



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum ¹

Motor induksi merupakan motor arus bolak-balik (AC) yang paling banyak digunakan. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (*rotating magnetic field*) yang dihasilkan oleh arus stator.



Gambar 2.1 Bentuk fisik motor induksi

Belitan stator yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan tiga fasa akan menghasilkan medan magnet yang berputar dengan kecepatan sinkron. Medan putar pada stator tersebut akan memotong konduktor-konduktor pada rotor, sehingga terinduksi arus, dan sesuai dengan Hukum *Lentz*, rotor pun akan turut berputar mengikuti medan putar stator. Perbedaan putaran relatif antara stator dan rotor disebut slip. Bertambahnya beban, akan memperbesar kopel motor, yang oleh karenanya akan memperbesar pula arus induksi pada rotor, sehingga slip antara medan putar stator dan putaran rotor pun akan bertambah besar. Jadi, bila beban motor bertambah, putaran motor

¹ Zuhail, 1988, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, hal. 101



cenderung menurun. Pada umumnya motor induksi terbagi menjadi dua macam jenis berdasarkan jumlah fasa yang digunakan, yaitu : motor induksi satu fasa dan motor induksi tiga fasa. Disebut motor tiga fasa karena untuk menghasilkan tenaga mekanik tegangan yang dimasukkan pada rotor tersebut adalah tegangan tiga fasa.

Motor induksi tiga fasa banyak digunakan dikalangan industri, ini diberkaitan dengan beberapa keuntungan dan kerugian.²

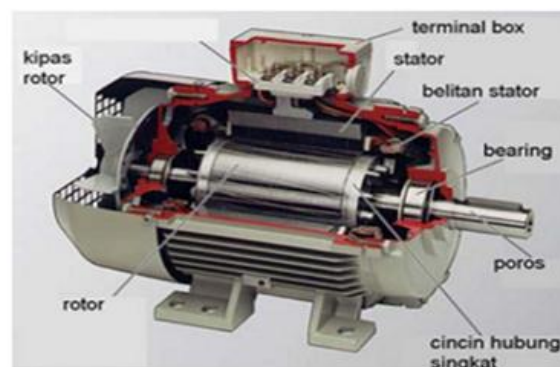
Keuntungan :

1. Sangat sederhana dan daya tahan kuat (konstruksi hampir tidak pernah terjadi kerusakan, khususnya tipe *squirrel cage*)
2. Harga relatif murah dan perawatan mudah
3. Efisiensi tinggi. Pada kondisi berputar normal, tidak dibutuhkan sikat dan karenanya rugi daya yang diakibatkan dapat dikurangi
4. Tidak memerlukan *starting* tambahan dan tidak harus sinkron.

Kerugian :

1. Kecepatan tidak dapat berubah tanpa perubahan efisiensi
2. Tidak seperti motor DC atau motor *shunt*, kecepatannya menurun seiring dengan tambahan beban
3. Kopel awal mutunya rendah dibanding dengan motor DC *shunt*.

2.2 Konstruksi Umum



Gambar 2.2 Konstruksi motor induksi

² Yon Rijono, 1997, *Dasar Teknik Tenaga Listrik*, ANDI, Yogyakarta, hal. 310



Konstruksi dasar motor induksi terdiri dari 2 bagian utama, yaitu bagian stator dan bagian rotor.

2.2.1 Stator³

Stator adalah bagian utama dari motor yang diam. Stator merupakan suatu kerangka yang dilaminasi terbuat dari besi tuang atau *aluminium alloy* tuang. Stator mempunyai bentuk alur yang tirus (*tapered*) dengan gigi yang sejajar (*parallel sided*). Alur pada stator adalah tempat kumparan utama dan kumparan bantu berada. Prinsip dari stator motor induksi sama dengan motor atau generator sinkron. Dengan terdiri dari sejumlah slot yang nantinya untuk menempatkan belitan stator. Slot-slot tersebut ditempatkan dalam suatu rangka besi. Rangka tersebut mempunyai sirip-sirip besi yang berguna sebagai pendingin motor.



Gambar 2.3 Stator

Kecepatan medan putar (N_s) pada stator adalah sebagai berikut :

$$N_s = \frac{120 \cdot f}{P} \dots\dots\dots (2.1)$$

³ Dikki Zulkarnain, 2015, *Penggulungan Ulang (Rewinding) Kumparan Stator pada Motor Induksi 1 Fasa*, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Palembang, hal. 8

Dimana :

N_s = Kecepatan medan putar (rpm)

f = Frekuensi (Hz)

P = Jumlah kutub

Fluks yang berputar pada stator akan menginduksi ke rotor, sehingga rotor juga akan berputar mengikuti medan putar stator. Diantara putaran rotor (N_r) dan putaran stator (N_s) tidak sama. Perbedaan antara putaran stator dan putaran rotor disebut slip (S).

