

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1. Umum**

Transformator merupakan suatu alat listrik yang mengubah tegangan arus bolak balik dari satu tingkat ke tingkat yang lain melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip-prinsip induksi elektromagnet. Transformator terdiri atas sebuah inti, yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder.

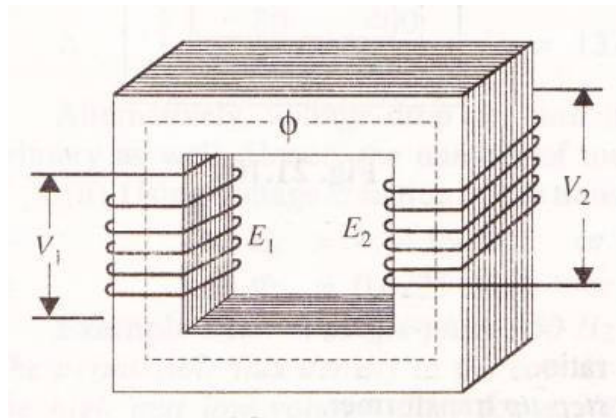
Penggunaan transformator yang sederhana dan handal memungkinkan dipilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan serta merupakan salah satu sebab penting bahwa arus bolak-balik sangat banyak dipergunakan untuk pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik.

Prinsip kerja transformator adalah berdasarkan hukum Ampere dan hukum Faraday, yaitu: arus listrik dapat menimbulkan medan magnet dan sebaliknya medan magnet dapat menimbulkan arus listrik. Jika pada salah satu kumparan pada transformator diberi arus bolak-balik maka jumlah garis gaya magnet berubah-ubah, sehingga pada sisi primer terjadi induksi dan sisi sekunder menerima garis gaya magnet dari sisi primer yang jumlahnya berubah-ubah pula. Maka di sisi sekunder juga timbul induksi, akibatnya antara dua ujung terdapat beda tegangan.

Sistem transformator tiga fasa dibangun dengan menghubungkan tiga buah transformator satu fasa ke sistem suplai listrik tiga fasa. Ada beberapa konfigurasi rangkaian primer dan sekunder transformator tiga fasa, yaitu : hubungan bintang-bintang, hubungan segitiga-segitiga, hubungan bintang-segitiga dan hubungan segitiga-bintang. Konfigurasi hubungan kumparan transformator tiga fasa akan mempengaruhi arus dan tegangannya. Pengaturan konfigurasi hubungan transformator tiga fasa perlu dilakukan untuk dapat menggunakan transformator tiga fasa secara tepat.

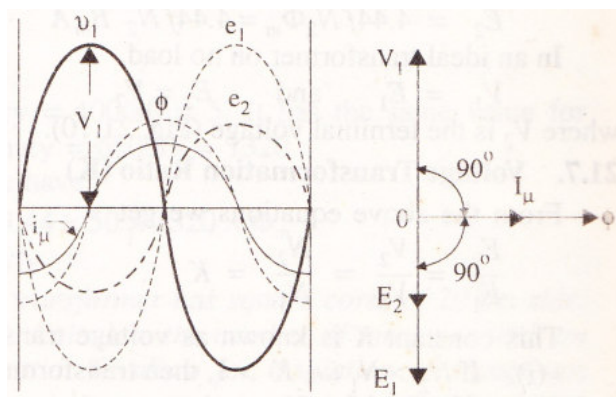
## 2.2. Prinsip Kerja Transformator

Sebuah transformator terdiri dari dua buah kumparan, yaitu satu buah kumparan primer dan satu buah kumparan sekunder. Kedua kumparan ini terletak pada sebuah inti besi yang sama agar transformator dapat bekerja. Transformator hanya dapat bekerja jika diberi sumber tegangan arus bolak balik.



