



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Generator



Gambar 2. 1 Generator

Generator adalah alat yang dapat memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanik. Umumnya generator adalah menggunakan induksi elektromagnetik. Bila disederhanakan, generator adalah mesin dengan energi gerak (mekanik) dan mampu mengubahnya menjadi energi listrik (elektrik). Alat generator adalah sangat diperlukan dalam kehidupan sehari-hari. Generator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, yaitu memutar suatu kumparan dalam medan magnet sehingga timbul GGL (Gaya Gerak Listrik) induksi. Generator juga alat yang dapat bekerja dengan sumber listrik konstan. Misalnya seperti generator di pabrik pengolahan limbah, hotel, rumah sakit, dan bandara. Fungsi generator adalah mencegah diskontinuitas dan gangguan operasi bisnis.

#### 2.2 Fungsi Generator

Adapun Fungsi Generator adalah sebagai berikut:

a. Pembangkit Tenaga Listrik

Generator adalah komponen utama yang mampu membangkitkan tenaga listrik. Adapun sumber energi yang digunakan juga bermacam-macam, seperti air, matahari, gas alam, gelombang laut, angin, dan lainnya. Dengan begitu, fungsi generator membuat kita tidak mudah kehabisan energi listrik.



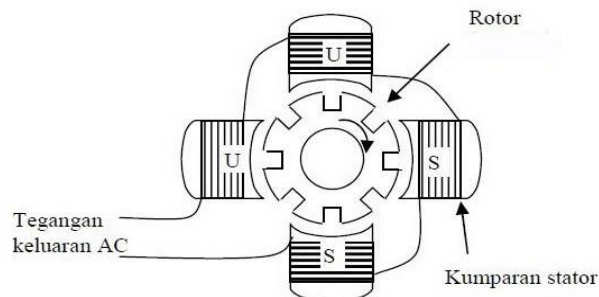
## b. Cadangan Listrik

Sebagaimana kita tahu, banyak sekali tempat-tempat umum yang menggunakan generator. Tentu saja, hal ini digunakan sebagai cadangan pasokan listrik. Beberapa tempat seperti supermarket, hotel, hingga rumah sakit, menggunakan generator berupa genset untuk menyimpan aliran listrik di dalamnya.

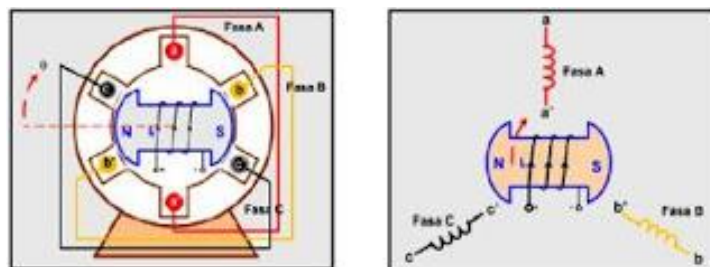
Keberadaan generator, cadangan aliran listrik tersebut dapat membantu aktivitas sehari-hari. Sehingga, tidak perlu khawatir lagi jika terjadi pemadaman listrik.

## 2.3 Generator Sinkron

Generator sinkron adalah mesin sinkron yang digunakan untuk mengubah daya mekanik menjadi daya listrik. Dikatakan sinkron karena jumlah putarannya sinkron atau sama dengan jumlah frekuensinya. Misalnya jika jumlah  $f = 50$  Hz maka jumlah putarannya  $50 \times$  perdetik atau  $50 \times 60 = 3000$  putaran permenit, sehingga disebut mesin sinkron. Generator sinkron dapat berupa generator sinkron AC tiga fasa atau generator sinkron AC satu fasa tergantung dari kebutuhan.



Gambar 2. 2 Ilustrasi Generator Sinkron 1 Fasa



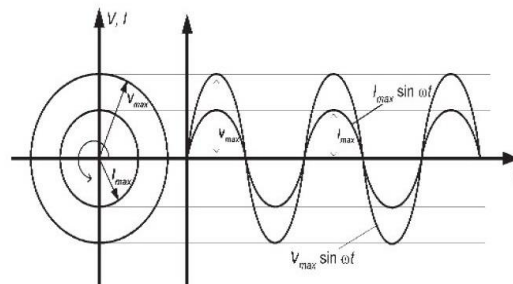
Gambar 2. 3 Ilustrasi Generator Sinkron 3 Fasa