Dari bagian motor yang lain (stator) dapat dibagi-bagi menjadi beberapa bagian antara lain sebagai berikut : ⁴

1. Rangka motor (*frame*)
2. Inti kutub magnet dan lilitan penguat magnet
3. Sikat

2.2.1.1 Rangka Motor (*Frame*)



Gambar 2.4 Rangka motor induksi

Fungsi utama dari rangka atau *frame* adalah sebagai bagian dari tempat mengalirnya fluks magnet yang dihasilkan kutub-kutub magnet, karena itu beban motor dibuat dari bahan feromagnetik. Disamping itu

⁴ Muhammad Reza Pahlevi, dkk, 2015, *Perencana Rewinding Motor Induksi 3 Fasa*, Jurusan Teknik Elektro Program Studi Teknik Listrik Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, hal. 21



badan motor ini berfungsi untuk meletakkan alat-alat tertentu dan melindungi bagian-bagian mesin lainnya. Biasanya pada motor terdapat papan nama atau *name plate* yang bertuliskan spesifikasi umum dari motor.

2.2.1.2 Inti Kutub Magnet dan Lilitan Penguat Magnet

Sebagaimana diketahui bahwa fluks magnet yang terdapat pada motor arus searah dihasilkan oleh kutub magnet buatan yang dibuat dengan prinsip elektromagnetis. Lilitan penguat magnet ini berfungsi untuk mengalirkan arus listrik agar terjadi proses elektromagnetis.

2.2.1.3 Sikat-sikat dan Pemegang Sikat

Fungsi dari sikat adalah sebagai jembatan bagi aliran arus dari sumber. Disamping itu sikat memegang peranan penting untuk terjadinya komutasi, agar gesekan antara sikat dan komutator sehingga sikat harus lebih lunak dari pada komutator, biasanya terbuat dari bahan arang. Sikat-sikat akan aus selama operasi dan tingginya akan berkurang, arus yang diizinkan ditentukan oleh konstruksi dari pemegang sikat (gagang-sikat). Bagian puncak dari sikat diberi plat tembaga guna mendapatkan kontak yang baik antara sikat dan dinding pemegang sikat. Bila sikat-sikat terdapat pada kedudukan yang benar baut harus dikuatkan sepenuhnya, hal ini menetapkan jembatan sikat dalam suatu kedudukan yang tidak dapat bergerak pada pelindung ujung. Sedangkan tiap-tiap gagang sikat dilengkapi dengan suatu pegas yang menekan ada sikat melalui suatu sistem tertentu sehingga sikat tidak terjepit.

2.2.2 Rotor⁵

Rotor merupakan bagian yang bergerak atau berputar. Bagian ini terdiri dari : inti rotor, kumparan rotor, dan alur rotor. Pada umumnya ada

⁵ Dikki Zulkarnain, op. cit. hal. 9



dua jenis kumparan rotor yang sering digunakan pada motor induksi, yaitu rotor belitan (*phase wound rotor*) dan rotor sangkar (*squirrel cage rotor*).

1. Rotor Sangkar⁶



Gambar 2.5 Rotor sangkar

Motor induksi rotor sangkar konstruksinya sangat sederhana, yang mana motor dari rotor sangkar adalah konstruksi dari inti berlapis dengan konduktor dipasang paralel, atau kira-kira paralel dengan poros yang mengelilingi permukaan inti. Konduktornya tidak terisolasi dari inti karena arus rotor secara alamiah akan mengalir melalui tahanan yang paling kecil konduktor rotor. Pada setiap ujung rotor, konduktor rotor semuanya dihubungkan singkatkan dengan cincin ujung. Konduktor rotor dan cincin ujung serupa dengan sangkai tupai yang berputar sehingga dinamakan demikian. Batang rotor dan cincin ujung sangkar tupai yang lebih kecil adalah coran tembaga atau alumunium dalam satu lempeng pada inti rotor. Dalam motor yang lebih besar batang rotor tidak dicor melainkan dibenamkan kedalam alur kemudian dilas dengan kuat ke cincin ujung.

⁶ Lister, 1993, *Mesin dan Rangkaian Listrik*, Erlangga, Jakarta, hal. 211.



2. Rotor Belitan⁷

Rotor lilit terdiri atas belitan fasa banyak, belitan ini dimasukkan ke dalam alur-alur inti rotor. Belitan ini sama dengan belitan stator, tetapi belitan selalu dihubungkan secara bintang. Tiga buah ujung-ujung belitan dihubungkan ke terminal-terminal sikat atau cincin seret yang terletak pada poros rotor. Pada jenis rotor lilit kita dapat mengatur kecepatan motor dengan cara mengatur tahanan belitan rotor tersebut. Pada keadaan kerja normal sikat karbon yang berhubungan dengan cincin seret tadi dihubungkan singkat. Motor induksi rotor lilit dikenal dengan sebutan Motor Induksi Slipring atau Motor Induksi Rotor Lilit.



Gambar 2.6 Rotor Belit

2.2.3 Bantalan (*bearing*)⁸

Bantalan (*bearing*) adalah elemen mesin yang menumpu poros yang mempunyai beban, sehingga putaran atau gerakan bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus, aman, dan mempunyai umur panjang. *Bearing* harus cukup kokoh untuk memungkinkan poros serta elemen

⁷ Mayyudi Abdul Hasan, 2015, *Evaluasi Perbandingan Kinerja Motor Induksi Kapasitor Run Setelah Penggulungan Ulang (Rewinding) Terhadap Motor Induksi Kapasitor Run Keadaan Baru*, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Univertas Sriwijaya, Palembang, hal. 8

⁸ Dikki Zulkarnain, op. cit. hal. 10



mesin lainnya bekerja dengan baik. Jika *bearing* tidak berfungsi dengan baik maka prestasi seluruh sistem tidak dapat bekerja secara semestinya.

