

## BAB - II

### 2. MOTOR INDUKSI

#### 2.1. Kontruksi Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Sangkar

Secara umum konstruksi motor induksi rotor sangkar terdiri dari dua bagian utama, yaitu :

- a. Stator ( bagian yang diam )
- b. Rotor ( bagian yang bergerak )

##### **Stator ( bagian yang diam )**

Stator merupakan bagian yang diam (stationer) dimana terdiri dari inti besi dari laminasi-laminasi tipis yang berbentuk silinder yang disusun sedemikian rupa sehingga saling berhubungan satu dengan yang lainnya. Dalam hal ini penempatan konduktor pada stator, sekeliling permukaan bagian dalam laminasi dibuat suatu alur ( slot ).

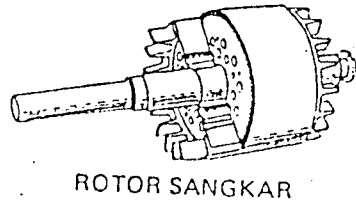
Laminasi-laminasi dan kumparan tersebut kemudian dilapisi dengan vernis atau oksida yang dikerjakan pada proses pemanasan. Kumparan stator yang merupakan belitan-belitan tiga fasa diletakkan pada alur-alur yang terbagi secara merata, kemudian inti dan kumparan tersebut diletakkan / ditempatkan dalam rangka motor yang berbentuk silinder dan mempunyai ciri-ciri dibagian luarnya yang berfungsi untuk untuk proses pendinginan.

##### **Rotor ( bagian yang bergerak / berputar )**

Rotor merupakan bagian yang bergerak / berputar, inti rotor disusun dari laminasi-laminasi plat baja dan bahan yang sama seperti pada stator. Pada rotor sangkar ( squared cage rotor ) didalam setiap alurannya terdapat batang tembaga atau aluminium yang telah

berisolasi ujung-ujungnya dihubung singkatkan dengan cincin-cincin sehingga menyerupai sebuah kurungan atau sangkar.

Konstruksi rotor sangkar adalah seperti yang terlihat pada gambar berikut ini :



Gambar 2.1. Konstruksi rotor sangkar

Karena ujung-ujung penghantarnya dihubung singkatkan, maka rotor ini juga sering disebut dengan rotor hubung singkat, dengan konstruksi yang demikian, maka pada rotor sangkar ini tidak bisa diberikan pengaturan tahanan luar.

Alur pada rotor sering dibuat tidak sejajar dengan sumbu, tetapi dibuat miring. hal ini bertujuan untuk :

Untuk memperkecil/mengurangi dengaung (Voice) memberikan lengkung kopel yang rata pada posisi rotor.

Untuk memeperbesar tekanan-tekanan rotor, karena panjang batang rotor akan menjadi lebih besar.

Memperbesar perbandingan transformasi efektif antara rotor dan stator.

Diantara rotor dan stator terdapat celah udara. celah ini merupakan faktor dari motor induksi yang mengakibatkan faktor kerja motor menjadi renadah. Namun demikian juga tidak boleh terlalu kecil karena hal ini akan memperbesar rugi gesekan yang terjadi pada permukaan gigi-gigi dan akan menghalangi rotor untuk mempercepat putaran sewaktu bekerja.

## 2.7 Prinsip Kerja Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Sangkar

Apabila kumparan stator dihubungkan dengan sumber tegangan tiga fasa, maka pada kumparan tersebut akan timbul medan putar stator, kemudian medan putar stator tersebut akan memotong batang-batang konduktor pada bagian rotornya, akibatnya pada rotor akan timbul tegangan induksi ( $E_{2s}$ ) yang besarnya adalah :

$E_{2s}$  = Tegangan induksi pada rotor

$f_r$  = Frekuensi arus motor

$N_r$  = Jumlah belitan motor

$\phi_m$  = Fluks maksimum

Karena kumparan rotor rangkaian tertutup maka tegangan induksi  $E_{2s}$  pada rotor akan menghasilkan arus  $I_2$  arus ini akan menimbulkan gaya dan selanjutnya akan menghasilkan torsi pada poros mesin. Jika torsi stator yang dihasilkan oleh gaya rotor cukup kuat untuk memikul torsi beban maka rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.

