

# PRINSIP KERJA GENERATOR SINKRON

\* *Wahyu Sunarlik*

## Abstrak :

*Generator adalah suatu alat yang dapat mengubah tenaga mekanik menjadi energi listrik. Tenaga mekanik bisa berasal dari panas, air, uap, dll. Energi listrik yang dihasilkan oleh generator bisa berupa Listrik AC (listrik bolak-balik) maupun DC (listrik searah). Hal tersebut tergantung dari konstruksi generator yang dipakai oleh pembangkit tenaga listrik. Generator berhubungan erat dengan hukum faraday. Berikut hasil dari hukum faraday “ bahwa apabila sepotong kawat penghantar listrik berada dalam medan magnet berubah-ubah, maka dalam kawat tersebut akan terbentuk Gaya Gerak Listrik ” Disebut mesin sinkron, karena bekerja pada kecepatan dan frekuensi konstan di bawah kondisi ”Steady state”. Mesin sinkron bisa dioperasikan baik sebagai generator maupun motor. Mesin sinkron bila difungsikan sebagai motor berputar dalam kecepatan konstan. Apabila dikehendaki kecepatan yang bersifat variabel, maka motor sinkron dilengkapi dengan pengubah frekuensi seperti Inverter atau Cyclo-converter.*

*Kata kunci :*

*Generator, Rotor, Motor Sinkron, Gaya Gerak Listrik ( ggl )*

## Pendahuluan

Sebagian besar energi listrik yang dipergunakan oleh konsumen untuk kebutuhan sehari-hari dihasilkan oleh generator sinkron fasa banyak (*polyphase*) yang ada di pusat pembangkit tenaga listrik. Generator sinkron yang dipergunakan ini mempunyai rating daya dari ratusan sampai ribuan mega Volt Ampere (MVA).

Disebut mesin sinkron, karena bekerja pada kecepatan dan frekuensi konstan di bawah kondisi ”Steady state”. Mesin sinkron bisa dioperasikan baik sebagai generator maupun motor. Mesin sinkron bila difungsikan sebagai motor berputar dalam kecepatan konstan.

Apabila dikehendaki kecepatan yang bersifat variabel, maka motor sinkron dilengkapi dengan pengubah frekuensi seperti *Inverter* atau *Cyclo-converter*.

Sebagai generator, beberapa mesin sinkron sering dioperasikan secara paralel, seperti dipusat-pusat pembangkit. Adapun tujuan dari paralel generator adalah menambah daya pasokan dari pembangkit yang dibebankan ke masing-masing generator yang dikirimkan ke beban.

Ada dua struktur medan magnet pada mesin sinkron yang merupakan dasar kerja dari mesin tersebut, yaitu *kumparan yang mengalirkan penguatan DC* dan *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*.

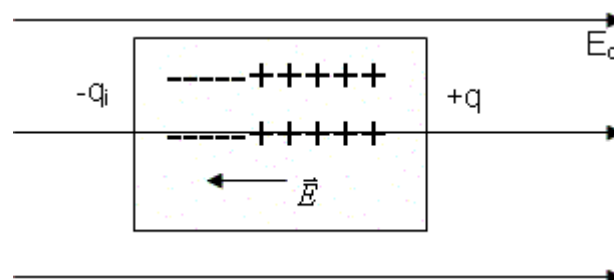
## 1. Generator

**Generator** adalah suatu alat yang dapat mengubah tenaga mekanik menjadi energi listrik. Tenaga mekanik bisa berasal dari panas, air, uap, dll. Energi listrik yang dihasilkan oleh generator bisa berupa Listrik AC (listrik bolak-balik) maupun DC (listrik searah). Hal tersebut tergantung dari konstruksi generator yang dipakai oleh pembangkit tenaga listrik.

**Generator** berhubungan erat dengan hukum faraday. Berikut hasil dari hukum faraday “ bahwa apabila sepotong kawat penghantar listrik berada dalam medan magnet berubah-ubah, maka dalam kawat tersebut akan terbentuk Gaya Gerak Listrik ”

### Gaya Gerak Listrik (GGL)

Bila sebatang logam panjang berada di dalam medan listrik, ( $E_0$ ), maka akan menyebabkan elektron bebas akan bergerak ke kiri yang akhirnya akan menimbulkan medan listrik induksi yang sama kuat dengan medan listrik (Gambar 1) sehingga kuat medan total menjadi nol. Dalam hal ini potensial kedua ujung logam menjadi sama besar dan aliran elektron akan berhenti, maka kedua ujung logam terdapat muatan induksi. Agar aliran elektron bebas berjalan terus maka harus muatan induksi ini terus diambil, sehingga pada logam tidak timbul medan listrik induksi. Dan sumber ggl (misal baterai) yang dapat membuat beda potensial kedua ujung logam harganya tetap, sehingga aliran electron tetap berjalan.



Gambar 1

Selanjutnya sumber ggl atau sering disebut sumber tegangan), bila dihubungkan dengan perumusan medan listrik, dapat dilakukan melalui hubungan kerja. Bila dalam rangkaian tertutup ada sumber tegangan dengan ggl sebesar  $\mathcal{E}$ , muatan  $q$  mendapat tambahan energi  $q\mathcal{E}$ , sehingga kerja yang dilakukan oleh medan listrik untuk menggerakkan muatan  $q$  dalam lintasan tertutup haruslah:

$$W = q\mathcal{E} = \oint_C q\vec{E} \cdot d\vec{l}$$

atau

$$\mathcal{E} = \oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

**Generator Arus Searah** menghasilkan arus listrik DC karena pada konstruksi dilengkapi dengan komutator, biasanya berfungsi sebagai penguat pada generator utama di bengkel atau industri. Sedangkan **Generator Arus Bolak-Balik** menghasilkan arus listrik AC, hal ini disebabkan karena konstruksi pada generator menyebabkan arah arus akan berbalik pada setiap setengah putaran.

