



BAB II

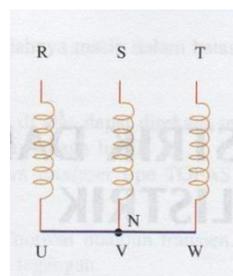
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Generator Sinkron

Tegangan *output* dari generator sinkron adalah tegangan bolak balik, karena itu generator sinkron disebut juga generator AC. Perbedaan prinsip antara generator DC dengan generator AC yaitu pada generator DC kumparan Jangkar ada pada bagian rotor dan terletak diantara kutub-kutub magnet yang tetap ditempat diputar oleh tenaga mekanik. Pada Generator sinkron, konstruksinya sebaliknya yaitu kumparan jangkar disebut juga kumparan stator karena berada pada tempat yang tetap, sedangkan kumparan rotor bersama-sama dengan kutub magnet diputar oleh tenaga mekanik.

Jika kumparan rotor yang berfungsi sebagai pembangkit kumparan medan magnet yang terletak diantara kutub magnet utara dan selatan diputar oleh tenaga gas maka pada kumparan rotor akan timbul medan magnet atau flux yang bersifat bolak-balik atau flux putar. Flux putar ini akan memotong kumparan stator sehingga pada stator akan timbul gaya gerak listrik (ggl) yang timbul pada kumparan stator juga bersifat bolak-balik atau berputar dengan kecepatan sinkron terhadap kecepatan putar rotor.⁽⁸⁾

Generator yang umumnya digunakan dalam pusat listrik adalah generator sinkron 3 fasa. Ujung-ujung kumparan stator dari generator sinkron dihubungkan ke jepitan pada generator sehingga ada enam jepitan seperti pada gambar 2.1 Jepitan-jepitan ini diberi kode R, S, T dan U, V, W. Pada kode U, V, dan W dihubungkan jadi satu titik netral karena generator sinkron biasanya terhubung bintang (Y).⁽³⁾



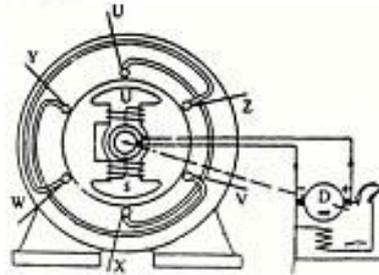
Gambar 2.1 Ujung-Ujung Kumparan Stator Generator Sinkron. ⁽³⁾

³ Djiteng Marsudi. 2000. Pembangkitan Energi Listrik. Erlangga : Jakarta. Hal 9

⁸ Yon Rijono. 2002. Dasar Teknik Tenaga Listrik. P Eman : Yogyakarta. Hal 209



2.2 Konstruksi Generator Sinkron



Gambar 2.2 Konstruksi Generator Sinkron ⁽⁸⁾

2.2.1 Stator

Stator terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu :

a. Rangka Stator

Rangka stator merupakan rumah (kerangka) yang menyangga inti jangkar generator.

b. Inti Stator

Inti stator terbuat dari laminasi-laminasi baja campuran atau besi magnetik khusus yang terpasang ke rangka stator.

c. Alur (slot) dan Gigi

Alur dan gigi merupakan tempat meletakkan kumparan stator. Ada 3 (tiga) bentuk alur stator yaitu terbuka, setengah terbuka, dan tertutup.

d. Kumparan Stator (Kumparan Jangkar)

Kumparan jangkar biasanya terbuat dari tembaga. Kumparan ini merupakan tempat timbulnya ggl induksi.



Gambar 2.3 Stator Generator ⁽⁶⁾

⁶ Pelatihan Pengopersian. 2011. Alsthom Frame 5 Bagian 2 (Listrik). Unit Bisnis Pemeliharaan. Hal 3

⁸ Yon Rijono. 2002. Dasar Teknik Tenaga Listrik. P Eman : Yogyakarta.. Hal 210



2.2.2 Rotor

Rotor terdiri dari tiga komponen utama yaitu :

1. *Slip Ring*

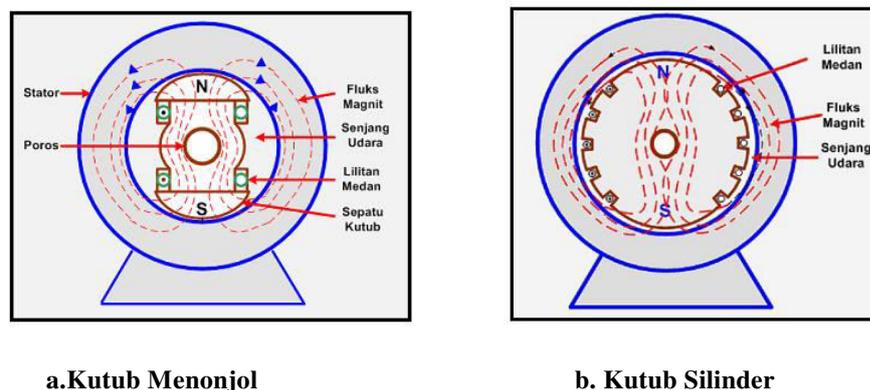
Slip ring merupakan cincin logam yang melingkari poros rotor tetapi dipisahkan oleh isolasi tertentu. Terminal kumparan rotor dipasangkan ke *slip ring* ini kemudian dihubungkan ke sumber arus searah melalui sikat (*brush*) yang letaknya menempel pada *slip ring*..