Gambar 2.1. Konstruksi Transformator

Sebuah transformator yang diberikan tegangan sinusoida ( $V$ ) pada sisi primernya akan menghasilkan arus magnetisasi ( $I_\mu$ ) pada kumparan primernya. Arus ini akan menghasilkan fluks magnetik ( $\phi$ ) pada inti besi transformator. Fluks magnetik pada inti transformator akan menghasilkan ggl lawan pada kumparan primer ( $E_1$ ) dan ggl lawan pada kumparan sekunder ( $E_2$ ). Bentuk gelombang tegangan, arus dan fluks pada sebuah transformator terlihat pada gambar 2.2. berikut ini :



Gambar 2.2. Bentuk gelombang tegangan, arus dan fluks pada sebuah transformator

Fluks yang terjadi pada inti trafo bernilai maksimum pada  $1/4f$ . Perubahan fluks rata-rata dinyatakan oleh persamaan :

$$\frac{\phi_m}{\frac{1}{4}f} = 4f\phi_m \text{ Wb/s} \quad (2.1)$$

GGL induksi dalam Volt yang dihasilkan adalah sama dengan perubahan fluks rata rata per lilitan, yaitu :

$$4f\phi_m \text{ Wb/s/lilitan} = 4f\phi_m \text{ Volt} \quad (2.2)$$

Nilai rms ggl induksi yang dihasilkan jika gelombang tegangan arus bolak-baliknya berbentuk sinusoida adalah  $1,11 \times 4f\phi_m$  Volt. Maka GGL induksi seluruh kumparan primer dengan  $N_1$  lilitan adalah :

$$\begin{aligned} E_1 &= 1,11 \cdot N_1 \cdot 4 \cdot f \cdot \phi_m \text{ Volt} \\ E_1 &= 4,44fN_1\phi_m \text{ Volt} \end{aligned} \quad (2.3)$$

Demikian juga pada kumparan sekunder :

$$E_2 = 4,44fN_2\phi_m \text{ Volt} \quad (2.4)$$

Pada trafo ideal, dengan mengabaikan rugi-rugi penghantar dan inti besi, nilai tegangan terminal kumparan primer  $V_1 = E_1$  dan tegangan kumparan sekunder  $V_2 = E_2$ . Maka tegangan terminal kumparan primer dengan  $N_1$  lilitan adalah :

$$V_1 = E_1 = 4,44fN_1\phi_m \text{ Volt} \quad (2.5)$$

Demikian juga pada kumparan sekunder :

$$V_2 = E_2 = 4,44fN_2\phi_m \text{ Volt} \quad (2.6)$$

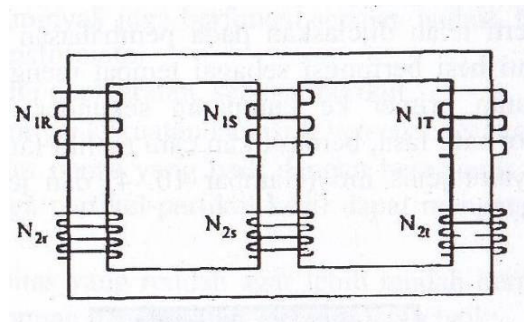
Perbandingan tegangan antara kumparan primer dan kumparan sekunder disebut sebagai rasio transformasi tegangan (K). Besarnya rasio transformasi tegangan dinyatakan oleh persamaan :

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} = K \quad (2.7)$$

Dengan  $E$  adalah ggl induksi,  $V$  adalah tegangan terminal dan  $N$  adalah jumlah lilitan pada kumparan transformator.

### 2.3. Transformator Tiga Fasa

Sebuah transformator tiga fasa adalah gabungan dari tiga buah trafo satu fasa. Salah satu bentuk konstruksi dari transformator tiga fasa terlihat pada Gambar 2.3. berikut ini :



Gambar 2.3. Konstruksi transformator tiga fasa

Transformator tiga fasa memiliki enam buah kumparan. Tiga buah kumparan primer dengan jumlah lilitan  $N_1$  dihubungkan dengan sumber tegangan primer  $V_R$ ,  $V_S$  dan  $V_T$ . Tiga buah kumparan sekunder dengan jumlah lilitan  $N_2$  dihubungkan dengan sumber tegangan primer  $V_r$ ,  $V_s$  dan  $V_t$ . Untuk masing-masing fasa, rasio transformasi tegangannya sama dengan rasio transformasi transformator satu fasa. Tetapi untuk tegangan line-to-line, transformator tiga fasa akan mengikuti jenis konfigurasi hubungannya.