2.3 Prinsip Kerja Motor Induksi 3 Fasa ⁹

Adapun prinsip kerja motor induksi (tiga fasa) mengikuti langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Apabila catu daya arus bolak-balik tiga fasa dihubungkan pada kumparan stator (jangkar) maka akan timbul medan putar
- b. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor
- c. Akibatnya pada kumparan rotor akan timbul tegangan induksi (GGL) sebesar :

$$E^2_s = 4,44 \cdot f^2 \cdot N^2 \cdot \varphi_m \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

E^2_s = Tegangan induksi pada saat rotor berputar (*Volt*)

N^2 = Putaran rotor (*Rpm*)

f^2 = Frekuensi rotor (*Hz*)

φ_m = Fluks motor (*Wb*)

- d. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian tertutup maka E^2_s akan menghasilkan arus (*I*).
- e. Adanya arus (*I*) dalam medan magnet akan menimbulkan gaya *F* pada rotor.
- f. Bila kopel awal yang dihasilkan oleh gaya *F* pada rotor cukup besar untuk menggerakkan beban, maka rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.
- g. Tegangan induksi terjadi karena terpotongnya konduktor rotor oleh medan putar, artinya agar terjadi tegangan induksi maka diperlukan adanya perbedaan kecepatan medan putar stator (*Ns*) dengan kecepatan medan putar rotor (*Nr*).
- h. Perbedaan kecepatan antara *Ns* dan *Nr* disebut Slip (*S*)

⁹ Sumanto, 1993, *Motor Listrik Arus Bolak-Balik*, ANDI, Yogyakarta, hal. 7



$$S = \frac{(N_s - N_r)}{N_s} \times 100\% \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

S = Slip motor (%)

N_s = Medan putar stator (Rpm)

N_r = Medan putar rotor (Rpm)

- i. Bila $N_r = N_s$ maka tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak akan mengalir, dengan demikian kopel tidak akan ada dan motor tidak berputar, kopel motor akan ada kalau ada perbedaan antara N_r dengan N_s . $N_r < N_s$.

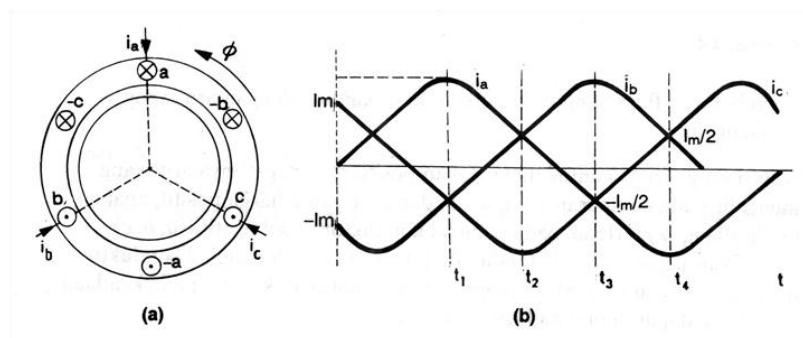
2.4 Medan Putar¹⁰

Perputaran motor pada mesin arus bolak-balik ditimbulkan oleh adanya medan putar (fluks yang berputar) yang dihasilkan dalam kumparan statornya. Medan putar ini terjadi apabila kumparan stator dihubungkan dalam fasa banyak, umumnya fasa 3. Hubungan dapat berupa hubungan bintang atau delta.

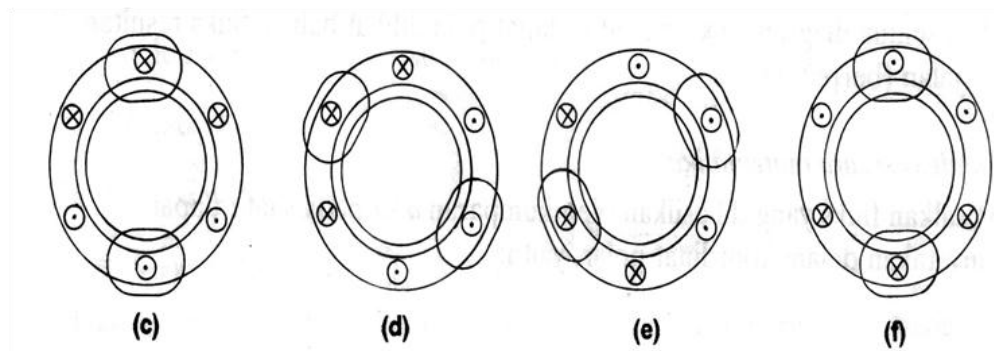
Misalkan kumparan a - a ; b - b ; c - c dihubungkan 3 fasa, dengan beda fasa masing – masing 120° (gambar 2.7a) dan dialiri arus sinusoid. Distribusi arus i_a , i_b , i_c sebagai fungsi waktu adalah seperti gambar 2.7b. Pada keadaan t_1 , t_2 , t_3 , dan t_4 , fluks resultan yang ditimbulkan oleh kumparan tersebut masing-masing adalah seperti gambar c , d , e , dan f .