## 2 Konstruksi Mesin Sinkron

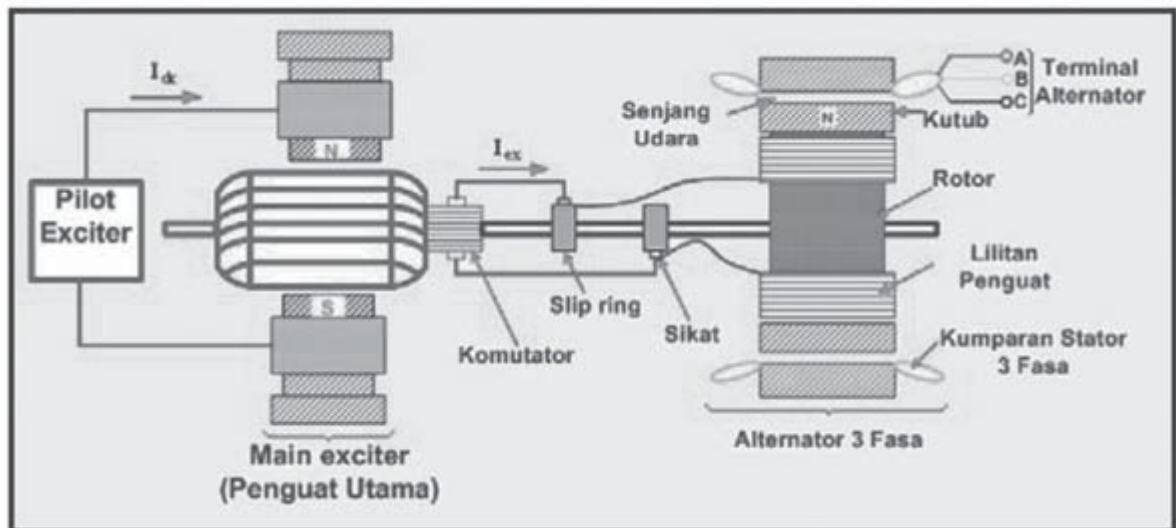
Ada dua struktur medan magnet pada mesin sinkron yang merupakan dasar kerja dari mesin tersebut, yaitu kumparan yang *mengalirkan penguatan DC* dan *sebuah jangkar tempat dibangkitkannya ggl arus bola-balik*. Hampir semua mesin sinkron mempunyai belitan ggl berupa stator yang diam dan struktur medan magnet berputar sebagai rotor. Kumparan DC pada struktur medan yang berputar dihubungkan pada sumber luar melalui slipring dan sikat arang, tetapi ada juga yang tidak mempergunakan sikat arang yaitu sistem *brushless excitation*.

Konstruksi dari sebuah Mesin Sinkron secara garis besar sebagai berikut.

### 2.1 Bentuk Penguatan

Seperti telah diuraikan di atas, bahwa untuk membangkitkan flux magnetik diperlukan penguatan DC. Penguatan DC ini bisa diperoleh dari generator DC penguatan sendiri yang seporos dengan rotor mesin sinkron.

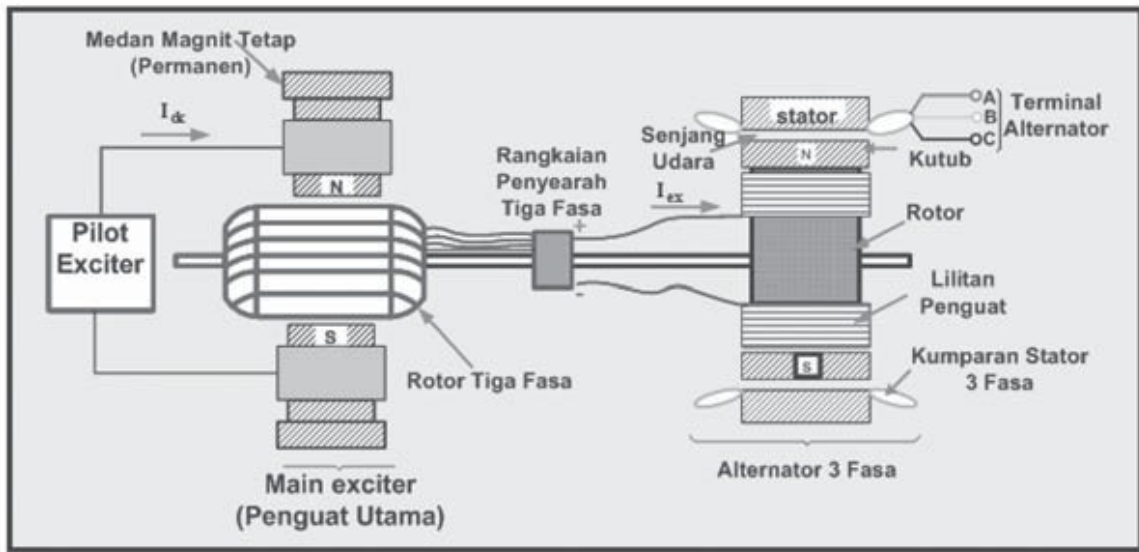
Pada mesin sinkron dengan kecepatan rendah, tetapi rating daya yang besar, seperti generator *hydroelectric*, maka generator DC yang digunakan tidak dengan penguatan sendiri, tetapi dengan *pilot exciter* sebagai penguatan atau menggunakan magnet permanen.



**Gambar 2** Generator sinkron tiga fasa dengan penguatan generator DC *Pilot Exciter*.

Alternatif lainnya untuk penguatan eksitasi adalah menggunakan Diode silikon dan Thyristor. Dua tipe sistem penguatan "*Solid state*" sebagai berikut.

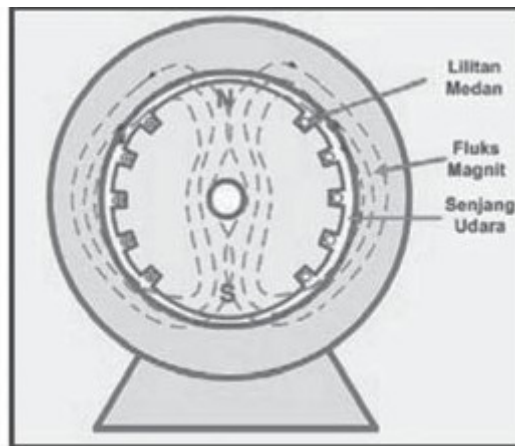
- Sistem statis yang menggunakan Diode atau Thyristor statis, dan arus dialirkan ke rotor melalui Slipring.
- *Brushless system*, pada sistem ini penyearah dipasang di poros yang berputar dengan rotor, sehingga tidak dibutuhkan sikat arang dan slipring.