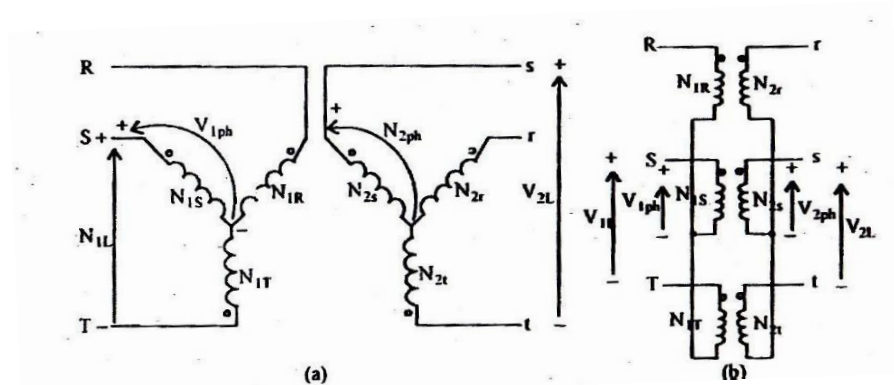
### 2.4. Hubungan Kumparan Transformator Tiga Fasa

Sebuah transformator tiga fasa dapat dihubungkan kumparan-kumparan primer dan sekundernya dalam empat cara yaitu : hubungan  $Y - Y$ , hubungan  $Y - \Delta$ , hubungan  $\Delta - Y$  dan hubungan  $\Delta - \Delta$ .

Keempat jenis hubungan kumparan ini akan menghasilkan perbedaan tegangan antara satu dan lainnya disebabkan oleh berubahnya rasio transformasi tegangan untuk setiap konfigurasi hubungan kumparan.

### 2.4.1. Hubungan Kumbaran Transformator Tiga Fasa Y – Y

Hubungan kumbaran Y – Y dilakukan dengan menghubungkan terminal-terminal kumbaran primer transformator tiga fasa pada line R, S dan T, kemudian terminal netralnya digabungkan dan dihubungkan dengan netral pada saluran suplai daya listrik. Konfigurasi yang sama juga dilakukan pada terminal-terminal kumbaran sekunder transformator tiga fasa pada line r, s dan t, kemudian terminal netralnya digabungkan dan dihubungkan dengan netral beban.



Gambar 2.4. Konstruksi transformator tiga fasa hubungan Y – Y

Besarnya rasio transformasi tegangan transformator tiga fasa hubungan Y – Y dinyatakan oleh persamaan :

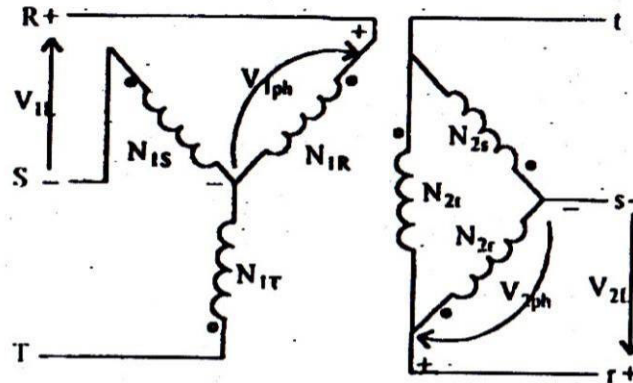
$$\frac{V_{2L}}{V_{1L}} = \frac{\sqrt{3}V_{2ph}}{\sqrt{3}V_{1ph}} = K \quad (2.8)$$

Dengan  $V_{2L}$  dan  $V_{1L}$  adalah tegangan line-to-line primer dan sekunder dan  $V_{2ph}$  dan  $V_{1ph}$  adalah tegangan fasa primer dan sekunder

### 2.4.2. Hubungan Kumbaran Transformator Tiga Fasa Y – Δ

Hubungan kumbaran Y – Δ dilakukan dengan menghubungkan terminal-terminal kumbaran primer transformator tiga fasa pada line R, S dan T, kemudian terminal netralnya digabungkan dan dihubungkan dengan netral pada saluran suplai daya listrik. Akan tetapi konfigurasi yang dilakukan pada terminal-terminal kumbaran sekunder

transformator tiga fasa adalah dengan menghubungkan terminal-terminal sekunder transformator antara line line rs, st dan tr tanpa menggunakan penghantar netral.