Pada t_1 fluks resultan mempunyai arah sama dengan arah fluks yang dihasilkan oleh kumparan a - a ; sedangkan pada t_2 , fluks resultannya mempunyai arah sama dengan arah fluks yang dihasilkan oleh kumparan c - c ; dan untuk t_3 fluks resultan mempunyai arah sama dengan fluks yang dihasilkan oleh kumparan b - b . Untuk t_4 , fluks resultannya berlawanan arah dengan fluks resultan yang dihasilkan pada saat t_1 keterangan ini akan lebih jelas pada analisa vektor.

¹⁰ Zuhail, 1991, *Dasar Tenaga Listrik*, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Institut Teknologi Bandung, Bandung, hal. 65



Gambar 2.7 (a) Diagram phasor fluksi tiga fasa; (b) Arus tiga fasa setimbang



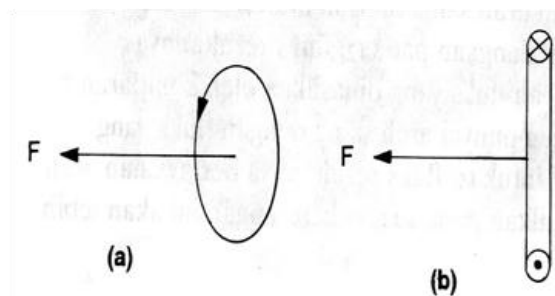
Gambar 2.8 Medan putar pada motor induksi tiga fasa

Dari gambar c, d, e, dan f tersebut terlihat fluks resultan ini akan berputar satu kali.

Analisa secara vektor

Analisis secara vektor didapatkan atas dasar :

1. Arah fluks yang ditimbulkan oleh arus yang mengalir dalam suatu lingkaran sesuai dengan perputaran sekrup (gambar 2.9).

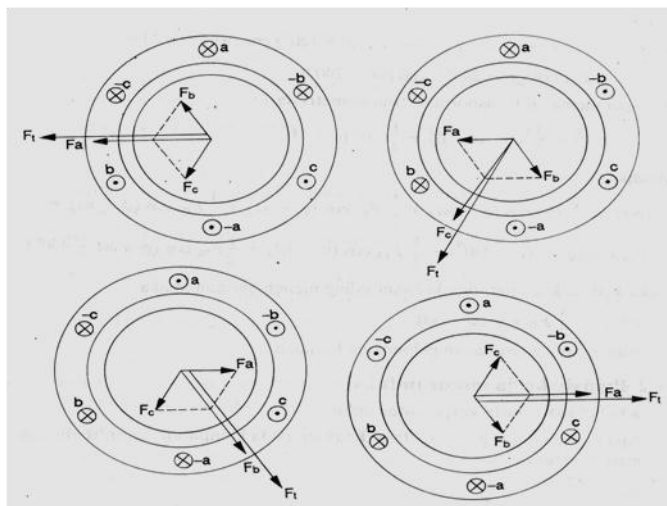


Gambar 2.9 Arah fluks yang ditimbulkan oleh arus yang mengalir dalam suatu lingkaran



2. Kebesaran fluks yang ditimbulkan ini sebanding dengan arus yang mengalir

Notasi yang dipakai untuk menyatakan positif atau negatifnya arus yang mengalir pada kumparan a $-a$, b $-b$, dan c $-c$ yaitu: harga positif, apabila tanda silang (x) terletak pada pangkal konduktor tersebut (titik a , b , c), sedangkan negatif apabila tanda titik (.) terletak pada pangkal konduktor tersebut (gambar 2.10). Maka diagram vektor untuk fluks total pada keadaan $t1$, $t2$, $t3$, $t4$, dapat dilihat pada gambar 2.10 :



Gambar 2.10 Diagram vektor untuk fluks total pada keadaan $t1$, $t2$, $t3$,
 $t4$

Dari semua diagram vektor di atas dapat pula dilihat bahwa fluks resultan berjalan (berputar).

2.5 Pengaturan Putaran ¹¹

Motor induksi tiga fasa biasanya berputar dengan kecepatan yang relatif konstan. Akan tetapi dalam penggunaan tertentu kadang-kadang dikehendaki adanya pengaturan putaran untuk memperoleh jumlah putaran yang sesuai.