2. Kumparan Rotor (kumparan medan)

Kumparan medan merupakan unsur yang memegang peranan utama dalam menghasilkan medan magnet. Kumparan ini mendapat arus searah dari sumber eksitasi tertentu.

3. Poros Rotor

Poros rotor merupakan tempat meletakkan kumparan medan, dimana pada poros rotor tersebut telah terbentuk slot-slot secara paralel terhadap poros rotor. Rotor pada generator sinkron pada dasarnya adalah sebuah elektromagnet yang besar. Kutub medan magnet rotor dapat berupa *salient pole* (kutub menonjol) dan *non salient pole* (kutub silinder).



a. Kutub Menonjol

b. Kutub Silinder

Gambar 2.4 Kutub Rotor ⁽⁹⁾

⁹ Prih Sumardjati, Sofian Yahya dan Ali Mashar, 2008. Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan : Jakarta Hal 429



Pada generator sinkron, arus DC diterapkan pada lilitan rotor untuk menghasilkan medan magnet rotor. Rotor generator diputar oleh prime mover menghasilkan medan magnet berputar pada mesin. Medan magnet putar ini menginduksi tegangan tiga fasa pada kumparan stator generator. Rotor pada generator sinkron pada dasarnya adalah sebuah elektromagnet yang besar. Kutub medan magnet rotor dapat berupa salient (kutub menonjo) dan dan non salient (rotor silinder).⁽⁵⁾

2.3 Prinsip Kerja Generator Sinkron

Adapun prinsip kerja dari generator sinkron secara umum adalah sebagai berikut:

1. Kumparan medan yang terdapat pada rotor dihubungkan dengan sumber eksitasi tertentu yang akan mensuplai arus searah terhadap kumparan medan. Dengan adanya arus searah yang mengalir melalui kumparan medan maka akan menimbulkan *fluks* yang besarnya terhadap waktu adalah tetap.
2. Penggerak mula (*Prime Mover*) yang sudah terkopel dengan rotor segera dioperasikan sehingga rotor akan berputar pada kecepatan nominalnya.
3. Perputaran rotor tersebut sekaligus akan memutar medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan. Medan putar yang dihasilkan pada rotor, akan diinduksikan pada kumparan jangkar sehingga pada kumparan jangkar yang terletak di stator akan dihasilkan fluks magnetik yang berubah-ubah besarnya terhadap waktu. Adanya perubahan fluks magnetik yang melingkupi suatu kumparan akan menimbulkan ggl induksi pada ujung-ujung kumparan tersebut.⁽⁸⁾

Untuk generator sinkron tiga fasa, digunakan tiga kumparan jangkar yang ditempatkan di stator yang disusun dalam bentuk tertentu, sehingga susunan kumparan jangkar yang sedemikian akan membangkitkan tegangan induksi pada ketiga kumparan jangkar yang besarnya sama tapi berbeda fasa 120° satu sama lain. Setelah itu ketiga terminal kumparan jangkar siap dioperasikan untuk menghasilkan energi listrik.⁽²⁾

² Eugene C Lister. 1993. Mesin dan Rangkaian Listrik. Erlangga : Jakarta Hal

³ Ismail Muchsin. Elektronika dan Tenaga Listrk. Pusat Pengembangan Bahan Ajar UMB Hal 1

⁸ Yon Rijono. 2002. Dasar Teknik Tenaga Listrik. P Eman : Yogyakarta. Hal 209



2.4 Karakteristik Generator Sinkron

Generator sinkron memiliki beberapa karakteristik generator sinkron diantaranya generator sinkron tanpa beban dan generator sinkron berbeban. Berikut penjelasan mengenai karakteristik generator sinkron.

2.4.1 Generator Sinkron Tanpa Beban

Pada generator sinkron tanpa beban arus armatur $I_a = 0$. Dengan demikian besar tegangan terminal adalah :

$$V_t = V_t = \frac{V_{LL}}{\sqrt{3}}$$

$$V_t = E_a = E_o \dots \dots \dots (2.1)$$

Dengan memutar alternator pada kecepatan sinkron dan rotor diberi arus medan (IF), maka tegangan (E_a) akan terinduksi pada kumparan jangkar stator. Bentuk hubungannya diperlihatkan pada persamaan berikut.