**Gambar 3** Generator sinkron tiga fasa dengan sistem penguatan *brushless exciter system*.

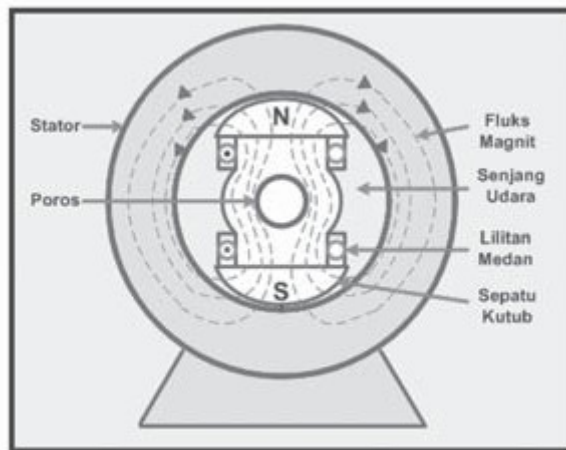
## 2.2 Bentuk Rotor

Untuk medan rotor yang digunakan tergantung pada kecepatan mesin, mesin dengan kecepatan tinggi seperti turbo generator mempunyai bentuk silinder



Gambar 4 , Rotor kutub silinder

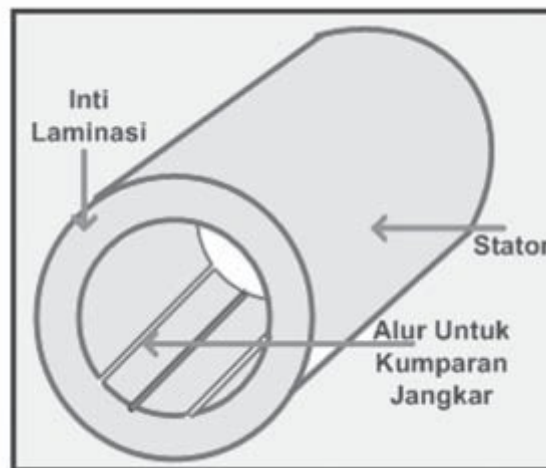
Sedangkan mesin dengan kecepatan rendah seperti *hydroelectric* atau generator listrik diesel mempunyai rotor kutub menonjol



Gambar 5 , Rotor kutub menonjol

### 2.3 Bentuk Stator

Stator dari mesin sinkron terbuat dari bahan ferromagnetik yang berbentuk laminasi untuk mengurangi rugi-rugi arus pusar. Dengan inti ferromagnetik yang bagus berarti permeabilitas dan resistivitas dari bahan tinggi.



Gambar 6, Inti stator dan alur pada stator

**Gambar 6**, memperlihatkan alur stator tempat kumparan jangkar. Belitan jangkar (stator) yang umum digunakan oleh mesin sinkron tiga fasa, ada dua tipe yaitu:

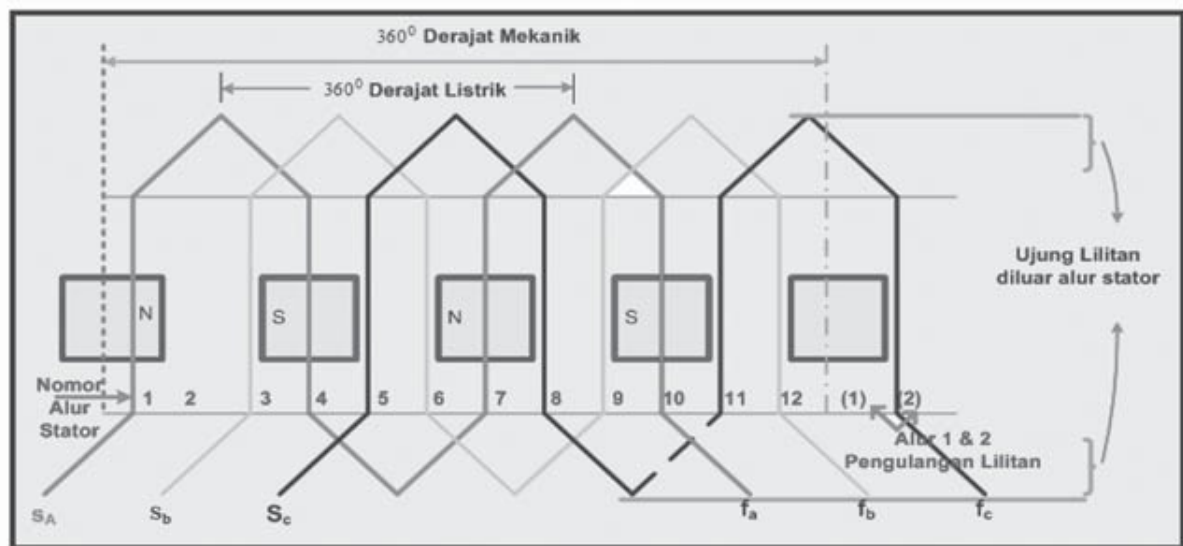
- a. Belitan satu lapis (*Single Layer Winding*).
- b. Belitan berlapis ganda (*Double Layer Winding*).

#### 2.3.a. Belitan Stator Satu Lapis

**Gambar 7**, memperlihatkan belitan satu lapis karena hanya ada satu sisi lilitan didalam masing-masing alur. Bila kumparan tiga fasa dimulai pada Sa, Sb, dan Sc dan berakhir di Fa, Fb, dan Fc bisa disatukan dalam dua cara, yaitu hubungan bintang dan segitiga.