□ Jumlah siklus yang dibangkitkan dalam satu putaran medan stator sama dengan jumlah putaran pasang kutub ( $P / 2$ ) dimana ( $P$ ) adalah jumlah kutub total, jika  $N_s$  adalah kecepatan medan putar stator permenit, maka  $N_s / 60$  putaran persekond, frekuensi dalam test atau siklus per skon, maka :

$$F = \frac{P}{2} \times \frac{N_s}{60} = \frac{P \cdot N_s}{120}$$

Jadi :  $N_s = 120 \times F / P$

Dimana :

$N_s$  = Kecepatan medan putar stator permenit

$F$  = Frekuensi dalam Hz

$P$  = Pasang kutub

Dengan perputaran rotor atau bekerjanya motor tentu akan menimbulkan slip, slip sangat berpengaruh terhadap kerja motor atau besar kecilnya beban, semakin besar beban maka slip akan besar pula.

Ukurlah perbedaan antara kecepatan medan putar stator ( $N_s$ ) dengan kecepatan putar rotor ( $n_r$ ) dalam persentase dengan rumus :

$$S = \frac{N_s - n_r}{N_s} \times 100 \%$$

Dimana :

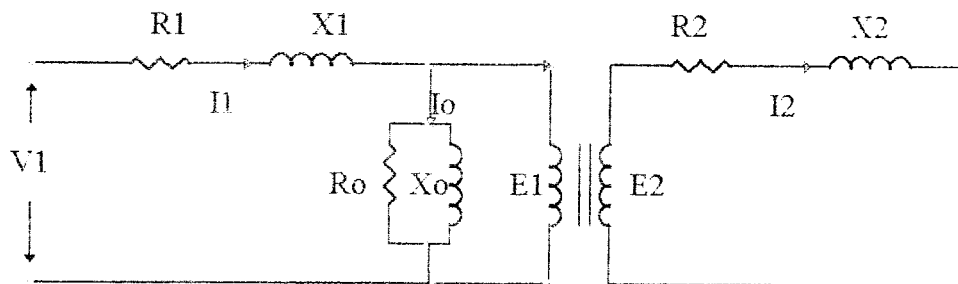
$S$  = Slip

$N_s$  = Kecepatan putaran stator

$N_r$  = Kecepatan putar rotor

### 2.3. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Sangkar

Rangkaian ini dapat diturunkan dari rangkaian listrik motor induksi .



Gambar 2.2. Rangkaian listrik motor induksi

Rangkaian tersebut terdiri dari :

#### a. Rangkaian Kumparan Stator :

$R1$  = Resistansi atau tahanan kumparan stator ( ohm/fasa )

$X2$  = Reaktansi kumparan stator (ohm/fasa)

$R_o$  = Resistansi rangkaian penguat ( ohm/fasa ) atau disebut konduktansi

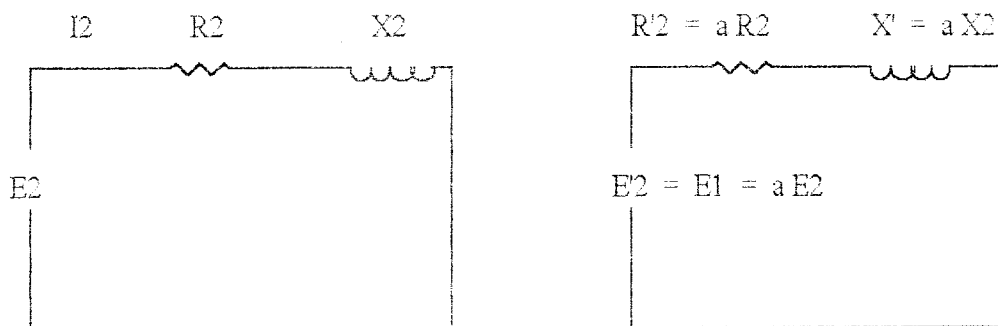
$X_o$  = Reaktansi rangkaian penguat (ohm/fasa)

$I1$  = Arus yang mengalir dalam kumparan stator (amp/fasa)

- $I_2$  = Arus yang mengalir dalam kumparan stator (amp/fasa) bila tidak berbeban
- $E_2$  = GGL yang dibangkitkan oleh kumparan rotor (volt)
- $E_1$  = GGL atau tegangan induksi dalam kumparan stator

### c. Rangkaian Kumparan Rotor

Untuk mendapatkan rangkaian ekuivalen maka rangkaian kumparan rotor harus disesuaikan besaran dari komponen-komponen yaitu dipindahkan atau dilihat pada sisi stator dengan memperhatikan perbandingan transformator pada gambar berikut :



Gambar 2.3. Rangkaian rotor motor (ohm/fasa) terlihat dipindahkan kesisi stator

Dimana :

- $R_2$  = Resistansi kumparan rotor (ohm/fasa)
- $X_2$  = Reaktansi kumparan rotor (ohm/fasa)
- $I_2$  = Arus yang mengalir pada kumparan rotor (amp)
- $E_2$  = GGL yang dibangkitkan oleh kumparan rotor pada waktu motor masih diam (volt)