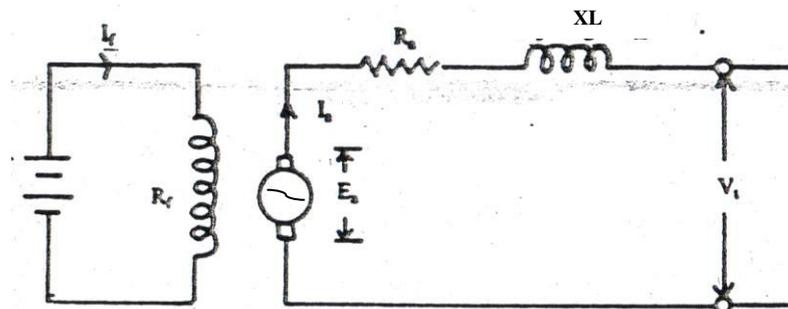
$$E_a = c.n.\phi \dots \dots \dots (2.2)$$

yang mana:

c = konstanta mesin

n = putaran sinkron

ϕ = fluks yang dihasilkan oleh IF

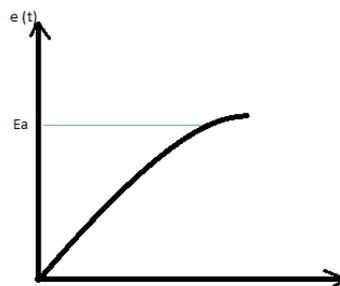


Gambar 2.5 Generator Sinkron Tanpa Beban ⁽⁸⁾

⁸ Yon Rijono. 2002. Dasar Teknik Tenaga Listrik. P Eman : Yogyakarta. Hal 211



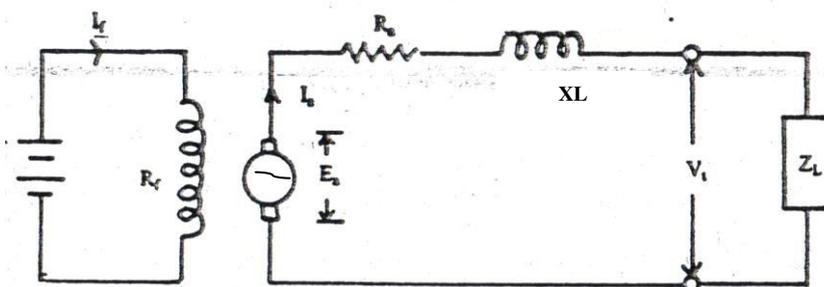
Dalam keadaan tanpa beban arus jangkar tidak mengalir pada stator, karenanya tidak terdapat pengaruh reaksi jangkar. Fluks hanya dihasilkan oleh arus medan (IF). Apabila arus medan (IF) diubah-ubah harganya, akan diperoleh harga E_a seperti yang terlihat pada kurva sebagai berikut. ⁽⁷⁾



Gambar 2.6 Karakteristik Generator Sinkron Tanpa Beban ⁽⁸⁾

2.4.2 Generator Sinkron Berbeban

Dalam keadaan berbeban arus jangkar akan mengalir dan mengakibatkan terjadinya reaksi jangkar. Reaksi jangkar bersifat reaktif karena itu dinyatakan sebagai reaktansi, dan disebut reaktansi magnetisasi (X_m). Reaktansi pemagnet (X_m) ini bersama-sama dengan reaktansi bocor (X_L) dikenal sebagai reaktansi sinkron (X_s).

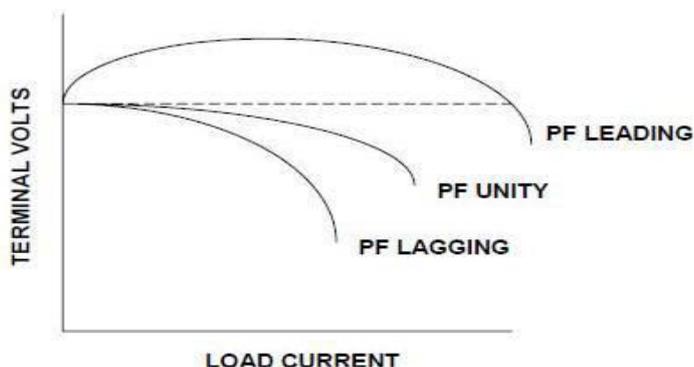


Gambar 2.7 Generator Sinkron Berbeban ⁽⁸⁾

⁸ Yon Rijono. 2002. Dasar Teknik Tenaga Listrik. P Eman : Yogyakarta. Hal 215



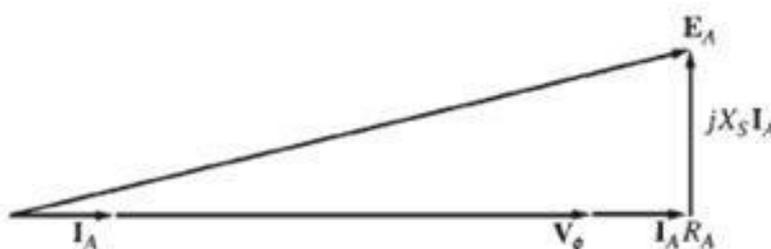
Adapun karakteristik generator sinkron pada berbagai faktor daya, ditunjukkan pada gambar