Antar kumparan fasa dipisahkan sebesar 120 derajat listrik atau 60 derajat mekanik, satu siklus ggl penuh akan dihasilkan bila rotor dengan 4 kutub berputar 180 derajat mekanis. Satu siklus ggl penuh menunjukkan 360 derajat listrik, adapun hubungan antara sudut rotor mekanis  $\alpha_{mek}$  dan sudut listrik  $\alpha_{lis}$ , adalah:

$$\alpha_{lis} = \frac{P}{2} \alpha_{mek}$$



**Gambar 7**, Belitan satu lapis generator sinkron tiga fasa

**Contoh:**

Sebuah generator sinkron mempunyai 12 kutub. Berapa sudut mekanis ditunjukkan dengan 180 derajat listrik?

**Jawaban:**

Sudut mekanis antara kutub utara dan kutub selatan adalah:

$$\alpha_{mek} = \frac{360 \text{ sudut mekanis}}{12 \text{ kutub}} = 30^\circ$$

Ini menunjukkan 180 derajat listrik:

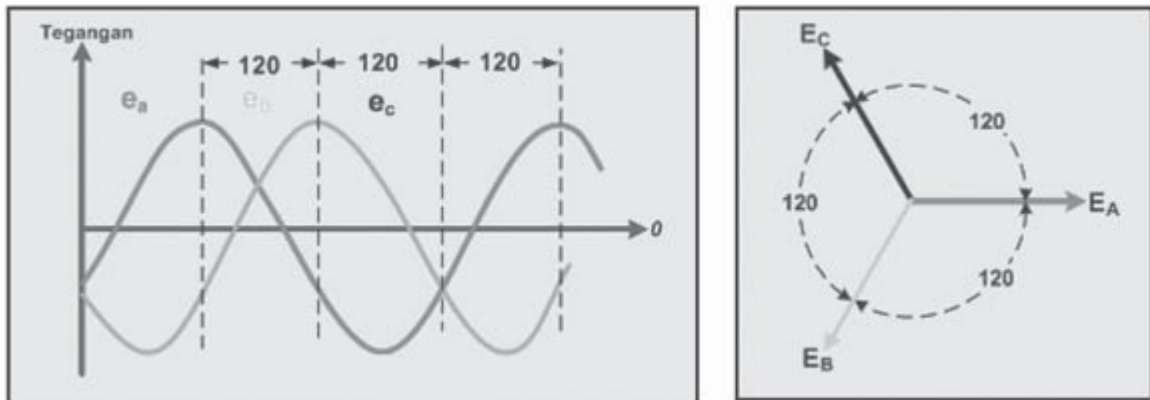
$$\alpha_{lis} = \frac{P}{2} \alpha_{mek}$$
$$= \frac{12}{2} \times 30^\circ = 180^\circ$$

Untuk menunjukkan arah dari putaran rotor **Gambar 8**, (searah jarum jam), urutan phasa yang dihasilkan oleh suplai tiga phasa adalah ABC, dengan demikian tegangan maksimum pertama terjadi dalam phasa A, diikuti phasa B, dan kemudian phasa C. Kebalikan arah putaran dihasilkan dalam urutan ACB, atau urutan phasa negatif, sedangkan urutan phasa ABC disebut urutan phasa positif. Jadi ggl yang dibangkitkan sistem tiga phasa secara simetris adalah:

$$E_A = E_A \angle 0^\circ \text{ Volt}$$

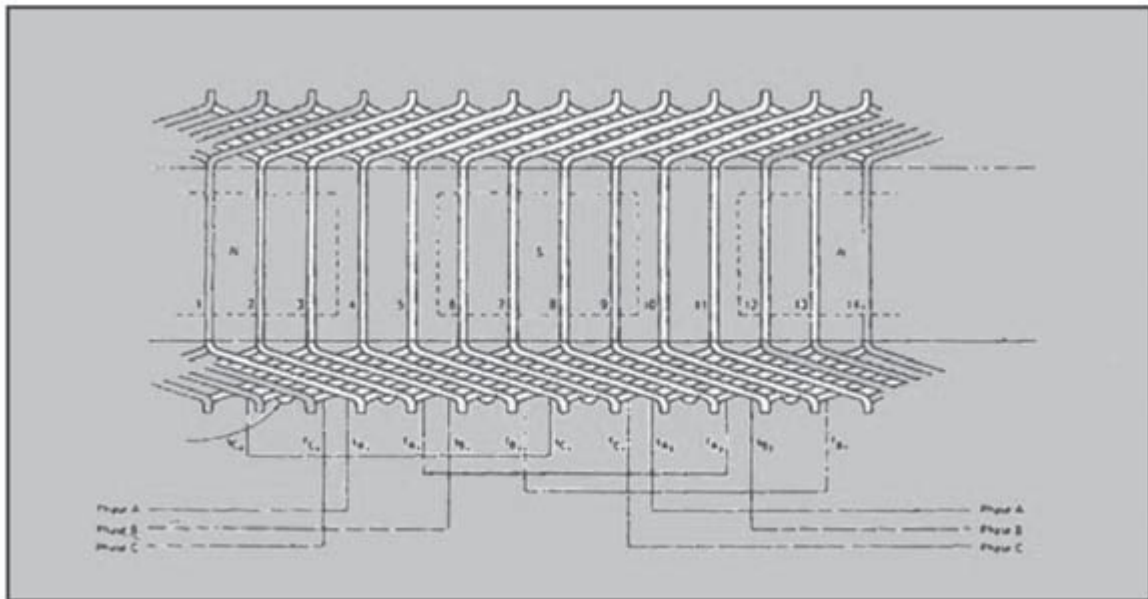
$$E_B = E_B \angle -120^\circ \text{ Volt}$$

$$E_C = E_C \angle -240^\circ \text{ Volt}$$



**Gambar 8**, Urutan phasa ABC





**Gambar 9**, Belitan berlapis ganda generator sinkron tiga fasa

### 2.3.b. Belitan Berlapis Ganda

Kumparan jangkar yang diperlihatkan pada **Gambar 7** hanya mempunyai satu lilitan per kutub per fasa, akibatnya masing-masing kumparan hanya dua lilitan secara seri. Bila alur-alur tidak terlalu lebar, masing-masing penghantar yang berada dalam alur akan membangkitkan tegangan yang sama. Masing-masing tegangan fasa akan sama untuk menghasilkan tegangan per penghantar dan jumlah total dari penghantar per fasa.