Sebelum gambar 2.3 maka hubungan kumparan sebelum dan sesudah dipindahkan ke stator

$$E_1 = a E_2 = E_1$$

$$E_1 = a E_2 = E_1$$

$$I_2 = I_2 / a$$

$$R_2' = a^2 R_2 / S$$

$$X_2' = a^2 X_2$$

Dimana :

$$a = N_1 / N_2 = K_{w1} / k_w = \text{perbandingan transformator}$$

$$N_1 = \text{banyaknya kumparan lilitan stator}$$

$$N_2 = \text{banyaknya kumparan lilitan rotor}$$

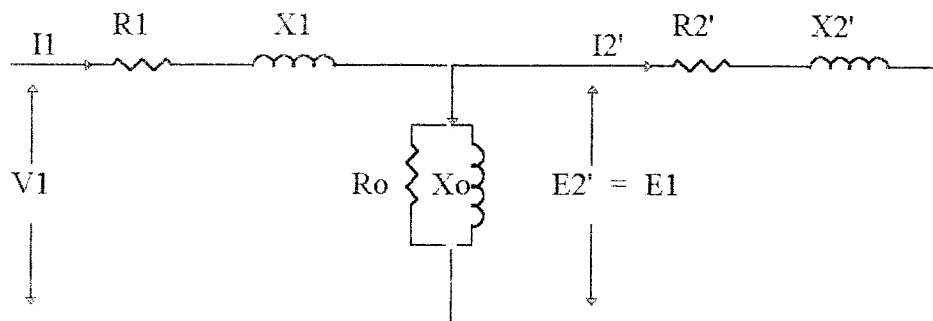
$$K_{w1} = K_{p1} \times k_{d1} = \text{faktor lilitan stator}$$

$$L_p = K_{p2} \times k_{d2} = \text{faktor lilitan rotor}$$

$$K_p = \text{faktor kisar lilitan}$$

$$K_d = \text{faktor distribusi dari lilitan}$$

Setelah besaran dari komponen belitan kumparan rotor dirubah (dipindahkan) ke stator maka rangkaian ekuivalen yang sebenarnya adalah seperti gambar berikut ini:



Gambar 2.4. Rangkaian ekuivalen dari rotor induksi

## 2.1 Panas Yang Timbul Pada Motor

Apabila motor bebani maka arus yang mengalir dalam kumparan motor tidak melebihi rating arus yang telah ditentukan, dimana membesarnya daya yang diperlukan sewaktu dibebani.

Bila beban berubah-ubah atau terputus-putus pada interval yang singkat, maka sulit untuk menentukan daya yang dibutuhkan untuk pembebanan, karena itu daya yang diperlukan untuk beban rata-rata dihitung dengan pembebanan konstan.

Pada beberapa proses pembebanan arus akan mengalir pada tahanan kumparan R motor selama t detik, maka nilai energi panas yang terjadi adalah W Joule, dapat dituliskan sebagai berikut :

$$W = I^2 \times R \times t \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$W = V \times I \times t \quad \dots\dots\dots (2)$$

dimana :

- W = Energi panas
- I = Arus Listrik
- R = Tahanan Kumparan Motor
- t = Waktu dalam detik
- V = Tegangan Listrik

Ada beberapa hal yang akan menyebabkan timbulnya panas pada motor pada saat operasional yaitu :

### a. Panas Akibat Pengaruh Dari Luar

Panas akibat pengaruh dari luar adalah panas yang disebabkan oleh pengaruh :

#### \* Suhu ambien yang tinggi

Suhu ambien yang telah disepakati sebagai acuan adalah 40°C untuk udara, dan 25°C untuk air. Suhu ini merupakan acuan untuk mengukur temperatur maksimum yang diperoleh untuk isolasi dari sebuah motor. Apabila suhu ambien tinggi dari temperatur maksimum maka akan menyebabkan panas pada motor. Dalam hal ini untuk mengatasinya telah ditentukan klas isolasi yang sesuai berdasarkan suhu maksimum yang diperbolehkan.

Kelas Isolasi	Suhu Maksimum $^{\circ}\text{C}$
	105
B	120
F	130
E	155

Tabel 3.1 Kelas Isolasi dan suhu maksimum yang di ijinakan

Kenaikan suhu ambien menyebabkan perpindahan panas akan berkurang, biasanya suhu ambien meningkat jika sirkulasi udara dalam ruangan kurang baik sehingga temperatur udara sebagai media pendingin motor menjadi naik.