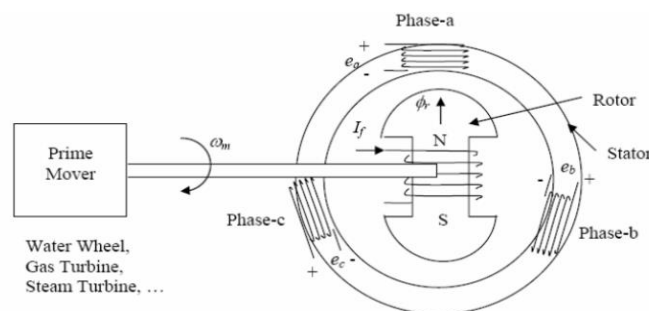
### 2.3.1 Prinsip Kerja Generator

Perbedaan prinsip antara generator DC dengan generator AC adalah untuk generator DC, kumparan jangkar ada pada bagian rotor dan terletak di antara kutub-kutub magnet yang tetap di tempat, 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. Prinsip generator ini secara sederhana dapat dijelaskan bahwa tegangan akan diinduksikan pada konduktor apabila konduktor tersebut bergerak pada medan magnet sehingga memotong garis-garis gaya. Hukum tangan kanan berlaku pada generator dimana menyebutkan bahwa terdapat hubungan antara penghantar bergerak, arah medan magnet, dan arah resultan dari aliran arus yang terinduksi. Apabila ibu jari menunjukkan arah gerakan penghantar, telunjuk menunjukkan arah fluks, jari tengah menunjukkan arah aliran elektron yang terinduksi. Hukum ini juga berlaku apabila magnet sebagai pengganti penghantar yang digerakkan.

Prinsip kerja dari generator sesuai dengan hukum Lens, yaitu arus listrik yang diberikan pada stator akan menimbulkan momen elektromagnetik yang bersifat melawan putaran rotor sehingga menimbulkan EMF pada kumparan rotor. Tegangan EMF ini akan menghasilkan suatu arus jangkar. Jadi diesel sebagai prime mover akan memutar rotor generator, kemudian rotor diberi eksitasi agar menimbulkan medan magnet yang berpotongan dengan konduktor pada stator dan menghasilkan tegangan pada stator. Karena terdapat dua kutub yang berbeda yaitu utara dan selatan, maka pada  $90^{\circ}$  pertama akan dihasilkan tegangan maksimum positif dan pada sudut  $270^{\circ}$  kedua akan dihasilkan tegangan maksimum negatif. Ini terjadi secara terus menerus/continue. Bentuk tegangan seperti ini lebih dikenal sebagai fungsi tegangan bolak-balik.



Grafik arus dan tegangan sebagai fungsi waktu

Gambar 2. 4 Gelombang tegangan bolak balik<sup>1</sup>Gambar 2. 5 Prinsip Kerja Generator Sinkron<sup>2</sup>

Prinsip kerja dari generator sinkron dapat dinyatakan sebagai berikut :

- Rotor disuplai dengan arus DC  $I_f$  yang kemudian menghasilkan fluks magnet  $\phi_f$ .
- Rotor digerakkan oleh turbin dengan kecepatan konstan sebesar  $n_s$ .
- Garis gaya magnet bergerak menginduksi kumparan pada stator.
- Frekuensi dari tegangan generator tergantung dari kecepatan putaran rotor yang dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$f = \frac{p}{2} \times \frac{n}{60} = \frac{p n}{120} \dots\dots\dots (2.1)$$

<sup>1</sup> “Arus dan tegangan Listrik Bolak Balik”, <http://fisikazone.com/pengertian-arus-dan-tegangan-listrik-bolak-balik/arus-dan-tegangan-listrik-bolak-balik/> , diakses 7 Mei 2022

<sup>2</sup> Suad Ibrahim Shahl ,*e-book Synchronous Generators*, 2015, hlm. 7.



dimana :  $f$  = frekuensi (Hz)  
 $p$  = jumlah kutub  
 $n$  = kecepatan putaran rotor (rpm)

Adapun besar GGL induksi kumparan stator atau GGL induksi armatur per fasa adalah :

$$E_a / \text{ph} = 4,44. f. M. \phi. K_d \dots\dots\dots (2.2)^3$$

dimana :  $E_a$  = Gaya gerak listrik armatur per fasa (volt)  
 $f$  = Frekuensi output generator (Hz)  
 $M$  = Jumlah kumparan per fasa  
 $= Z/2$   
 $Z$  = Jumlah konduktor seluruh slot per fasa  
 $k_d$  = Faktor distribusi. Hal ini diperlukan karena kumparan armatur atau alternator tidak terletak di dalam satu slot melainkan terdistribusi dalam beberapa slot per fasa  
 $\phi$  = Fluks magnet per kutub per fasa