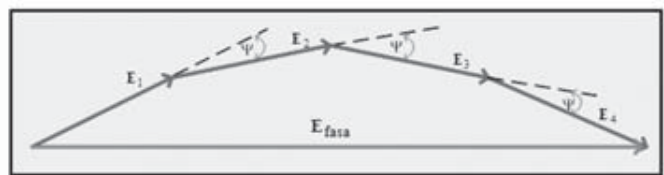
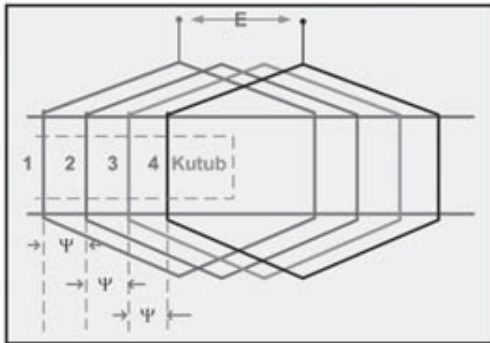
Dalam kenyataannya cara seperti ini tidak menghasilkan cara yang efektif dalam penggunaan inti stator, karena variasi kerapatan flux dalam inti dan juga melokalisasi pengaruh panas dalam daerah alur dan menimbulkan harmonik. Untuk mengatasi masalah ini, generator praktisnya mempunyai kumparan terdistribusi dalam beberapa alur per kutub per fasa. **Gambar 9** memperlihatkan bagian dari sebuah kumparan jangkar yang secara umum banyak digunakan. Pada masing-masing alur ada dua sisi lilitan dan masing-masing lilitan memiliki lebih dari satu putaran. Bagian dari lilitan yang tidak terletak ke dalam alur biasanya disebut *winding overhang*, sehingga tidak ada tegangan dalam *winding overhang*.

### 3. Faktor Distribusi

Seperti telah dijelaskan diatas bahwa sebuah kumparan terdiri dari sejumlah lilitan yang ditempatkan dalam alur secara terpisah. Sehingga, ggl pada terminal menjadi lebih kecil bila

dibandingkan dengan kumparan yang telah dipusatkan. Suatu faktor yang harus dikalikan dengan ggl dari sebuah kumparan distribusi untuk menghasilkan total ggl yang dibangkitkan disebut faktor distribusi Kd untuk kumparan. Faktor ini selalu lebih kecil dari satu. Diasumsikan ada n alur per fasa per kutub, jarak antara alur dalam derajat listrik, adalah :

$$\psi = \frac{180 \text{ derajat listrik}}{n \times m} \text{ di mana } m \text{ menyatakan jumlah fasa.}$$



**Gambar 10** Diagram fasor dari tegangan induksi lilitan

Perhatikan Gambar 10 diatas , di sini diperlihatkan ggl yang diinduksikan dalam alur 2 akan tertinggal (lagging) dari ggl yang dibangkitkan dalam alur 1 sebesar  $\psi = 15$  derajat listrik, demikian pula ggl yang diinduksikan dalam alur 3 akan tertinggal  $2\psi$  derajat, dan seterusnya. Semua ggl ini ditunjukkan masing-masing oleh phasor  $E_1, E_2, E_3,$  dan  $E_4$  . Total ggl stator per fasa E adalah jumlah dari seluruh vektor.

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + E_4$$

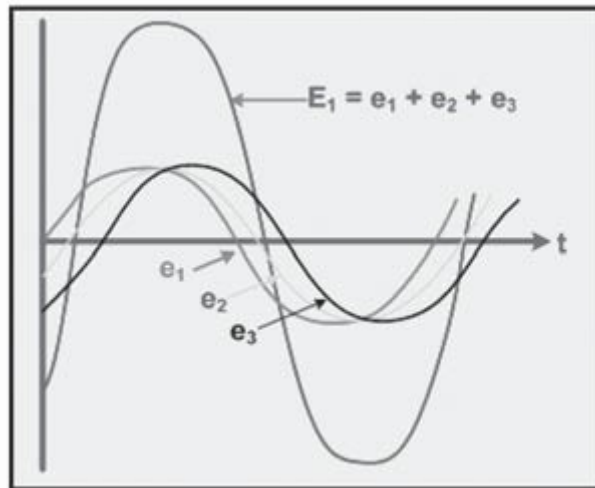
Total ggl stator E lebih kecil dibandingkan jumlah aljabar dari ggl lilitan oleh faktor.

$$Kd = \frac{\text{Jumlah Vektor}}{\text{Jumlah Aljabar}} = \frac{E_1 + E_2 + E_3 + E_4}{4 \times E_{\text{lilitan}}}$$

Kd adalah faktor distribusi, dan bisa dinyatakan dengan persamaan:

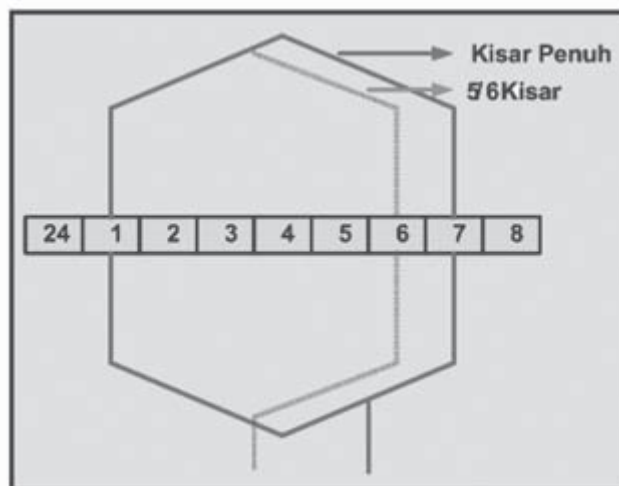
$$Kd = \frac{\text{Sin}(1/2n\psi)}{n\text{Sin}(\psi/2)}$$

Keuntungan dari kumparan distribusi, adalah memperbaiki bentuk gelombang tegangan yang dibangkitkan, seperti terlihat pada Gambar 11.