Gambar 2.5. Konstruksi transformator tiga fasa hubungan Y – Δ

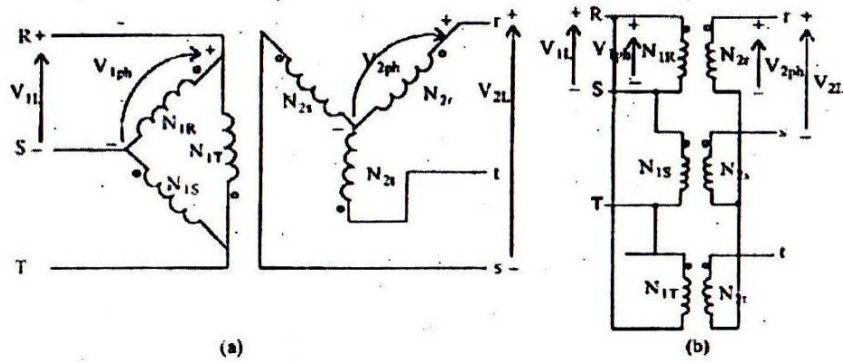
Besarnya rasio transformasi tegangan transformator tiga fasa hubungan Y – Δ dinyatakan oleh persamaan :

$$\frac{V_{2L}}{V_{1L}} = \frac{V_{2ph}}{\sqrt{3}V_{1ph}} = K \quad (2.9)$$

Dengan  $V_{2L}$  dan  $V_{1L}$  adalah adalah tegangan line-to-line primer dan sekunder dan  $V_{2ph}$  dan  $V_{1ph}$  adalah adalah tegangan fasa primer dan sekunder

### 2.4.3. Hubungan Kumpanan Transformator Tiga Fasa Δ – Y

Hubungan kumpanan Δ – Y dilakukan pada terminal-terminal kumpanan primer transformator tiga fasa adalah dengan menghubungkan terminal-terminal transformator antara line RS, ST dan TR tanpa menggunakan penghantar netral. Akan tetapi konfigurasi yang dilakukan pada terminal-terminal kumpanan sekunder transformator tiga fasa adalah dengan menghubungkan terminal-terminal sekunder transformator pada line r, s dan t, kemudian terminal netralnya digabungkan dan dihubungkan dengan netral beban.



Gambar 2.6. Konstruksi transformator tiga fasa hubungan  $\Delta - Y$

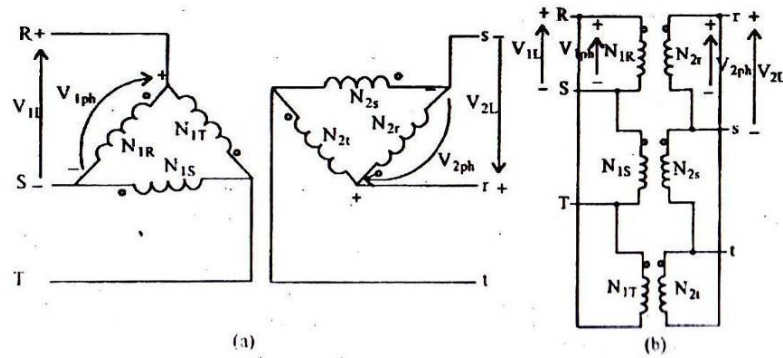
Besarnya rasio transformasi tegangan transformator tiga fasa hubungan  $\Delta - Y$  dinyatakan oleh persamaan :

$$\frac{V_{2L}}{V_{1L}} = \frac{\sqrt{3}V_{2ph}}{V_{1ph}} = K \quad (2.10)$$

Dengan  $V_{2L}$  dan  $V_{1L}$  adalah adalah tegangan line-to-line primer dan sekunder dan  $V_{2ph}$  dan  $V_{1ph}$  adalah adalah tegangan fasa primer dan sekunder