¹¹ Sumanto, op. cit. hal. 95



Berdasarkan rumus $n_s = \frac{120 \cdot f}{p}$, maka jumlah putaran motor induksi dapat diubah dengan :

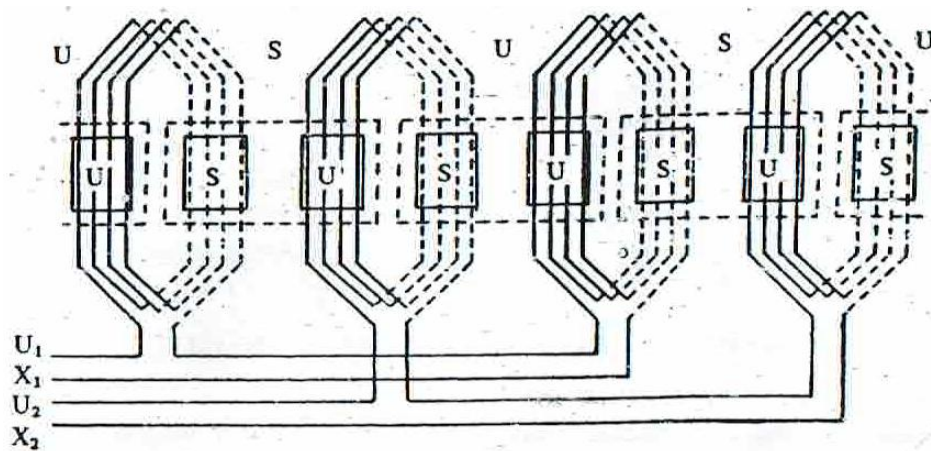
- a. Mengubah jumlah kutub, dengan frekuensi sumber tetap,
- b. Mengubah frekuensi sumber, dengan jumlah kutub tetap.

Untuk pengaturan putaran dengan cara yang pertama dapat dilakukan dengan merencanakan kumparan stator sedemikian rupa sehingga dapat menerima tegangan sumber dengan sambungan fasa yang berbeda-beda. Dari masing-masing sambungan fase tersebut dapat diperoleh jumlah kutub yang berbeda-beda pula sehingga jumlah putaran motor berubah. Cara ini dapat dilakukan pada motor induksi dengan rotor sangkar (karena jumlah kutub pada rotor sangkar akan menyesuaikan jumlah kutub dari statornya).

Biasanya diperoleh dua macam perubahan jumlah putaran, misal :

1500 rpm – 3000 rpm

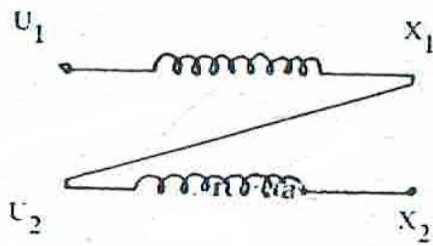
750 rpm – 1500 rpm



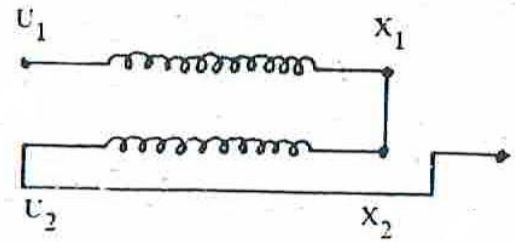
Gambar 2.11 Pelaksanaan lilitan untuk mengubah jumlah kutub dengan mengubah sambungan fasa

Berdasarkan gambar 2.11 diperoleh 4 macam sambungan, yaitu :

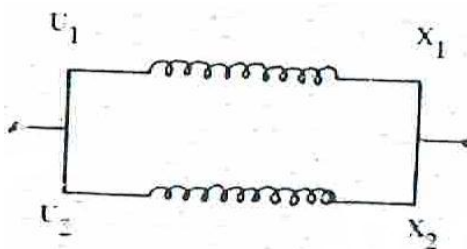
1. Putaran rendah dalam seri,
2. Putaran rendah dalam paralel,
3. Putaran tinggi dalam seri,
4. Putaran tinggi dalam paralel.