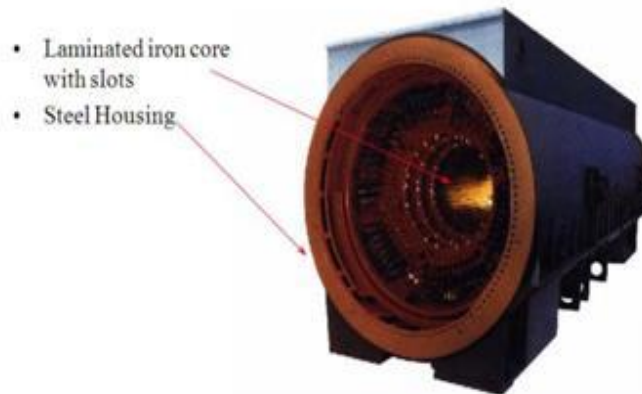
## 2.4 Konstruksi Generator Sinkron

Konstruksi generator sinkron terdiri dari empat bagian utama. Berikut penjelasannya:

### 2.4.1 Stator

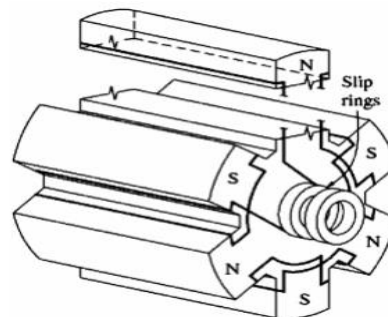
Stator merupakan bagian diam dari generator yang mengeluarkan tegangan bolak-balik. Stator terdiri dari badan generator yang terbuat dari baja yang berfungsi melindungi bagian dalam generator. Inti Stator yang terbuat dari bahan ferromagnetik yang berlapis-lapis dan terdapat alur-alur tempat meletakkan lilitan stator.

<sup>3</sup>Yon Rijono, *Dasar Teknik Tenaga Listrik*, Andi Offset, Yogyakarta, 2004, hlm. 210.

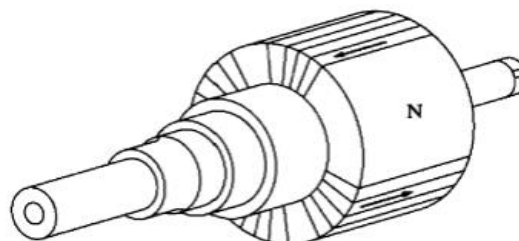
Gambar 2. 6 Stator Generator Sinkron 3 Fasa<sup>4</sup>

#### 2.4.2 Rotor

Rotor merupakan bagian bergerak yang menghasilkan medan magnet yang menginduksikan ke stator. Rotor berbentuk kutub sepatu atau kutub dengan celah udara sama rata (rotor silinder).



Gambar 2. 7 Rotor Salient Pole



Gambar 2. 8 Rotor Sekunder

<sup>4</sup> Suad Ibrahim Shahl, *e-book Synchronous Generators*, 2015, hlm.3



### **2.4.3 Rangka Stator**

Rangka stator di buat dari besi tuang. Rangka stator merupakan rumah dari bagian-bagian generator yang lain.

### **2.4.4 Slip Ring atau Cincin Geser**

Slip ring atau cincin geser di buat dari bahan kuningan atau tembaga yang di pasang pada poros dengan memakai bahan isolasi. Slip ring ini berputar bersama-sama dengan poros dan rotor.

## **2.5 Sistem Eksitasi**

Eksitasi pada generator sinkron adalah proses penguatan medan magnet dengan cara memberikan arus searah pada belitan medan yang terdapat pada rotor. Sesuai dengan prinsip elektromagnet yaitu apabila suatu konduktor berupa kumparan dialiri listrik arus searah maka kumparan tersebut akan menjadi magnet sehingga akan menghasilkan fluks-fluks magnet. Apabila kumparan medan yang telah diberi arus eksitasi diputar dengan kecepatan tertentu, maka kumparan medan yang telah diberi arus eksitasi diputar dengan kecepatan tertentu, maka kumparan jangkar yang terdapat pada stator akan terinduksi oleh fluks-fluks magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan sehingga dihasilkan tegangan listrik bolak-balik. Besarnya tegangan yang dihasilkan tergantung kepada besarnya arus eksitasi dan putaran yang diberikan pada rotor, semakin besar arus eksitasi dan putaran, maka akan semakin besar tegangan yang akan dihasilkan oleh sebuah generator.