Gambar 2.8 Karakteristik Generator Sinkron Pada berbagai faktor Daya ⁽⁸⁾

Tiga macam sifat beban generator, yaitu : beban resistif, beban induktif, dan beban kapasitif. Akibat pembeban ini akan berpengaruh terhadap tegangan beban dan faktor dayanya. Jika beban generator bersifat resistif mengakibatkan penurunan tegangan relatif kecil dengan faktor daya sama dengan satu. Jika beban generator bersifat induktif terjadi penurunan tegangan yang cukup besar dengan faktor daya terbelakang (*lagging*). Sebaliknya, Jika beban generator bersifat kapasitif akan terjadi kenaikan tegangan yang cukup besar dengan faktor daya mendahului (*leading*).

a.

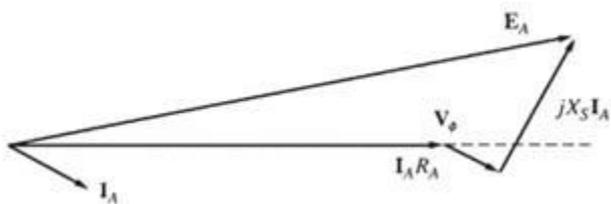


Gambar 2.9 Faktor Daya 1 ⁽⁸⁾

⁸ Yon Rijono. 2002. Dasar Teknik Tenaga Listrik. P Eman : Yogyakarta. Hal 218

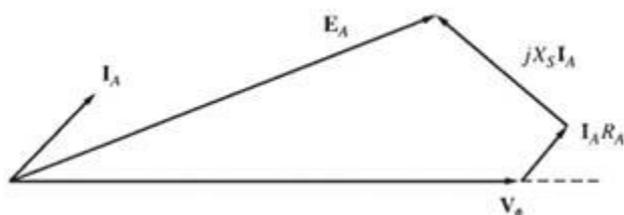


b.



Gambar 2.10 Faktor Daya *Lagging* ⁽⁸⁾

c.



Gambar 2.11 Faktor Daya *Leading* ⁽⁸⁾

$$Z_a = \sqrt{R_a^2 + X_L^2} \dots\dots\dots(2.3)$$

➤ Faktor Daya 1

$$E_{a/ph} = \sqrt{(V_t + I_a \cdot R_a)^2 + (I_a \cdot X_L)^2} \dots\dots\dots(2.4)$$

➤ Faktor Daya Beban Tertinggal (*Lagging*)

$$E_{a/ph} = \sqrt{(V_t \cdot \cos \varphi + I_a \cdot R_a)^2 + (V_t \cdot \sin \varphi + I_a \cdot X_L)^2} \dots\dots\dots(2.5)$$

➤ Faktor Daya Mendahului (*Leading*)

$$E_{a/ph} = \sqrt{(V_t \cdot \cos \varphi + I_a \cdot R_a)^2 + (V_t \cdot \sin \varphi - I_a \cdot X_L)^2} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan:

E_a = tegangan induksi pada jangkar

V_t = tegangan terminal

⁸ Yon Rijono. 2002. Dasar Teknik Tenaga Listrik. P Eman : Yogyakarta. Hal 250



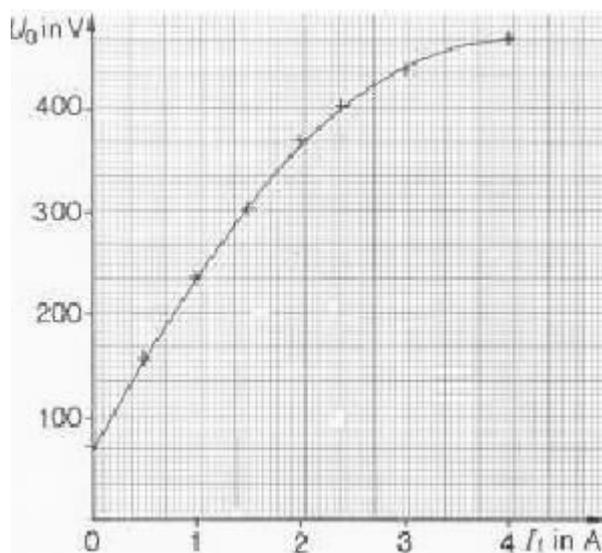
R_a = resistansi jangkar

X_L = reaktansi bocor

Z_a = Impedansi armatur

2.5 Menentukan Parameter Generator Sinkron

Nilai Reaktansi diperoleh dari dua macam percobaan yaitu percobaan tanpa beban dan percobaan hubungan singkat. Pada pengujian tanpa beban, generator diputar pada kecepatan ratingnya dan terminal generator tidak dihubungkan ke beban. Arus eksitasi medan mula adalah nol. Kemudian arus eksitasi medan dinaikan bertahap dan tegangan terminal generator diukur pada tiap tahapan. Dari percobaan tanpa beban arus jangkar adalah nol ($I_a = 0$) sehingga V sama dengan E_a . Sehingga dari pengujian ini diperoleh kurva E_a sebagai fungsi arus medan (I_f). Dari kurva ini harga yang akan dipakai adalah harga liniernya (unsaturated). Pemakaian harga linier yang merupakan garis lurus cukup beralasan mengingat kelebihan arus medan pada keadaan jenuh sebenarnya dikompensasi oleh adanya reaksi jangkar.