**\* Saluran Ventilasi Motor Kurang Baik**

Jalannya medium pendingin terhambat karena adanya benda-benda lain pada saluran pendingin, sehingga sirkulasi pendingin kurang baik, yang mengakibatkan panas yang terbawa oleh media pendingin berkurang, sehingga temperatur motor menjadi naik.

**\* Kotornya Permukaan Belitan**

Belitan kotor dapat disebabkan oleh debu dan oli pada permukaan kumparan dimana dalam hal ini temperatur naik, karena panas yang timbul pada permukaan kumparan tidak terpancar sempurna kedalam media pendingin udara.

Kenaikan temperatur yang disebabkan oleh pengaruh luar ini dapat mencapai diatas temperatur maksimum yang diijinkan untuk motor.

**b. Pengaruh Beban Lebih ( Over Load )**

Beban lebih biasanya terjadi tidak akan lama (sesaat) untuk kondisi yang normal, tetapi apabila hal ini terjadi untuk waktu yang lama maka motor akan menjadi panas, perputaran akan menjadi lambat dan akhirnya motor akan terbakar.

Untuk menghindari hal ini perlu diperhatikan perbandingan kapasitas motor terhadap pembebanannya.



Bila pengoperasian normal dapat terjadi pembebanan yang tiba-tiba untuk motor induksi tiga fasa rotor sangkar ini. Jika pembebanan sebesar lebih, bila terjadi berulang-ulang maka temperatur motor akan naik yang menyebabkan panas sehingga isolasi kumparan akan menjadi rusak.

#### c. Hilangnya Tegangan Dari Salah Satu Fasa

Motor induksi tiga fasa rotor sangkar dapat mengalami kondisi kerja yang tidak normal akibat hilangnya tegangan sumber dari salah satu fasanya.

Penyebab hilangnya salah satu fasa ini biasanya adalah pucusnya sekering atau tidak lengketnya platina pada saklar yang dipasangkan.

Bila motor induksi tiga fasa rotor sangkar ini dalam keadaan beroperasi, kemudian hilang atau terputus tegangan dari salah satu fasanya, maka motor akan tetap berjalan dengan putaran yang lambat, dan arus motor akan meningkat sebesar  $\sqrt{3}$  kali arus semula.

Bila tegangan fasa normal maka :

$$I = kw \times 1000 / \sqrt{3} \times V \times \cos \phi$$

Bila tegangan salah satu fasa hilang maka :

$$I = kw \times 1000 / V \times \cos \phi$$

Jadi terlihat untuk beban yang tetap arus naik tiga kali arus nominalnya.

Dengan hilangnya tegangan sumber dari salah satu fasa, maka akan terjadi gangguan pada motor yaitu akan menimbulkan panas yang berlebihan dan akan merusak isolasi pada motor.

#### d. Hubung Singkat ( Short Circuit ) Pada Motor

Hubung singkat adalah hubungan yang tidak sengaja sehingga membuat tahanan rangkaian menjadi minimum dan arus maksimum. Hubungan singkat ini terjadi karena arus tidak dapat dikendalikan dan akan menjadikan panas yang sangat tinggi, ini bisa merusak kawat isolasi motor, dan meleburkan kawat penghantarnya, serta merusak komponen-komponen yang lain.

Hubung singkat terjadi bila arus listrik tidak mengalir melalui jalur yang benar, misalnya : konduktor beban yang di isolasi diantara kedua kawat penghantar dalam keadaan rusak /

terkelupas, ini akan menyebabkan mengalirnya arus tanpa melewati beban dan akan mengakibatkan terjadinya hubungan singkat.

Kawat penghantar yang terhubung singkat mempunyai tahanan jauh lebih kecil daripada tahanan beban.

Dalam Hukum Ohm dapat kita lihat bahwa :

$$V = I \cdot R$$

Maka :

$$V = 100 \text{ Volt}$$

$$R = 100 \text{ ohm}$$

Maka :

$$I = V / R$$

$$= 100 / 100$$

$$= 1 \text{ Amper}$$

Ini merupakan arus normal untuk kebanyakan motor, dalam hal ini dayanya sama dengan 100 Watt.

Bila dua buah kawat penghantar yang mempunyai tahanan R, dan terjadi hubung singkat hingga tahanan kedua kawat penghantar ini menjadi bernilai 0,01 ohm maka arus yang melewatinya adalah :

$$I = 100 \text{ Watt} / 0,01 = 10.000 \text{ Amper}$$

Jadi arus inilah yang mengalir dan akan sangat membahayakan pada motor, karena menimbulkan panas yang tinggi dan akan merusak isolasi maupun penghantar pada motor sehingga motor tersebut bisa jadi akan terbakar.