Berdasarkan cara penyaluran arus searah pada rotor generator sinkron, sistem eksitasi terdiri dari dua jenis yaitu sistem eksitasi dengan menggunakan sikat (brush excitation) yang terdiri dari sistem eksitasi konvensional dan eksitasi statis dan sistem eksitasi tanpa menggunakan sikat (brushless excitation) yaitu menggunakan sistem permanen magnet generator. Berikut adalah penjelasan jenis-jenis dari sistem eksitasi tersebut:

### **2.5.1 Sistem Eksitasi Konvensional**

Untuk sistem eksitasi konvensional, arus searah yang diinjeksikan ke

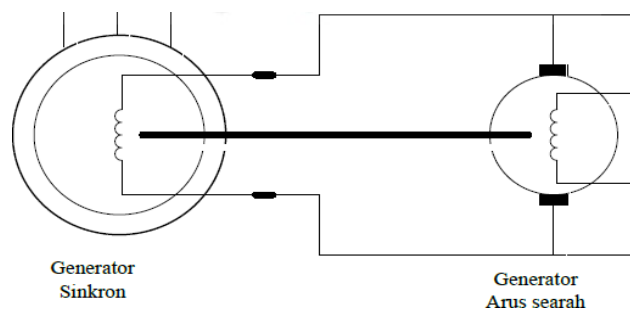


kumparan diperoleh dari generator arus searah yang memiliki kapasitas yang kecil yang disebut dengan eksiter. Generator arus searah tersebut terkopel dengan generator sinkron dalam satu poros, yang menyebabkan putaran antara kedua generator tersebut sama.

Tegangan yang dihasilkan oleh eksiter ini diberikan ke kumparan rotor generator sinkron melalui sikat karbon dan slip ring. Akibatnya arus mengalir ke rotor dan menghasilkan medan magnet yang dibutuhkan untuk menghasilkan tegangan arus bolak-balik. Pada sistem eksitasi konvensional ini memiliki beberapa kekurangan yaitu:

1. Generator arus searah akan menjadi beban tambahan bagi penggerak mula.
2. Penggunaan slip ring dan sikat dapat menimbulkan masalah saat digunakan untuk mensuplai arus searah pada kumparan medan generator sinkron.
3. Akan timbul rugi gesekan pada generator utama akibat dari sikat arang yang menekan slip ring.
4. Generator arus searah memiliki keandalan yang rendah.

Dengan mempertimbangkan kekurangan di atas maka saat ini pada penguatan medan magnet kebanyakan menggunakan sistem eksitasi statis. Berikut adalah gambar dari sistem eksitasi konvensional menggunakan generator arus searah.



Gambar 2. 9 Sistem Eksitasi Menggunakan Generator Arus Searah



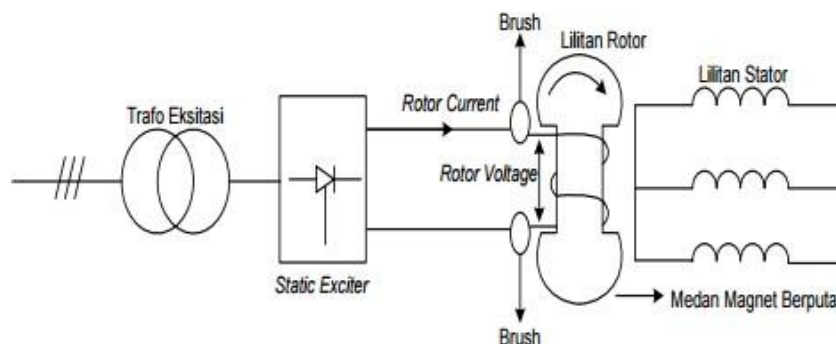


### 2.5.2 Sistem Eksitasi Statis

Sistem eksitasi statis yaitu sistem eksitasi yang menggunakan peralatan eksitasi yang tidak bergerak (static), yang berarti peralatan eksitasi tersebut diam dan tidak berputar bersamaan dengan rotor generator sinkron.

Sistem eksitasi statis ini biasa disebut dengan self excitation yang merupakan sistem eksitasi yang tidak membutuhkan generator tambahan sebagai sumber eksitasi generator tersebut. Sumber eksitasi pada sistem ini yaitu berasal dari tegangan output generator itu sendiri yang telah disearahkan terlebih dahulu dengan menggunakan penyearah thyristor.

Sistem eksitasi statis, apabila dibandingkan dengan sistem eksitasi konvensional yang menggunakan generator arus searah sebagai eksiter sudah jauh lebih baik. Yaitu pada eksitasi statis tidak ada generator arus searah yang memiliki keandalan rendah dan beban pada penggerak utama berupa generator arus searah tersebut tidak ada. Sehingga hal tersebut menyebabkan sistem eksitasi statis ini memiliki keandalan yang lebih baik. Pada sistem eksitasi statis ini untuk kondisi awal di mana generator belum mampu menghasilkan tegangan keluaran, maka energi yang digunakan untuk sistem eksitasi diambil dari baterai. Dan proses ini dinamakan dengan proses field flashing. Di mana pada proses field flashing ini baterai menginjeksikan arus inisial eksitasi ke rotor generator. Dengan adanya arus inisial eksitasi ini maka generator akan menghasilkan tegangan keluaran. Berikut ini adalah skema dari sistem eksitasi statis dengan menggunakan sikat :