#### 2.4.4. Hubungan Kumparan Transformator Tiga Fasa $\Delta - \Delta$

Hubungan kumparan  $\Delta - \Delta$  dilakukan dengan menghubungkan terminal-terminal kumparan primer transformator tiga fasa pada line RS, ST dan TR tanpa menggunakan penghantar netral. Konfigurasi yang sama juga dilakukan pada terminal-terminal kumparan sekunder transformator tiga fasa pada line rs, st dan tr tanpa menggunakan penghantar netral beban.



Gambar 2.7. Konstruksi transformator tiga fasa hubungan  $\Delta - \Delta$

Besarnya rasio transformasi tegangan transformator tiga fasa hubungan  $\Delta - \Delta$  dinyatakan oleh persamaan :

$$\frac{V_{2L}}{V_{1L}} = \frac{V_{2ph}}{V_{1ph}} = K \quad (2.11)$$

Dengan  $V_{2L}$  dan  $V_{1L}$  adalah adalah tegangan line-to-line primer dan sekunder dan  $V_{2ph}$  dan  $V_{1ph}$  adalah adalah tegangan fasa primer dan sekunder

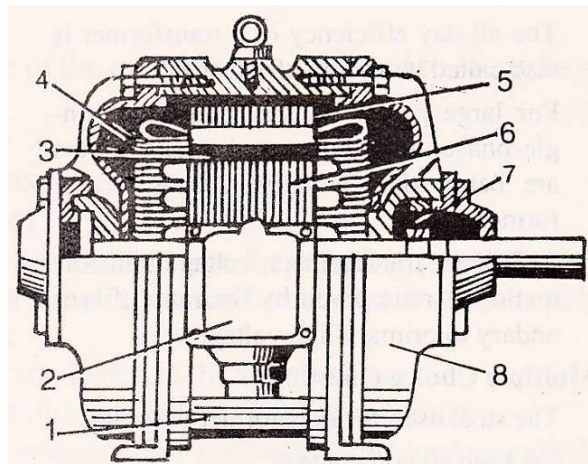
## 2.5. Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi adalah sebuah motor listrik yang menggunakan sumber listrik arus bolak balik sebagai sumber energinya. Motor ini disebut sebagai motor induksi karena suplai listrik pada rotornya tidak dilakukan secara langsung melalui rangkaian listrik, melainkan melalui proses induksi elektromagnet yang berasal dari rangkaian stator motor. Induksi elektromagnet yang diterima dari rangkaian stator kemudian dialirkan dalam suatu rangkaian tertutup di dalam rotor yang menghasilkan medan lawan pada rangkaian rotor. Interaksi antara medan stator dan medan rotor inilah yang menghasilkan putaran dan torsi pada motor induksi.

Motor induksi yang menggunakan suplai listrik tiga fasa memiliki keuntungan yang utama yaitu adanya medan putar konstan yang selalu tetap ada sehingga motor dapat terus berputar mulai dari keadaan berhenti atau pada saat perubahan beban terjadi. Keuntungan ini tidak dimiliki oleh motor induksi satu fasa, sehingga untuk dapat

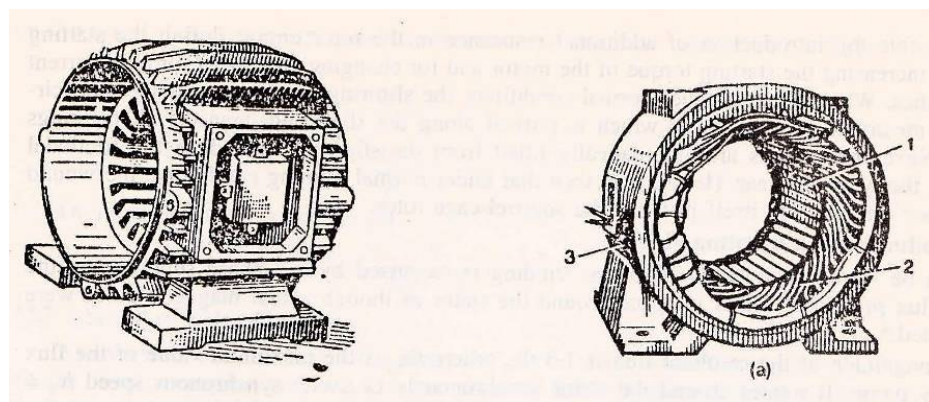


menghasilkan medan putar yang konstan, motor induksi satu fasa memerlukan mekanisme dan rangkaian tambahan agar motor dapat bekerja normal.