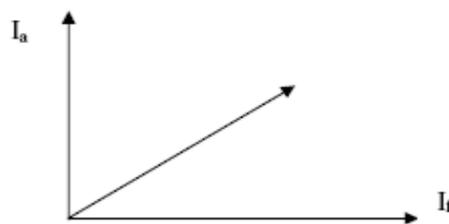


Gambar 2.12 Karakteristik tanpa beban⁽⁵⁾

⁵ Ismail Muchsin. Elektronika dan Tenaga Listrik. Pusat Pengembangan Bahan Ajar UMB Hal 7



Pengujian yang kedua yaitu pengujian hubung singkat. Pada pengujian ini mula-mula arus eksitasi medan dibuat nol, dan terminal generator dihubungkan singkat melalui ampere meter. Kemudian arus jangkar I_a (= arus saluran) diukur dengan mengubah arus eksitasi medan. Dari pengujian hubung singkat akan menghasilkan hubungan antara arus jangkar (I_a) sebagai fungsi arus medan (I_f), dan ini merupakan garis lurus. Gambaran karakteristik hubung singkat alternator diberikan di bawah ini.



Gambar 2.13 Karakteristik hubung singkat alternator ⁽⁵⁾

2.6 Cara Memparalelkan

Bila suatu generator mendapat pembebanan lebih dari kapasitasnya dapat mengakibatkan alternator tidak bekerja atau rusak. Untuk mengatasi beban yang terus meningkat tersebut bisa diatasi dengan menambah alternator lain yang kemudian dioperasikan secara paralel dengan alternator yang telah bekerja sebelumnya dengan maksud memperbesar kapasitas daya yang dibangkitkan pada sistem tenaga listrik yang ada. Selain untuk tujuan di atas, kerja paralel alternator juga sering dibutuhkan untuk menjaga kontinuitas pelayanan apabila ada alternator yang harus dihentikan karena terjadi gangguan pada alternator, atau misalnya saat istirahat atau reparasi. Pada kondisi ini, alternator lain masih bisa bekerja untuk mensuplai beban, sementara yang lain istirahat, sehingga pemutusan listrik secara total bisa dihindari. Untuk memparalelkan alternator memerlukan beberapa persyaratan yang harus dipenuhi, yaitu sebagai berikut.

1. Harga sesaat ggl kedua alternator harus sama dalam kebesarannya, dan bertentangan dalam arah, atau harga sesaat ggl alternator harus sama dalam

⁵ Ismail Muchsin. Elektronika dan Tenaga Listrik. Pusat Pengembangan Bahan Ajar UMB Hal 7



kebesarannya dan bertentangan dalam arah dengan harga efektif tegangan jalajala.

2. Frekuensi alternator dengan jala harus sama
3. Fasa kedua alternator harus sama
4. Menambahkan sebuah generator sinkron pada jaringan sistem tenaga yang telah ada harus dilakukan tahapan-tahapan sebagai berikut :
 - a. Alternator yang akan ditambahkan dijalankan hingga mencapai kecepatan putar nominalnya.
 - b. Tahanan pengatur medannya diatur sedemikian hingga tegangan generatornya menjadi sedikit lebih tinggi daripada tegangan jaring. Tegangannya dapat diperiksa dengan menggunakan saklar pilih voltmeter.
 - c. Alternator tadi kemudian dihubungkan dengan jaringan. Karena tegangannya sedikit lebih tinggi daripada tegangan jaring, alternator ini tidak akan bekerja sebagai motor.
 - d. Selanjutnya tahanan pengatur medannya diatur sedemikian hingga alternator tersebut memikul sebagian dari beban jaring sistem yang dimasukinya. Besar beban alternator ini dapat dilihat dari penunjukan alat ukur amperemeternya.