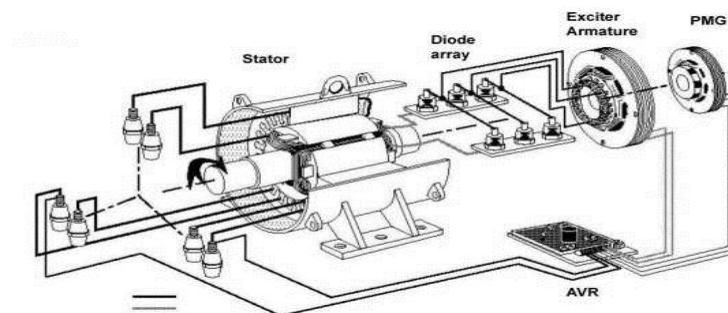
Gambar 2. 10 Skema Sistem Eksitasi Dengan Sikat



### 2.5.3 Sistem Eksitasi Permanen Magnet Generator (PMG)

Pada sistem eksitasi tanpa sikat sama sekali tidak bergantung pada sumber listrik eksternal, melainkan dengan menggunakan pilot exciter. Dan untuk sistem penyaluran arus eksitasi ke rotor generator utama tanpa melalui media sikat arang (carbon brush). Pilot exciter terdiri dari sebuah generator arus bolak balik dengan magnet permanen yang terpasang pada poros rotor dan kumparan tiga fasa pada stator. Suatu generator sinkron harus mempunyai medan magnet yang berputar supaya pada stator generator tersebut dihasilkan tegangan. Dan selain cara tersebut, terdapat cara lain yang digunakan untuk menghasilkan medan magnet pada rotor generator. Cara tersebut yaitu sistem eksitasi permanen magnet generator (PMG). Cara ini yaitu dengan menggunakan magnet permanen yang diposisikan pada poros generator tersebut, sehingga berputar saat poros tersebut diputar.

Sistem eksitasi dengan menggunakan sistem eksitasi tanpa sikat yang dilengkapi dengan permanen magnet generator biasanya digunakan pada generator sinkron yang memiliki kapasitas yang besar. Hal ini bertujuan agar sistem eksitasi dari generator tersebut tidak bergantung pada sumber daya listrik dari luar mesin tersebut. Berikut ini merupakan skema dari sistem eksitasi menggunakan magnet permanen:



Gambar 2. 11 Sistem Eksitasi Menggunakan Permanen Magnet Generator<sup>5</sup>

<sup>5</sup> R. Ananta Wikrama, “ Cara Kerja Generator Listrik Brushless Dengan Menggunakan PMG (Permanent Magnet Generator)”, [www.acedemia.edu](http://www.acedemia.edu). Diakses pada 08 Juni 2022



## 2.6 Pembebanan Generator

Pembebanan generator ada dua, yaitu generator tanpa beban dan generator berbeban.

### 2.6.1 Generator Tanpa Beban

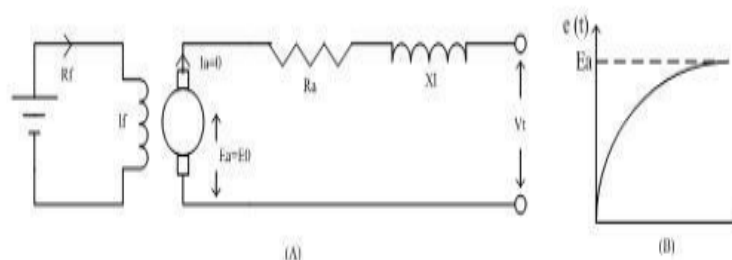
Pada generator sinkron keadaan jalan tanpa beban mengandung arti bahwa arus armature ( $I_a = 0$ ). Dengan demikian besar tegangan terminal adalah:

$$V_t = E_a = E_0 \dots \dots \dots (2.3)$$

Oleh karena besar ggl armature adalah merupakan fungsi dari fluks magnet (persamaan 2.4) maka ggl armature dapat juga ditulis :

$$E_a = f(\phi) \dots \dots \dots (2.4)$$

Dari persamaan (2.4), jika arus penguat medan diatur besarnya maka diikuti kenaikan fluks dan akhirnya juga pada ggl armature. Pengaturan arus penguat medan pada keadaan tertentu besarnya akan didapatkan besar ggl armature tanpa beban dalam keadaan saturasi. Secara grafik hubungan antara arus penguat medan ( $I_f$ ) dan  $E_a$  terlukis pada gambar.