Gambar 2.8. Motor Induksi Tiga Fasa

Sebuah motor induksi tiga fasa terdiri dari stator dan rotor. Stator motor induksi tiga fasa mendapatkan suplai listrik arus bolak balik tiga fasa dengan perbedaan masing masing tegangan tersebut adalah sebesar  $120^\circ$  listrik.



(a)inti stator

(b)kumparan stator

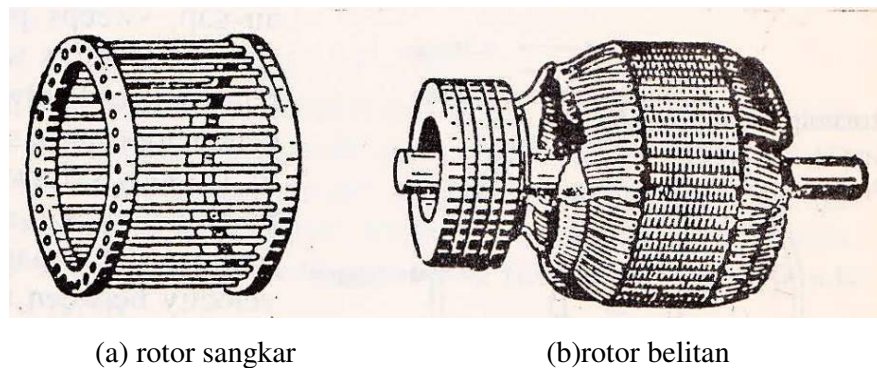
Gambar 2.9. Stator Motor Induksi

Stator motor induksi tiga fasa terdiri dari inti stator dengan slot-slot dan kumparan stator. Jumlah slot dan kumparan stator akan menentukan jumlah kutub motor. Jumlah kutub motor akan memperngaruhi kecepatan motor tersebut. Hubungan antara jumlah

kutub ( $P$ ) dan frekuensi suplai listrik tiga fasa ( $f$ ) terhadap kecepatan motor dalam rpm ( $n$ ) dinyatakan oleh persamaan :

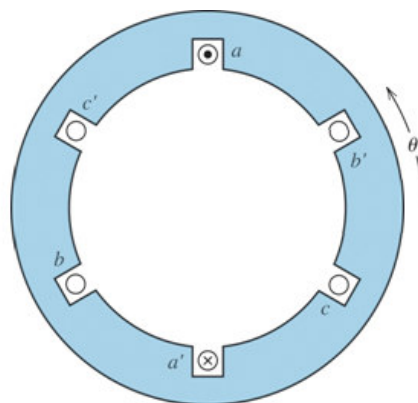
$$n = \frac{120 f}{P} \quad (2.12)$$

Rotor motor induksi dapat dibentuk dari dua jenis rotor, yaitu : (a) rotor sangkar dan (b) rotor belitan. Rotor sangkar merupakan rangkaian rotor yang dibentuk dari batangan logam yang dirangkai secara kaku dan tetap. Rotor sangkar tidak dapat diubah-ubah nilai tahanannya. Rotor belitan dibentuk dari kumparan yang dirangkai dan diletakkan di dalam slot-slot rotor. Ujung kumparan dikeluarkan melalui slip ring, sehingga nilai tahanan rotor ini dapat disesuaikan dengan menggunakan suatu tahanan luar.