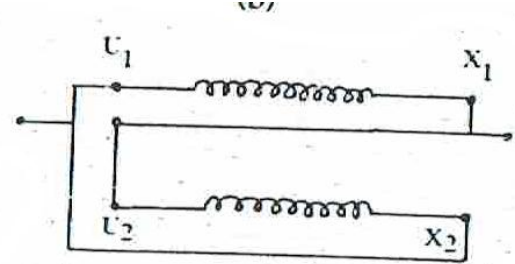
(a). Putaran rendah sambungan seri



(b). Putaran tinggi sambungan seri



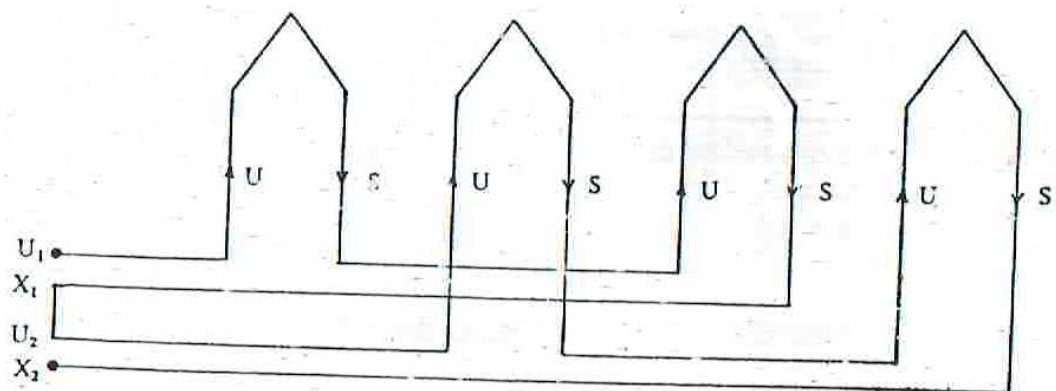
(a). Putaran rendah sambungan paralel



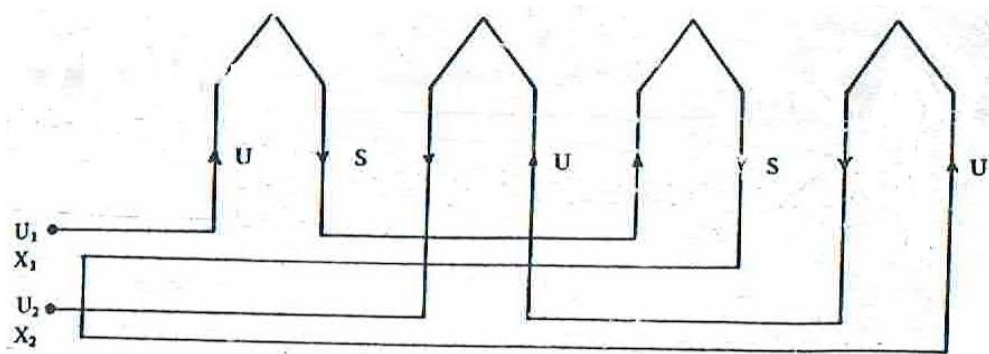
(b) Putaran tinggi sambungan paralel

Gambar 2.12 Hubungan seri dan paralel dari masing-masing fase.

Apabila Gambar 2.12 a. dilaksanakan pada gambar 2.13, maka akan terjadi $P = 8$ (lihat gambar 2.15). Untuk putaran tinggi sambungan seri dapat dilihat pada gambar 2.16 ($P = 4$).



Gambar 2.13 Pelaksanaan hubungan untuk tinggi sambungan $P = 8$

Gambar 2.14 Pelaksanaan hubungan untuk tinggi sambungan seri $P = 4$

2.6 Bahan Penghantar (Konduktor)¹²

Bahan konduktor yang digunakan adalah bahan yang menghantarkan listrik dengan mudah. Bahan ini mempunyai daya hantar listrik (*electrical conductivity*) yang besar dan tahanan listrik (*electrical resistance*) kecil. Bahan penghantar listrik berfungsi untuk mengalirkan arus listrik.

Bahan-bahan yang biasa digunakan sebagai konduktor antara lain logam biasa seperti tembaga, aluminium, besi dan sebagainya. Bahan penghantar yang paling banyak dipakai adalah tembaga, karena tembaga merupakan bahan penghantar yang paling baik setelah perak dan harganya pun murah.

2.7 Tembaga¹³



Gambar 2.15 Kawat tembaga

¹² Dikki Zulkarnain, op. cit. hal. 12

¹³ Ibid. hal. 12



Tembaga mempunyai daya hantar listrik yang baik mempunyai hambatan jenis $1,67 \times 10^{-8}$ titik leleh pada kawat tembaga yaitu $1083 \text{ }^\circ\text{C}$ dan titik panas $2595 \text{ }^\circ\text{C}$ dan konduktivitasnya adalah $0,944$ maka dari itu penulis memilih kawat tembaga sebagai penghantar listrik yang akan digunakan dalam melilit ulang kumparan stator.

Tabel 2.1 Hambatan masa jenis

Jenis Bahan	Hambatan Jenis ($\Omega\text{mm}^2 / \text{m}$)
Tembaga Lunak	0,0167
Tembaga Keras	0,175
Alumunium	0,03
Seng	0,12
Timah	0,13
Besi	0,13
Perak	0,164
Baja	0,10 – 0,25
Timah Hitam	0,21
Nikelin	0,42

2.8 Perbaikan Motor Induksi Tiga Fasa ¹⁴

Motor yang sudah lama dioperasikan akan mengalami kemunduran kemampuan baik dari umur kumparan maupun kinerjanya. Motor yang mengalami gangguan berupa kumparan statornya mengalami hubungan singkat (*short winding*) atau kumparannya terbakar (*burned winding*) maka harus diganti dengan kumparan baru.

Penggulungan ulang kumparan (*rewinding*) motor induksi tiga fasa harus mengacu pada langkah-langkah dibawah ini :

¹⁴ Ibid. hal. 14



1. Pengambilan data dari sebuah motor induksi diperoleh dari lembar data (*name plate*) yang ada pada beban motor. Lembar data (*name plate*) dari sebuah motor induksi tiga fasa.
2. Pembongkaran motor yang rusak.
3. Pembongkaran kumparan stator yang rusak akibat hubung singkat (*short circuit*), maka hal-hal berikut harus dihitung terlebih dahulu
 - a. Jenis hubungan motor
 - b. Jenis gulungan motor
 - c. Langkah per coil
 - d. Jumlah spul
 - e. Jumlah slot
 - f. Jumlah coil
 - g. Ukuran kawat
4. Pemasangan isolasi pada alur stator
Pemasangan isolasi harus mengacu kepada kelas isolasi kumparan dan suhu maksimum yang diperbolehkan serta batas kenaikan suhu dari motor.
5. Penggulungan ulang kumparan (*rewinding*) motor
6. Test kumparan
7. Pemasangan motor
8. Uji jalan motor.