Gambar 2. 12 Generator Tanpa Beban

Dimana :

$I_f$  = Arus kumparan medan/ arus penguat



$R_f$  = Hambatan kumparan medan

$R_a$  = Hambatan armatur

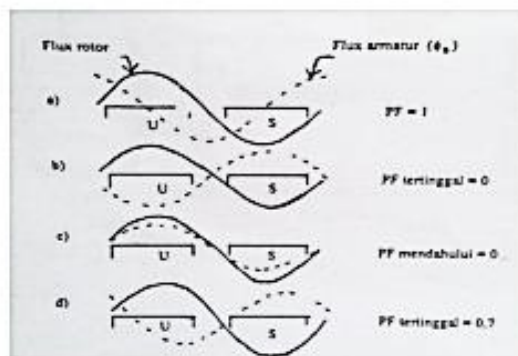
$X_L$  = Reaktansi bocor (reaktansi armatur)

$V_t$  = Tegangan output

$E_a$  = Gaya gerak listrik armatur

### 2.6.2 Generator Berbeban<sup>6</sup>

Dengan adanya beban yang terpasang pada output generator sinkron, maka segera mengalir arus armature ( $I_a$ ) ; dengan adanya arus armature ini, pada kumparan armature atau kumparan jangkar timbul fluks putar jangkar. Fluks putar jangkar ini bersifat mengurangi atau menambah fluks putar yang dihasilkan oleh kumparan rotor. Hal ini tergantung pada faktor daya beban. Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar:



Gambar 2. 13 Pengaruh faktor daya beban terhadap fluks rotor

Untuk beda fase  $0^\circ$  sampai  $90^\circ$ , arus armatur mendahului terhadap tegangan beban dan disebut faktor daya beban menengah mendahului, sedangkan untuk beda fasa  $0^\circ$  sampai  $90^\circ$ , arus armature tertinggal terhadap tegangan beban dan disebut faktor daya beban menengah tertinggal. Pada faktor daya beban menengah

<sup>6</sup> Yon Rijono, *Dasar Teknik Tenaga Listrik (Edisi Revisi)*, Andi Offset, Yogyakarta, 2004, hlm 212



mendahului, fluks armatur yang timbul fasenya agak bergeser ke kanan terhadap fluks putar rotor. Sehingga pada kejadian ini terjadi proses dimagnetisasi sebagian dan bentuk sinyal GGL armatur yang dihasilkan ada cacat armatur. Dengan adanya fluks putar armatur akibat timbulnya arus armatur, maka pada kumparan timbul reaktansi pemagnet  $X_m$ , reaktansi pemagnet. Bersama-sama dengan reaktansi bocor dikenal dengan nama reaktansi sinkron  $X_s$  dan secara matematis ditulis :

$$X_s = X_L + X_m \dots \dots \dots (2.5)$$

Pada generator sinkron berbeban, maka pada kumparan armature timbul  $I_a$  dan  $X_m$  akibatnya timbul penurunan GGL armatur tanpa beban.  $E_0$  menjadi  $E_a = E_0 - j I_a X_m$  dan tegangan terminalnya menjadi ( $V_t$ ). GGL armatur tanpa beban ( $E_0$ ) besarnya adalah :

$$E_0/p_h = V_t + I_a (R_a + j X_s) \dots \dots \dots (2.6)$$

Atau

$$E_0/p_h = V_t + I_a \cdot Z_s \dots \dots \dots (2.7)$$

## 2.7 Rugi-rugi Generator Sinkron

Rugi-rugi generator listrik sebagian dapat ditemukan dengan cara konvensional yaitu dengan percobaan beban nol dan percobaan block rotor. Percobaan beban nol dapat menentukan rugi – rugi rotasi generator. Pada keadaan beban nol, seluruh daya listrik input generator digunakan untuk mengatasi rugi – rugi inti dan rugi – rugi mekanik. Dalam sistem konversi energi elektro mekanik yakni dalam operasi generator, total daya yang diterima sama dengan daya yang diberikan, ditambah dengan kerugian daya yang diberikan, ditambah dengan kerugian daya yang terjadi, atau :

$$P_{in} = P_{out} + P_{rugi-rugi} \dots \dots \dots (2.8)$$



Atau

$$P_{\text{rugi-rugi}} = I^2 \times R \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana :

$P_{\text{in}}$  : Total daya yang diterima motor

$P_{\text{out}}$  : Daya yang diterima generator untuk melakukan kerja

$P_{\text{rugi-rugi}}$  : Total kerugian daya yang dihasilkan oleh generator.