**Gambar 11** Total ggl  $E_t$  dari tiga ggl sinusoidal

#### 4. Faktor Kisar



**Gambar 12** Kisar kumparan

Gambar 12 tersebut di atas memperlihatkan bentuk kisar dari sebuah kumparan, bila sisi lilitan diletakkan dalam alur 1 dan 7 disebut kisar penuh, sedangkan bila diletakkan dalam alur 1 dan 6 disebut kisar pendek, karena ini sama dengan 5/6 kisar kutub.

Kisar:  $5/6 = 5/6 \times 180$  derajat = 150 derajat

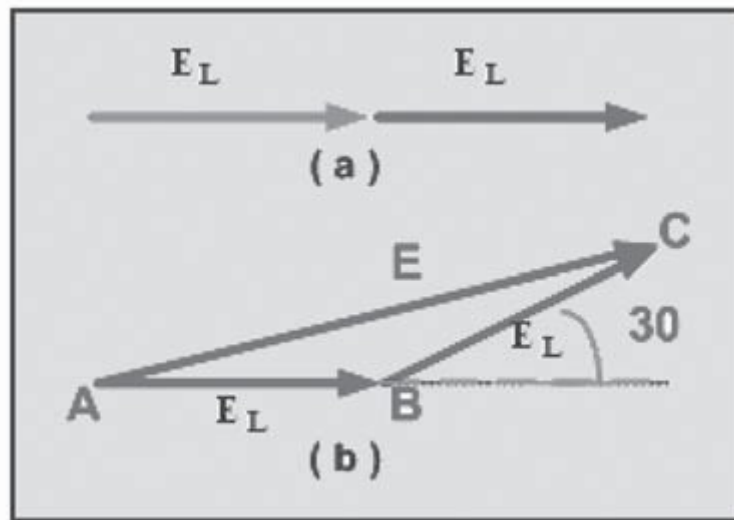
$1/6 = 1/6 \times 180$  derajat = 30 derajat.

Kisar pendek sering digunakan, karena mempunyai beberapa keuntungan, di antaranya:

- Menghemat tembaga yang digunakan.
- Memperbaiki bentuk gelombang dari tegangan yang dibangkitkan.
- Kerugian arus pusar dan Hysterisis dikurangi.

$$\text{Faktor Kisar} = \frac{\text{Jumlah Vektor ggl induksi lilitan}}{\text{Jumlah Aljabar ggl induksi lilitan}} = K_p$$

EL ggl yang diinduksikan pada masing-masing lilitan, bila lilitan merupakan kisar penuh, maka total induksi = 2 EL



**Gambar 13** Vektor tegangan lilitan

Kisar pendek dengan sudut 30 derajat listrik, seperti diperlihatkan pada **Gambar 10**, maka tegangan resultannya adalah :

$$E = 2 E_L \cdot \cos 30/2$$

$$K_p = \frac{E}{2 \cdot E_L} = \frac{2 E_L \cos 30/2}{2 E_L} = \cos 15^\circ$$

$$\text{Atau } K_p = \frac{\cos 30}{2} = \frac{\cos \alpha}{2} = \frac{\sin p^\circ}{2}$$

di mana  $p^\circ$  adalah kisar kumparan dalam derajat listrik.

## Prinsip Kerja Generator Sinkron

Kecepatan rotor dan frekuensi dari tegangan yang dibangkitkan berbanding secara langsung.

**Gambar 17** memperlihatkan prinsip kerja dari sebuah generator AC dengan dua kutub, dan dimisalkan hanya memiliki satu lilitan yang terbuat dari dua penghantar secara seri, yaitu penghantar a dan a'.

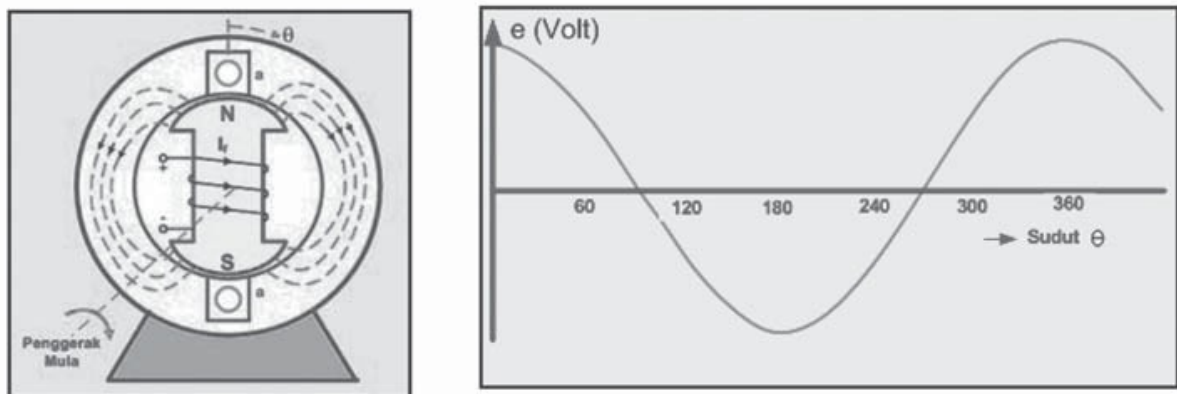
Lilitan seperti ini disebut *Lilitan terpusat*, dalam generator sebenarnya terdiri dari banyak lilitan dalam masing-masing Phasa yang terdistribusi pada masing-masing alur stator dan disebut *Lilitan terdistribusi*.

Diasumsikan rotor berputar searah jarum jam, maka flux medan rotor bergerak sesuai lilitan jangkar. Satu putaran rotor dalam satu detik menghasilkan satu siklus per detik atau 1 Hertz (Hz). Bila kecepatannya 60 revolution per menit (Rpm), frekuensi 1 Hz.