2.9 Hal-hal Yang Harus Diperhitungkan Dalam Penggulungan Ulang Kumparan (*Rewinding*) Motor Induksi Tiga Fasa

2.9.1 Daya¹⁵

Daya adalah sebagai laju hantaran energi listrik dalam rangkaian listrik. Satuan SI daya listrik adalah *watt* yang menyatakan banyaknya tenaga listrik yang mengalir per satuan waktu (*joule/detik*).

¹⁵ Zuhail. Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya, op. cit. hal. 31



Arus listrik yang mengalir dalam rangkaian dengan hambatan listrik menimbulkan kerja. Peranti mengkonversi kerja ini ke dalam berbagai bentuk yang berguna, seperti panas (seperti pada pemanas listrik), cahaya (seperti pada bola lampu), energi kinetik (motor listrik), dan suara (*loudspeaker*). Listrik dapat diperoleh dari pembangkit listrik atau menyimpan energi seperti baterai. Daya input dapat dihitung dengan persamaan 2.4 berikut ini :

$$P_i = V \cdot I \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots (2.4)$$

Daya output dapat dihitung dengan persamaan 2.5 berikut ini :¹⁶

$$P_o = \frac{\tau \cdot n}{9,55} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

- P_i = Daya input (*Watt*)
- P_o = Daya output (*Watt*)
- V = Tegangan nominal motor (*Volt*)
- I = Arus nominal motor (*Ampere*)
- τ = Torsi (Nm)
- n = Kecepatan putaran (Rpm)

2.9.2 Kecepatan Putaran Motor¹⁷

Kecepatan perputaran medan magnetik motor (perputaran sinkron) N_s , dimana besarnya ditentukan oleh jumlah kutub frekuensi (2 kutub, 4 kutub, 6 kutub, dan 8 kutub). Perputaran sinkron ini biasanya lebih besar dari pada perputaran nominal motor (perputaran beban penuh, n) yang ada pada lembar data (*name plate*). Prinsip perputaran medan magnetik perputaran sinkron (N_s) diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.6 berikut ini :

$$N_s = \frac{f}{p/2} \times 60$$

¹⁶ Siswoyo, 2008, Teknik Listrik Industri Jilid 2, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Jakarta, hal. 5-3

¹⁷ Zuhal, Dasar Tenaga Listrik, op. cit. hal. 63



$$= \frac{120 \times f}{p} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

N_s = perputaran sinkron (*Rpm*)

f = frekuensi (*Hz*)

p = jumlah kutub (*2 kutub, 4 kutub, 6 kutub, dan 8 kutub*)

2.9.3 Reaktansi ¹⁸

Reaktansi induktif menyebabkan arus tertinggal di belakang tegangan yang digunakan, sedangkan rangkaian kapasitif menyebabkan arus mendahului tegangan. Oleh sebab itu, jika reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif dihubungkan secara seri, pengaruhnya saling menetralkan dan pengaruh gabungannya adalah selisihnya. Pengaruh gabungan antara reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif disebut reaktansi dan ditentukan dengan menggunakan reaktansi kapasitif dari reaktansi induktif, atau dalam persamaan sebagai berikut :

$$X = X_L - X_C \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

X = Reaktansi (Ω)

X_L = Reaktansi induktif (Ω)

X_C = Reaktansi kapasitif (Ω)

2.9.4 Impedansi ¹⁹

Impedansi adalah total perlawanan yang diberikan oleh rangkaian terhadap aliran arus. Ini merupakan pengaruh gabungan tahanan dan reaktansi dari suatu rangkaian. Simbol impedansi adalah Z , dan diukur dalam satuan ohm. Impedansi rangkaian ac sama dengan tegangan efektif yang dikenakan dibagi dengan arus efektif yang mengalir, atau

$$Z = \frac{V}{I} \dots\dots\dots (2.8)$$

¹⁸ Lister, op. cit. hal. 140

¹⁹ Ibid. hal. 140



Dimana :

Z = Impedansi (Ω)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

Dalam rangkaian yang hanya mengandung tahanan, penurunan IR sefase dengan arus. Dalam rangkaian yang mengandung reaktansi induktif saja, penurunan IX_L mendahului arus 90° , yang tentu saja ekuivalen dengan mengatakan arus tertinggal 90° dari penurunan IX_L . Demikian juga halnya dalam rangkaian kapasitif penurunan IX_C tertinggal 90° dari arus. Dalam rangkaian yang mengandung baik tahanan maupun reaktansi, penurunan tegangan totalnya, atau penurunan IZ adalah sama dengan jumlah dari penurunan IR dan IX . Oleh karena penurunan IR dan IX berbeda fasa 90° , maka perbedaan fasa ini harus diperhitungkan jika keduanya dijumlah. Jumlah dari dua besara fasor seperti IR dan IX yang berbeda fasa 90° adalah $\sqrt{(IR)^2 + (IX)^2}$, maka :

$$IZ = \sqrt{(IR)^2 + (IX)^2} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dan dengan membagi kedua belah sisi dengan I , hasilnya :

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \dots\dots\dots (2.10)$$

Karena pengaruhnya berbeda, maka tahanan dan reaktansi tidak dapat dijumlahkan secara aritmatik tetapi harus digabungkan sesuai dengan hubungan yang diberikan dalam persamaan (2.11).