Tabel 2. 1 Jenis- jenis rugi-rugi Generator

Jenis Rugi-rugi	Persentase rugi-rugi total ( % )
Rugi-rugi tetap atau rugi-rugi inti	25
Rugi-rugi variabel: rugi-rugi pada stator	34
Rugi-rugi variabel : rugi-rugi pada rotor	21
Rugi-rugi gesekan	15
Rugi-rugi beban menyimpang (Stray load)	5

### 2.7.1 Rugi-Rugi Inti

Rugi-rugi inti terjadi di dalam jangkar generator arus searah yang disebabkan oleh perputaran jangkar di dalam medan magnet kutub-kutub dari kumparan medan. Rugi – rugi inti diperoleh pada besi magnetis didalam stator dan rotor akibat timbulnya efek histeris dan arus pusar (eddy current). Timbulnya rugi – rugi inti, ketika besi jangkar atau struktur rotor mengalami perubahan fluks terhadap waktu. Rugi – Rugi ini tidak tergantung pada beban, tetapi merupakan fungsi dari pada fluks dan kecepatan generator. Pada umumnya rugi – rugi inti berkisar antara 20 – 25% dari total kerugian daya generator pada keadaan nominal. Rugi- rugi arus eddy tergantung pada kuadrat dari kerapatan fluks dan frekuensi. Pada keadaan mesin normal besarnya dapat didekati dengan :

$$P_c = K_c (B_{\text{maks}} \cdot f \cdot T) \dots \dots \dots (2.10)$$



Pada mesin induksi, rugi-rugi intinya terdapat di stator dan rotor hampir boleh diabaikan karena frekuensi di rotor relatif kecil. Jadi total rugi rugi inti adalah sebagai berikut :

$$P_i = P_h + P_i \dots \dots \dots (2.11)$$

atau

$$P_{\text{rugi - rugi}} \times 0,25 \dots \dots \dots (2.12)$$

### 2.7.2 Rugi-rugi Belitan

Rugi-rugi belitan sering disebut rugi – rugi mempunyai belitan stator dari kawat alumunium yang lebih tepat disebut rugi – rugi  $I^2 R$  yang menunjukkan besarnya daya yang berubah menjadi panas oleh tahanan dari konduktor tembaga atau aluminium. Total kerugian  $I^2 R$  adalah jumlah dari rugi – rugi  $I^2 R$  primer (stator) dan rugi – rugi  $I^2 R$  sekunder (rotor). Rugi – rugi  $I^2 R$  dalam belitan sebenarnya tidak hanya tergantung pada arus, tetapi juga pada tahanan belitan di bawah kondisi operasi. Sedangkan, tahanan efektif dari belitan selalu berubah dengan perubahan temperatur, skin effect dan sebagainya. Sangat sulit untuk menentukan nilai yang sebenarnya dari tahanan belitan dibawah kondisi operasi. Kesalahan pengukuran kerugian belitan dapat dimasukkan ke dalam kerugian stray load. Pada umumnya rugi – rugi belitan ini berkisar antara 55 - 60% dari total kerugian generator pada keadaan beban nominal.

$$P_b = P_{\text{rugi - rugi}} \times 0,55 \dots \dots \dots (2.13)$$

### 2.7.3 Rugi-rugi Mekanik<sup>7</sup>

Rugi mekanik terdiri dari :

<sup>7</sup> Muhammad Noer, *Analisa Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi Generator di PLTG Borang Dengan Menggunakan Software MATLAB*, Universitas PGRI Palembang, Palembang, 2017, hlm 106



- a. Rugi gesek yang terjadi pada pergesekan sikat dan sumbu. Rugi ini dapat diukur dengan menentukan masukan pada mesin yang bekerja pada kecepatan yang semestinya tetapi tidak diberi beban dan tidak diteral.
- b. Rugi angin (windage loss) atau disebut juga rugi buta (stray loss) akibat adanya celah udara antara bagian rotor dan bagian stator. Besar rugi mekanik sekitar 10 sampai 20% dari rugi total pada beban penuh.

$$P_m = P_{\text{rugi-rugi}} \times 0,1 \dots \dots \dots (2.14)$$

#### 2.7.4 Rugi – rugi Stray Load

Kita telah melihat bahwa beberapa macam kerugian selalu dianggap konstan dari keadaan beban nol hingga beban penuh walaupun kita tahu bahwa rugi – rugi tersebut sebenarnya berubah, secara kecil terhadap beban. Sebagai tambahan, kita tidak dapat menghitung berapa besar kerugian ini seperti yang diakibatkan oleh perubahan fluks terhadap beban, geometri konduktor sehingga arus terbagi sedikit tidak merata dalam konduktor bertambah, mengakibatkan penambahan tahanan konduktor dan karena itu rugi – rugi konduktor harus bertambah. Dari semua kerugian yang relatif kecil ini, baik dari sumber yang di ketahui maupun yang tidak diketahui, disatukan menjadi rugi – rugi stray load yang cenderung bertambah besar apabila beban meningkat (berbanding kuadrat dengan arus beban). Pada umumnya kerugian ini berkisar 5 sampai 10% dari total kerugian daya generator pada keadaan beban penuh dan saat keadaan beban nominal 1 sampai 5%.