2.7 Frekuensi Listrik Pada Generator Sinkron

Frekuensi listrik yang dihasilkan generator sinkron adalah sinkron dengan kecepatan putar generator. Rotor generator sinkron terdiri atas rangkaian elektromagnet dengan suplai arus DC. Medan magnet rotor bergerak pada arah putaran rotor. Hubungan antara kecepatan putar medan magnet pada mesin dengan frekuensi listrik pada stator adalah: ⁽⁶⁾

$$F = \frac{P.N}{120} = \text{Hz} \dots\dots\dots(2.7)$$

yang mana:

f = frekuensi listrik (Hz)



n = kecepatan putar rotor = kecepatan medan magnet (rpm)

p = jumlah kutub magnet

Oleh karena rotor berputar pada kecepatan yang sama dengan medan magnet, persamaan diatas juga menunjukkan hubungan antara kecepatan putar rotor dengan frekuensi listrik yang dihasilkan. Agar daya listrik dibangkitkan tetap pada frekuensi 50Hz atau 60 Hz, maka generator harus berputar pada kecepatan tetap dengan jumlah kutub mesin yang telah ditentukan. Sebagai contoh untuk membangkitkan 60 Hz pada mesin dua kutub, rotor arus berputar dengan kecepatan 3600 rpm. Untuk membangkitkan daya 50 Hz pada mesin empat kutub, rotor harus berputar pada 1500 rpm.

2.8 Reaksi Jangkar Generator Sinkron

Saat generator sinkron bekerja pada beban nol tidak ada arus yang mengalir melalui kumparan jangkar (stator), sehingga yang ada pada celah udara hanya fluksi arus medan rotor. Namun jika generator sinkron diberi beban, arus jangkar I_a akan mengalir dan membentuk fluksi jangkar. Fluksi jangkar ini kemudian mempengaruhi fluksi arus medan dan akhirnya menyebabkan berubahnya harga tegangan terminal generator sinkron.

Reaksi ini kemudian dikenal sebagai reaksi jangkar. Pengaruh yang ditimbulkan oleh fluksi jangkar dapat berupa distorsi, penguatan (magnetising), maupun pelemahan (demagnetising) fluksi arus medan pada celah udara. Perbedaan pengaruh yang ditimbulkan fluksi jangkar tergantung kepada beban dan faktor daya beban, yaitu sebagai berikut :

a. Untuk beban resistif ($\cos\phi = 1$)

Pengaruh fluksi jangkar terhadap fluksi medan hanyalah sebatas mendistorsinya saja tanpa mempengaruhi kekuatannya (cross magnetising).

b. Untuk beban induktif murni ($\cos\phi = 0$ lag)

⁶ Pelatihan Pengopersian. 2011. Alsthom Frame 5 Bagian 2 (Listrik). Unit Bisnis Pemeliharaan .Hal 3



Arus akan tertinggal sebesar 90° dari tegangan. Fluksi yang dihasilkan oleh arus jangkar akan melawan fluksi arus medan. Dengan kata lain reaksi jangkar akan demagnetising artinya pengaruh reaksi jangkar akan melemahkan fluksi arus medan.

c. Untuk beban kapasitif murni ($\cos\phi = 0$ lead)

Arus akan mendahului tegangan sebesar 90° . Fluksi 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.

d. Untuk beban tidak murni (induktif/kapasitif)

Pengaruh reaksi jangkar akan menjadi sebagian magnetising dan sebagian demagnetising. Saat beban adalah kapasitif, maka reaksi jangkar akan sebagian distortif dan sebagian magnetising. Sementara itu saat beban adalah induktif, maka reaksi jangkar akan sebagian distortif dan sebagian demagnetising. Namun pada prakteknya beban umumnya adalah induktif.

2.9 Pengaturan Tegangan

Untuk mengatasi generator terhindar beban lebih, maka diperlukan pengaturan tegangan beban atau persentase regulasi tegangan. Ada dua macam persentase regulasi tegangan, yaitu : ⁽⁸⁾

$$\text{Regulasi naik} = \frac{E_a - V_t}{V_t} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.8)$$

$$\text{Regulasi turun} = \frac{E_a - V_t}{E_a} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.9)$$

2.10 Eksitasi Generator

Ada dua struktur medan magnet pada Mesin Sinkron yang merupakan dasar kerja dari Mesin tersebut, yaitu kumparan yang mengalirkan penguatan DC dan

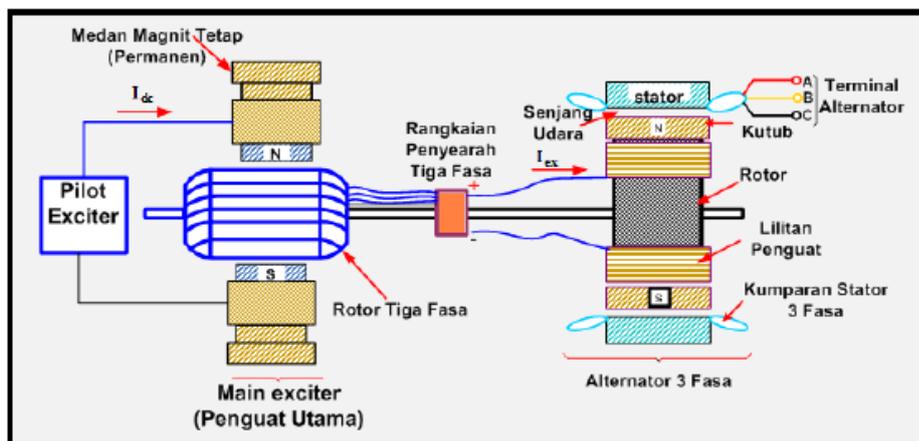
⁸ Yon Rijono. 2002. Dasar Teknik Tenaga Listrik. P Eman : Yogyakarta. Hal 231