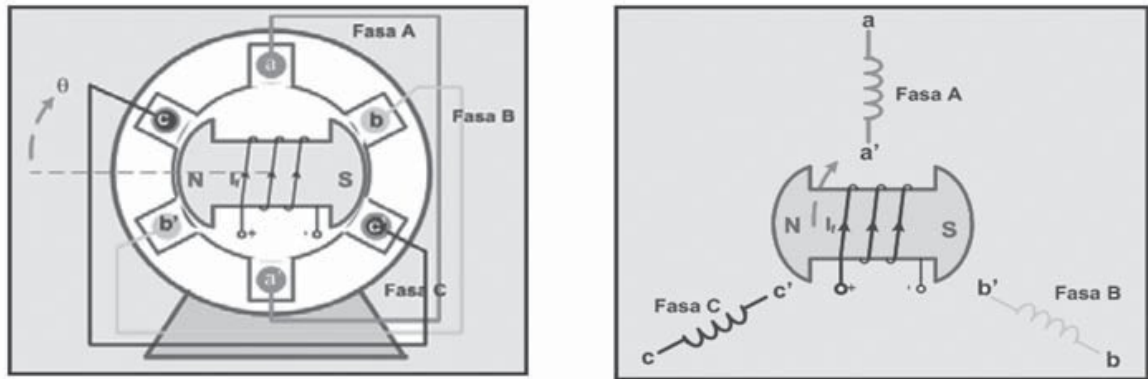
Untuk frekuensi  $f = 60$  Hz, maka rotor harus berputar 3600 Rpm. Untuk kecepatan rotor  $n$  rpm, rotor harus berputar pada kecepatan  $n/60$  revolution per detik (rps). Bila rotor mempunyai lebih dari 1 pasang kutub, misalnya  $P$  kutub maka masing-masing revolution dari rotor menginduksikan  $P/2$  siklus tegangan dalam lilitan stator. Frekuensi dari tegangan induksi sebagai sebuah fungsi dari kecepatan rotor.

$$f = \frac{P}{2} \frac{n}{60} \text{ Hertz}$$

Untuk generator sinkron tiga phasa, harus ada tiga belitan yang masing-masing terpisah sebesar 120 derajat listrik dalam ruang sekitar keliling celah udara seperti diperlihatkan pada kumparan a – a', b – b' dan c – c' pada gambar 14 dibawah ini :



**Gambar 14** Diagram generator AC satu phasa dua kutub



**Gambar 15** Diagram generator AC tiga fasa dua kutub

Masing-masing lilitan akan menghasilkan gelombang Fluksi sinus satu dengan lainnya berbeda 120 derajat listrik. Dalam keadaan seimbang besarnya fluksi sesaat :

$$\Phi_A = \Phi_m \cdot \sin \omega t$$

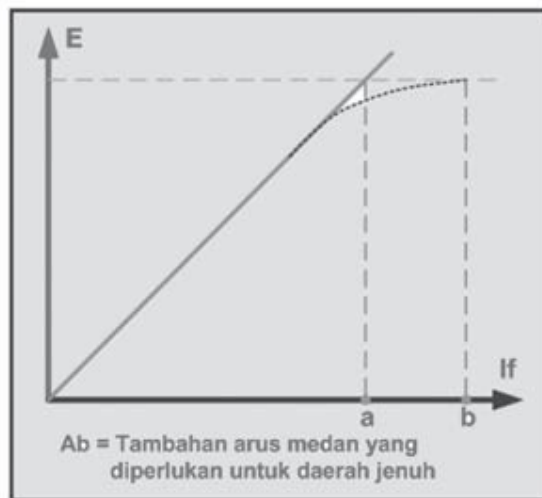
$$\Phi_B = \Phi_m \cdot \sin (\omega t - 120^\circ)$$

$$\Phi_C = \Phi_m \cdot \sin (\omega t - 240^\circ)$$

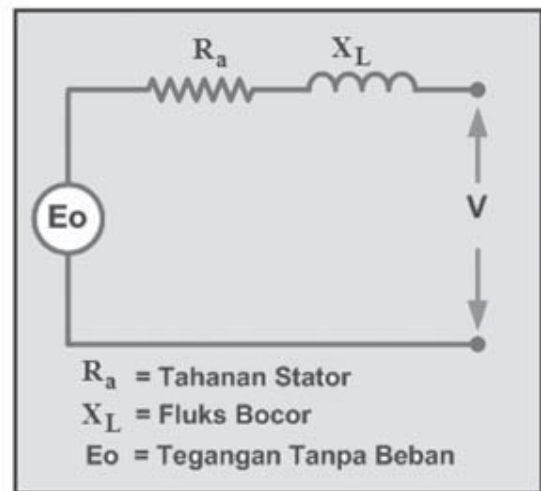
#### **a. Generator Tanpa Beban**

Apabila sebuah mesin sinkron difungsikan sebagai generator dengan diputar pada kecepatan sinkron dan rotor diberi arus medan ( $I_f$ ), maka pada kumparan jangkar stator akan diinduksikan tegangan tanpa beban ( $E_o$ ), yaitu :  $E_o = 4,44 \cdot K_d \cdot K_p \cdot f \cdot \phi_m \cdot T$  Volt

Dalam keadaan tanpa beban arus jangkar tidak mengalir pada stator, sehingga tidak terdapat pengaruh reaksi jangkar. Fluk hanya dihasilkan oleh arus medan ( $I_f$ ). Bila besarnya arus medan dinaikkan, maka tegangan output juga akan naik sampai titik saturasi (jenuh) seperti diperlihatkan pada Gambar 16 (a). Kondisi Generator tanpa beban bisa digambarkan rangkaian ekuivalennya seperti diperlihatkan pada Gambar 16 (b).



( a )



( b )

**Gambar 16** Kurva dan rangkaian ekuivalen generator tanpa beban

### b. Generator Berbeban

Bila Generator diberi beban yang berubah-ubah maka besarnya tegangan terminal  $V$  akan berubah-ubah pula. Hal ini disebabkan adanya kerugian tegangan pada:

- Resistansi jangkar  $R_a$
- Reaktansi bocor jangkar  $X_L$
- Reaksi Jangkar  $X_a$

- \* Resistansi Jangkar

Resistansi jangkar/phase  $R_a$  menyebabkan terjadinya tegangan jatuh (Kerugian tegangan) / phase  $I \cdot R_a$  yang sephase dengan arus jangkar.

- \* Reaktansi Bocor Jangkar

Saat arus mengalir melalui penghantar jangkar, sebagian fluk yang terjadi tidak mengimbas pada jalur yang telah ditentukan, hal seperti ini disebut fluk bocor.

