 3 \times R = 3 \times 65 = 195 \text{ ohm}$, maka besar arus jangkar pada beban ini adalah

$$I_a = \frac{V_t}{R_B} = \frac{140 \text{ V}}{195 \text{ ohm}} = 0,72 \text{ A}$$

Nilai resistansi jangkar adalah :

$$R_a = \frac{E_a - V_t}{I_a} = \frac{145,69 \text{ V} - 140 \text{ V}}{0,72 \text{ A}} = 7,9 \text{ ohm}$$

Fluks magnet yang mempengaruhi ggl E_a sebenarnya adalah fluks resultan yaitu paduan dari fluks dari sistem eksitasi magnet permanen dan fluks magnet yang ditimbulkan oleh

arus yang mengalir pada kumparan jangkar yang dikenal dengan istilah reaksi jangkar. Fluks reaksi jangkar ini akan mengurangi fluks utama dari sistem eksitasi

- Kemudian dengan menganggap bahwa nilai R_a adalah konstan sesuai dengan hasil perhitungan pada nomor 2 di atas, maka besar ggl pada kondisi beban dengan beban $2 \times R$ (dalam no.4) juga dapat ditentukan melalui persamaan 9 yaitu :

$$E_a = V_t + I_a \cdot R_a = 140 + 0,85 \times 7,9 = 146,7 \text{ V}$$

- Karena pemulihan keadaan diarahkan kepada nilai putaran n , bukan pada nilai tegangan keluaran V_t , maka jelas yang menjadi patokan adalah nilai ggl $E_a = 150$ volt. Dan kalau ggl adalah patokan dengan nilai 150 V

4. KESIMPULAN DAN DARAN

4.1 Kesimpulan

Hasil riset dan analisa menunjukkan bahwa, dengan adanya arus jangkar maka terjadi sebuah gejala yang disebut reaksi jangkar, dan arus yang melalui kumparan jangkar (di rotor) menimbulkan fluks jangkar dan menyebabkan munculnya sifat kemagnetan pada inti besi jangkar. Jangkar yang dalam hal ini merupakan rotor akan mengalami gaya tarik (menahan) oleh kemagnetan dari sistem eksitasi magnet permanen (di stator) dan akan memberikan reaksi lawan atau gaya atau torsi lawan terhadap torsi mekanik dari poros penggerak (PM), sehingga putaran

menurun. Terlebih lagi apabila arus jangkar membesar, maka sifat kemagnetan inti besi jangkar meningkat, sehingga rotor akan mengalami gaya tahan (Tarik menarik) yang lebih kuat dengan kemagnetan sistem exciter, sehingga menahan rotor lebih kuat dan perputaran akan lebih menurun. Dilihat dari segi torsi, bahwa dengan meningkatnya arus jangkar oleh penambahan beban listrik pada terminal tegangan keluaran generator maka torsi jangkar T_a akan bertambah besar dan akan melawan torsi mekanik poros PM (T_{PM}) sehingga memperlambat kecepatan putaran generator n_G . Torsi netto yang dipakai untuk memutar rotor generator semakin melemah dan oleh karenanya putaran akan semakin menurun.

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa adanya arus jangkar menyebabkan inti besi jangkar menjadi bersifat magnetik dan menimbulkan gaya yang melawan torka pemutar (PM) sehingga, menahan laju putaran rotor dan mengakibatkan putaran generator menurun.

Jadi penyebab Menurunnya putaran generator adalah timbulnya torsi lawan yang dihasilkan oleh sifat kemagnetan inti besi jangkar yang ditimbulkan oleh arus yang mengalir pada kumparan jangkar, selain itu gejala tersebut juga mengakibatkan menurunnya tegangan keluaran generator yang disebabkan oleh jatuh tegangan pada kumparan jangkar dan efek menurun pada nilai ggl E_a karena pelemahan fluks magnet oleh fluks jangkar.

4.2 Saran

Saran perlu melakukan pengukuran besar fluks magnetik dan kekuatan kemagnetan inti besi dari sistem exciter dan sistem jangkar, agar diperoleh data yang akurat dan lebih jelas tentang sifat kemagnetan inti besi dan karakteristik perubahan kuat medan magnetik di dalam generator. Dan selanjutnya untuk digunakan menjadi bahan pertimbangan pembuatan generator listrik yang bisa bekerja lebih maksimal dengan mengurangi faktor-faktor atau gejala-gejala kemagnetan inti besi yang sangat mempengaruhi kinerja dari generator.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]Gerald, Fitz., 1983, “ Electric Machinery ”, 4th. Edition,
- [2]Margunadi, A.R., 1986, “ Pengantar Umum Elektroteknik”,.
- [3]Seippel, Robert G. 1976, “ Fundamentals Of Electricity ”.
- [4]Gonan, Toran, 1986, “Electric Power Distribution System Engineering”.
- [5]Sen, S.K. Dr., Electric machinery. Leach, Donald P., 1976, “Basic Electric Circuits”.