sebuah jangkar tempat dibangkitkannya ggl arus bolak-balik. Hampir semua Mesin Sinkron mempunyai jangkar diam sebagai stator dan medan magnet berputar sebagai rotor. Kumparan DC pada medan magnet yang berputar dihubungkan pada sumber listrik DC luar melalui Slipring dan sikat arang, tetapi ada juga yang tidak mempergunakan sikat arang disebut “*brushless excitation*”.

Seperti telah diuraikan diatas, bahwa untuk membangkitkan flux magnetik diperlukan penguatan DC. Penguatan DC ini bisa diperoleh dari generator DC penguatan sendiri yang seporos dengan rotor Mesin Sinkron. Pada Mesin Sinkron dengan kecepatan rendah, tetapi rating daya yang besar, seperti generator Hydroelectric, maka generator DC yang digunakan tidak dengan penguatan sendiri tetapi dengan “*Pilot Exciter*” sebagai penguatan atau menggunakan magnet permanen. Alternatif lainnya untuk penguatan eksitasi adalah menggunakan Diode silikon dan Thyristor. Dua tipe sistem penguatan “*Solid state*” adalah :

- Sistem statis yang menggunakan Diode atau Thyristor statis, dan arus dialirkan ke rotor melalui Slipring.
- “*Brushless System*”, pada sistem ini penyearah dipasang diporos yang berputar dengan rotor, sehingga tidak dibutuhkan sikat arang dan slipring



Gambar 2.14 Eksitasi Generator⁽⁹⁾

⁹Prih Sumardjati, Sofian Yahya dan Ali Mashar. 2008. Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan : Jakarta . Hal 429

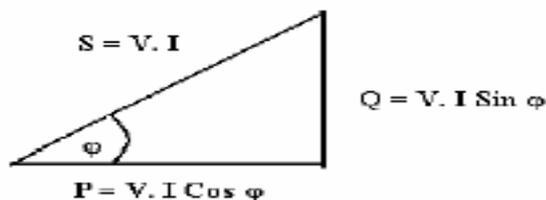


2.11 Macam – Macam Daya Listrik

Daya Listrik dapat dibagi menjadi 3 macam yaitu sebagai berikut :

1. Daya Nyata (P)
2. Daya Semu (S)
3. Daya Reaktif (Q)

Segitiga daya adalah suatu hubungan antara daya semu, daya reaktif dan aktif, sehingga dapat digambarkan dalam bentuk segitiga daya sebagai berikut :



Gambar 2.15 Segitiga Daya⁽⁷⁾

2.11.1 Daya Nyata (P)

Daya nyata merupakan daya listrik yang digunakan untuk keperluan menggerakkan mesin-mesin listrik atau peralatan lainnya.⁽⁴⁾

➤ 1 fasa

$$P = V_{L-N} \times I \times \cos \varphi \dots\dots\dots (2.10)$$

➤ 3 fasa

$$P = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I \times \cos \varphi \dots\dots\dots (2.11)$$

$$P = 3 \times V_{L-N} \times I \times \cos \varphi \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan:

P = Daya Nyata (Watt)

V = Tegangan (Volt)



I = Arus yang mengalir pada penghantar (Ampere)

$\cos \phi$ = Faktor Daya

2.11.2 Daya Semu (S)

Daya semu merupakan daya listrik yang melalui suatu penghantar transmisi atau distribusi. Daya ini merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus yang melalui penghantar.⁽⁴⁾

➤ 1 fasa

$$S = V \times I \dots\dots\dots (2.13)$$

➤ 3 fasa

$$S = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I \dots\dots\dots (2.14)$$

$$S = 3 \times V_{L-N} \times I \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan :

S = Daya semu (VA)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus yang mengalir pada penghantar (Ampere)

2.11.3 Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif merupakan selisih antara daya semu yang masuk pada penghantar dengan daya aktif pada penghantar itu sendiri, dimana daya ini terpakai untuk daya mekanik dan panas. Daya reaktif ini adalah hasil kali antara besarnya arus dan tegangan yang dipengaruhi oleh faktor daya.⁽⁴⁾

➤ 1 Fasa

$$Q = V \times I \times \sin \phi \dots\dots\dots (2.16)$$

➤ 3 fasa

$$Q = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I \times \sin \phi \dots\dots\dots (2.17)$$

$$Q = 3 \times V_{L-N} \times I \times \sin \phi \dots\dots\dots (2.18)$$

Keterangan :

⁴ Markoni. 2014. Teori Dasar Teknik Tenaga. Graha Ilmu : Yogyakarta Hal 94.