$$P_s = P_{\text{rugi – rugi}} \times 0,05 \dots \dots \dots (2.15)$$

## 2.8 Arus Rotor (Field current) dan Arus Stator (Armature current)

### 2.8.1 Arus Rotor (Field current)

Rugi-rugi belitan akhir dan belitan terselubung maksimum per satuan volume didapatkan bearan rugi-rugi maksimum tembaga :





$$P_{cu,r} = I_S^2 \times R_S \dots \dots \dots (2.16)^8$$

Dimana :

$P_{cu,r}$  = Rugi-rugi tembaga rotor (Watt)

$I_S$  = Arus medan maksimum (Ampere)

$R_S$  = Resistansi belitan medan (Ohm)

### 2.8.2 Arus Stator (Armature current)

Oleh karena pemanasan sama dengan pemanasan stator maka persamaan pembatasnya pun mempunyai bentuk yang sama, yaitu:

$$P_{cu,s} = 3 \times I_a^2 \times R_a \dots \dots \dots (2.17)^9$$

Dan tegangan tembaga perphase untuk generator adalah:

$$V_T = \frac{VL}{\sqrt{3}} \dots \dots \dots (2.18)$$

Dimana :

$P_{cu,s}$  = Rugi-rugi belitan armatur (Watt)

$I_a$  = Arus armatur (Ampere)

$R_a$  = Resistansi belitan armature (Ohm)

### 2.9 Impedansi dan Resistansi

Impedansi (disebut juga hambatan dalam Z) adalah nilai resistansi yang terukur pada kutub sinyal jack alat elektronik. Semakin besar hambatan /impedansi, semakin besar tegangan yang dibutuhkan. Impedansi tidak dapat dikatakan sebagai hambatan secara spontan, karena terdapat perbedaan yang mendasar dari keduanya. Beberapa sumber mengatakan bahwa impedansi merupakan hasil reaksi hambatan (R,resistansi) dan kapasitansi electron (C,kapasistansi) secara bersamaan.

$$Z = Z \cos \theta + j Z \sin \theta \dots \dots \dots (2.19)$$

<sup>8</sup> Stephen J. Chapman, Electric Machinery and Power System Fundamentals, 2002, Hlm 206

<sup>9</sup> Ibid. hlm 216



Dimana:

$Z = \text{Impedansi } (\Omega)$

$Z \cos \theta = \text{Resistansi } (\Omega)$

$J Z \sin \theta = \text{Reaktansi } (\Omega)$

$R = \text{Resistansi } (\Omega)$

$$R = Z' \times \cos \theta \dots\dots\dots(2.20)$$

## 2.10 Faktor Daya

Daya adalah hasil dari nilai nilai-nilai rms dari tegangan dan arus, sedangkan daya aktif kurang dari daya nyata dengan faktor tertentu. Faktor ini sama dengan rasio dari daya aktif untuk daya nyata, di sebut faktor daya sirkuit, untuk voltage sinusoidal dan gelombang saat ini, dengan diperlihatkan persamaan 2.21

$$PF = \frac{V.I \cos \theta}{V.I} \dots\dots\dots(2.21)$$

Maka, di sirkuit yang bentuk gelombang mengikuti hukum sinus, faktor daya adalah cosinus dan sudut antara tegangan dan arus yang dihasilkan mengalir dalam sirkuit. Faktor daya disebut tertinggal ketika arus terlambat terhadap tegangan yang diberikan dan memimpin saat arus mengarah tegangan. Dengan demikian, untuk pertimbangan faktor daya, tegangan yang diberikan selalu di anggap sebagai kualitas referensi.

## 2.11 Efisiensi Generator<sup>10</sup>

Pada umumnya yang disebut dengan efisiensi generator adalah perbandingan antara daya output dengan daya input. Seperti halnya dengan mesin-mesin listrik lainnya, maupun transformator, maka efisiensi generator sinkron dapat dituliskan seperti persamaan:

---

<sup>10</sup> Yon Rijono, Op.cit., hlm 145



$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.22)$$

Dari persamaan diatas, perlu dipelajari faktor – faktor yang menyebabkan efisiensi selalu dibawah 100%. Untuk itu perlu diketahui kerugian daya apa saja yang timbul selama generator beroperasi.

1. Kerugian belitan dalam generator yang dinamakan rugi-rugi listrik.
2. Kerugian daya yang timbul langsung karena putaran generator, yang dinamakan rugi-rugi rotasi. Rugi- rugi rotasi ini terbagi menjadi dua jenis yaitu :
  - a. Rugi mekanis akibat putaran.
  - b. Rugi inti besi akibat kecepatan putaran dan Fluks medan.



*Politeknik Negeri Sriwijaya*

---