Gambar 2.10. Rotor Motor Induksi

Jika suatu motor induksi tiga fasa mempunyai tiga kumparan a, b dan c yang dipisahkan satu dan lainnya dengan sudut  $120^\circ$  seperti terlihat pada gambar 2.11. berikut ini :



Gambar 2.11. Hubungan kumparan stator motor induksi tiga fasa

Jika stator motor induksi tiga fasa ini diberi tegangan suplai tiga fasa :

$$\begin{aligned} v_r &= V_m \sin \omega t \\ v_s &= V_m \sin (\omega t + 120^\circ) \\ v_t &= V_m \sin (\omega t - 120^\circ) \end{aligned} \quad (2.13)$$

Maka akan terdapat medan pada kumparan stator :

$$\begin{aligned} B_{aa'} &= B_m \sin \omega t \\ B_{bb'} &= B_m \sin (\omega t + 120^\circ) \angle 120^\circ \\ B_{cc'} &= B_m \sin (\omega t - 120^\circ) \angle 240^\circ \end{aligned} \quad (2.14)$$

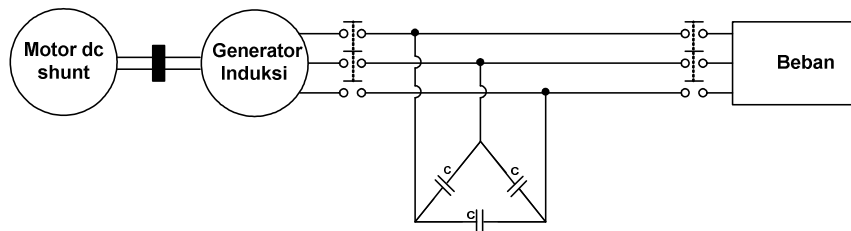
Resultan dari ketiga medan magnet diatas adalah  $B_{net} = B_{aa'} + B_{bb'} + B_{cc'}$  dan pada  $t = 0$  maka :

$$\begin{aligned} B_{net} &= 0 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2} B_m\right) \angle 120^\circ + \left(-\frac{\sqrt{3}}{2} B_m\right) \angle 240^\circ \text{ Wb / m}^2 \\ B_{net} &= 1,5 B_m \angle 90^\circ \text{ Wb / m}^2 \end{aligned} \quad (2.15)$$

Dengan bertambahnya waktu (t) maka akan selalu ada medan yang konstan yang berputar dengan kecepatan  $n = 120f / P$

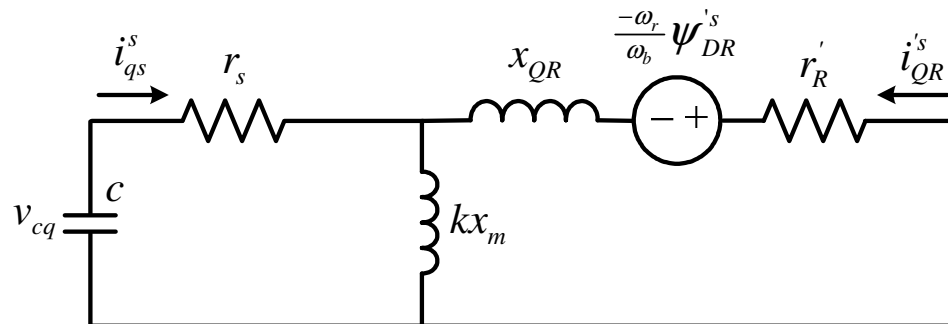
## 2.6. Generator Induksi Tiga Fasa Penguatan Sendiri

Generator induksi tiga fasa adalah sebuah motor induksi tiga fasa yang menggunakan kapasitor sebagai sumber eksitasinya. Generator induksi mempunyai kelebihan yaitu konstruksi yang sederhana dan tidak membutuhkan sikat dalam operasinya. Rangkaian generator induksi tiga fasa terlihat pada gambar 2.12 berikut ini :



Gambar 2.12. Rangkaian generator induksi tiga fasa

Rangkaian ekivalen generator induksi tiga fasa penguatan sendiri dengan kapasitor sebagai eksitasi terlihat pada gambar 2.13 berikut ini :



Gambar 2.13. Rangkaian ekivalen generator induksi penguatan sendiri