⁷ Mohamad Ramadhani. 2008. Rangkaian Listrik. Erlangga : Jakarta Hal 274.



Q = Daya reaktif (VAR)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

$\sin \phi$ = Faktor Daya

2.12 Faktor Daya (Cos ϕ)

Faktor daya merupakan perbandingan antara daya nyata dengan daya semu suatu beban dari suatu jaringan dan dapat dituliskan dengan rumus sebagai berikut : ⁽⁴⁾

$$Pf = \frac{P}{S} = \frac{R}{Z} \dots\dots\dots (2.19)$$

Keterangan :

Pf = Faktor Daya

P = Daya Nyata (Watt)

S = Daya Semu (VA)

Faktor daya bisa dikatakan sebagai besaran yang menunjukkan seberapa efisien jaringan yang kita miliki dalam menyalurkan daya yang bisa kita manfaatkan. Faktor daya dibatasi dari 0 hingga 1, semakin tinggi faktor daya (mendekati 1) artinya semakin banyak daya tampak yang diberikan sumber bisa kita manfaatkan, sebaliknya semakin rendah faktor daya (mendekati 0) maka semakin sedikit daya yang bisa kita manfaatkan dari sejumlah daya tampak yang sama. Di sisi lain, faktor daya juga menunjukkan “besar pemanfaatan” dari peralatan listrik di jaringan terhadap investasi yang dibayarkan.

Seperti kita tahu, semua peralatan listrik memiliki kapasitas maksimum penyaluran arus, apabila faktor daya rendah artinya walaupun arus yang mengalir di jaringan sudah maksimum namun kenyataan hanya porsi kecil saja yang menjadi sesuatu yang bermanfaat bagi pemilik jaringan.



Baik penyedia layanan maupun konsumen berupaya untuk membuat jaringannya memiliki faktor daya yang bagus (mendekati 1). Bagi penyedia layanan, jaringan dengan faktor daya yang jelek mengakibatkan dia harus menghasilkan daya yang lebih besar untuk memenuhi daya aktif yang diminta oleh para konsumen. Apabila konsumen didominasi oleh konsumen jenis residensial maka mereka hanya membayar sejumlah daya aktif yang terpakai saja, artinya penyedia layanan harus menanggung sendiri biaya yang hanya menjadi daya reaktif tanpa mendapatkan kompensasi uang dari konsumen. Sebaliknya bagi konsumen skala besar atau industri, faktor daya yang baik menjadi keharusan karena beberapa penyedia layanan kadang membebankan pemakaian daya aktif dan daya reaktif (atau memberikan denda faktor daya) tentu saja konsumen tidak akan mau membayar mahal untuk daya yang “tidak termanfaatkan” bagi mereka.

2.13 Sistem Perunit

Pada perhitungan sistem tenaga listrik besaran tegangan, arus, daya dan impedansi yang dinyatakan dalam satuan per unit (pu) atau dalam persen (%) dapat diperoleh nilai sebenarnya. Pada faktor daya terdapat nilai resistansi dan impedansi, pada 3 fasa nilai impedansi dan resistansi setiap fasanya bernilai sama. Impedansi sebenarnya dapat diperoleh jika nilai impedansi dasar diperoleh. Impedansi dasar adalah impedansi yang akan menimbulkan jatuh tegangannya sendiri sebesar tegangan dasar jika arus yang mengalir sama dengan arus dasar. Tegangan yang digunakan merupakan tegangan terminal yang merupakan tegangan fasa-netral ⁽¹⁾

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{V_{LN}}{I} \dots\dots\dots(2.20)$$

Besaran Perunit (pu) di definisikan sebagai :

$$\text{Besaran perunit} = \frac{\text{Nilai Sebenarnya}}{\text{Nilai Dasar}} \dots\dots\dots(2.21)$$

¹ Cekmas Cekdin dan Barlian Taufik. 2013. Transmisi Daya Listrik. Andi. Yogyakarta Hal 50



2.14 Efisiensi Generator

Pada umumnya yang disebut dengan efisiensi generator adalah perbandingan antara daya output dengan daya input. P_{in} (daya masukan) adalah jumlah dari masukan ac pada jangkar dan masukan dc pada medan. Sedangkan daya keluaran adalah daya masukan total dikurangi jumlah rugi-rugi total.

Seperti halnya dengan mesin-mesin listrik lainnya, maka efisiensi generator sinkron dapat dituliskan seperti Persamaan. ⁽⁸⁾

$$\sum P_{Rugi} = I^2 R \dots\dots\dots(2.22)$$

$$P_{in} = P_{out} + \sum P_{Rugi} \dots\dots\dots(2.23)$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.24)$$

Dimana :

P_{out} = daya keluaran

P_{in} = daya masukan

⁸ Yon Rijono. 2002. Dasar Teknik Tenaga Listrik. P Eman : Yogyakarta. Hal 231