- \* Reaksi Jangkar

Adanya arus yang mengalir pada kumparan jangkar saat generator dibebani akan menimbulkan fluksi jangkar ( $\phi_A$ ) yang berintegrasi dengan fluksi yang dihasilkan pada kumparan medan rotor ( $\phi_F$ ), sehingga akan dihasilkan suatu fluksi resultan sebesar :

$$\phi_R = \phi_F + \phi_A$$

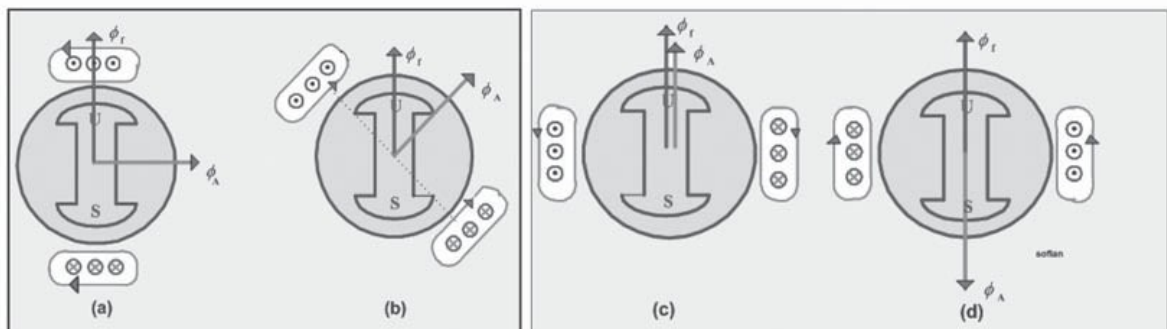
Interaksi antara kedua fluksi ini disebut sebagai reaksi jangkar, seperti diperlihatkan pada Gambar 17 yang mengilustrasikan kondisi reaksi jangkar untuk jenis beban yang berbeda-beda.

Gambar 17a, memperlihatkan kondisi reaksi jangkar saat generator dibebani tahanan (resistif) sehingga arus jangkar Ia sephasa dengan ggl Eb dan  $\phi_A$  akan tegak lurus terhadap  $\phi_F$ .

Gambar 17b, memperlihatkan kondisi reaksi jangkar saat generator dibebani kapasitif, sehingga arus jangkar Ia mendahului ggl Eb sebesar  $\theta$  dan  $\phi_A$  terbelakang terhadap  $\phi_F$  dengan sudut  $(90 - \theta)$ .

Gambar 17c, memperlihatkan kondisi reaksi jangkar saat dibebani kapasitif murni yang mengakibatkan arus jangkar Ia mendahului ggl Eb sebesar  $90^\circ$  dan  $\phi_A$  akan memperkuat  $\phi_F$  yang berpengaruh terhadap pemagnetan.

Gambar 17d, memperlihatkan kondisi reaksi jangkar saat arus diberi beban induktif murni sehingga mengakibatkan arus jangkar Ia terbelakang dari ggl Eb sebesar  $90^\circ$  dan  $\phi_A$  akan memperlemah  $\phi_F$  yang berpengaruh terhadap pemagnetan.



**Gambar 17** Kondisi reaksi jangkar

Kesimpulan :

- \* Mesin sinkron bisa dioperasikan baik sebagai generator maupun motor.
- \* Generator sinkron tiga fasa memiliki dua jenis eksitasi
  - a) dengan penguatan generator DC *pilot exciter*.
  - b) penguatan brushless.



- \* Bentuk rotor mesin sinkron berkecepatan tinggi seperti turbo generator mempunyai bentuk silinder, sedangkan mesin dengan kecepatan rendah seperti *hydroelectric* mempunyai rotor kutub menonjol.
- \* Stator dari mesin sinkron terbuat dari bahan *ferromagnetik*, belitan stator berupa belitan satu lapis atau belitan lapis anda.
- \* Belitan stator satu lapis karena hanya ada satu sisi lilitan di dalam masing-masing alur.
- \* Pada masing-masing alur ada dua sisi lilitan dan masing-masing lilitan memiliki lebih dari satu putaran.
- \* Pada belitan stator mengandung faktor distribusi dan faktor kisar belitan yang besarnya lebih kecil dari satu.
- \* Tegangan efektif per fasa bila faktor distribusi dan faktor kisar dimasukkan, berlaku rumus.  $E = 4,44 \cdot K_d \cdot K_p \cdot f \cdot \phi \cdot T$  Volt
- \* Frekuensi dari tegangan induksi sebagai sebuah fungsi dari kecepatan rotor,  

$$f = \frac{P}{2} \cdot \frac{n}{60}$$
 Hertz
- \* Mesin sinkron difungsikan sebagai generator, rotor diputar pada kecepatan sinkron dan belitan medan rotor diberi arus medan ( $I_f$ ), maka pada kumparan stator akan diinduksikan tegangan.
- \* Ada perbedaan karakteristik saat generator tanpa beban dan generator berbeban.
- \* Saat generator berbeban mengalir arus pada jangkar, maka besarnya tegangan terminal  $V$  akan berubah-ubah, hal ini disebabkan adanya kerugian tegangan pada: resistansi jangkar  $R_a$ ; reaktansi bocor jangkar; reaksi jangkar.

#### **Refferensi :**

Arismunandar, W dan Tsuda, Koichi. (1983). Motor Diesel Putaran Tinggi. Pradnya Paramitha. Jakarta

Karyanto, E (2000). Panduan Reparasi Mesin Diesel. Penerbit Pedoman Ilmu Jaya. Jakarta.

Motoren-Werke Mannheim AG. (1999). Diesel Generator Sets with Four-Stroke Diesel Engines. Lieferwerk munchen suddeutsche bremsen-AG. Germany

PT PLN JASDIKLAT. (1997). Generator. PT PLN Persero. Jakarta

PT PLN JASDIKLAT. (1997). Pengoperasian Mesin Diesel. PT PLN Persero. Jakarta.

Sumanto. (1996). Mesin Sinkron. Andi Yogyakarta. Yogyakarta