Oleh karena reaktansi telah didefinisikan sebagai $X_L - X_C$, pernyataan lengkap untuk impedansi dari suatu rangkaian seri adalah :

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \dots\dots\dots (2.11)$$

Jika rangkaian mengandung X_C yang dapat diabaikan dibandingkan dengan R dan X_L , pernyataan diatas menjadi :

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - 0)^2} = \sqrt{R^2 + X_L^2} \dots\dots\dots (2.12)$$

Demikian juga, jika rangkaian mengandung X_L yang dapat diabaikan, impedansi menjadi :

$$Z = \sqrt{R^2 + (0 - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + (-X_C)^2} \dots\dots\dots (2.13)$$



Tanda minus tidak mempengaruhi besarnya harga Z , karena kuadrat dari minus sama dengan bilangan positif.

2.9.5 Hambatan Kawat ²⁰

Hambatan kawat tembaga ditentukan untuk mengetahui kesalahan dari tebal kawat penghantar yang digunakan. Hambatan kawat tembaga yang digunakan dihitung dengan menggunakan persamaan 2.14 berikut ini:

$$R = \frac{V}{I} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana :

- R = Hambatan kawat tembaga (Ω)
- V = Tegangan nominal motor (*Volt*)
- I = Arus nominal motor (*Ampere*)

2.9.6 Kepesatan dan Slip ²¹

Motor induksi tidak dapat berputar pada kepesatan sinkron. Seandainya ini mungkin dengan suatu cara, agar rotor dapat mencapai kepesatan sinkron, maka rotor akan tetap diam relatif terhadap fluksi yang berputar. Maka tidak akan ada ggl yang diinduksikan dalam rotor, tidak ada arus rotor yang mengalir, dan karenanya tidak akan dihasilkan kopel. Kepesatan rotor sekalipun tanpa beban, harus lebih kecil sedikit dari kepesatan sinkron agar arus dapat diinduksikan dalam rotor, sehingga menghasilkan kopel. Selisih antara kepesatan rotor dan kepesatan sinkron disebut slip. Slip dapat dinyatakan dalam putaran setiap menit, tetapi lebih umum dinyatakan sebagai persen dari kepesatan sinkron.

$$\text{Persen slip} = \frac{\text{kepesatan sinkron} - \text{kepesatan rotor}}{\text{kepesatan sinkron}} \times 100$$

²⁰ Dikki Zulkarnain, op. cit. hal. 17

²¹ Lister, op. cit. hal. 215



Atau pernyataan diatas dapat ditulis sebagai :

$$s = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100 \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana :

S = Slip motor (%)

N_s = Perputaran sinkron (Rpm)

N_r = Perputaran beban penuh (Rpm)

2.10 Kelas Motor²²

Macam-macam konstruksi motor induksi diklasifikasikan untuk memudahkan memilih motor yang sesuai. Kasifikasi itu, diantaranya yaitu :

1. Motor rotor sangkar kelas A

Torsi *start* sekitar 125 sampai 175% torsi nominal dengan arus *start* 5 sampai dengan 7 kali arus nominal. Motor ini umumnya dijalankan dengan tegangan tidak penuh.

2. Motor rotor sangkar kelas B

Biasanya di *start* langsung dengan tegangan penuh, Reaktansinya relatif tinggi. Arus *start* sekitar 4,5 sampai 5 kali arus nominal dengan torsi 125 sampai dengan 175%. $\cos \phi$ motor kelas B lebih rendah dibanding $\cos \phi$ motor kelas A.

3. Motor rotor sangkar kelas C

Menggunakan rotor sangkar rangkap (*double squirrel cage*), biasanya di *start* dengan tegangan penuh. Arus *start* nya 4,5 sampai dengan 5 kali arus nominal dengan torsi *start* sekitar 2 kali torsi nominal.

4. Motor kelas D

Reaktansinya relatif tinggi, digunakan untuk pelayanan yang *starting* nya sangat berat. Efisiensi motor ini selalu lebih rendah dibandingkan efisiensi motor kelas A, B, dan C. Motor di *start* dengan tegangan penuh dengan arus *start* 4 sampai dengan 5 kali arus nominal. Sedangkan torsi

²² Sumanto, op. cit. hal. 93



awalnya sekitar 2 sampai 3 kali torsi nominal. Digunakan misal pada *bulldozers*.

Catatan :

Kelas A : torsi awal normal, arus *start* normal.

Kelas B : torsi awal normal, arus *start* rendah.

Kelas C : torsi *start* tinggi, arus *start* rendah.

Kelas D : torsi *start* tinggi, slip tinggi.