

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

1.1 Motor Induksi¹

Mesin- mesin listrik digunakan untuk mengubah suatu bentuk energi ke energi yang lain, misalnya mesin yang mengubah energi mekanis ke energi listrik disebut generator, dan sebaliknya energi listrik menjadi energi mekanis disebut motor. Masing-masing mesin mempunyai bagian yang diam disebut dengan stator dan bagian yang bergerak disebut dengan rotor. Bagian yang bergerak dan diam terdiri dari inti besi, dipisahkan oleh celah udara dan membentuk rangkaian magnetik dimana fluksi dihasilkan oleh aliran arus melalui kumparan/belitan yang terletak didalam kedua bagian tersebut.

Pada umumnya mesin-mesin penggerak yang di gunakan di industri mempunyai daya keluaran lebih besar dari 1 HP dan menggunakan motor Induksi tiga fasa. Adapun kelebihan dan kekurangan motor induksi bila dibandingkan dengan jenis motor lainnya, adalah:

2.1.2 Kelebihan motor induksi:

1. Mempunyai konstruksi yang sederhana.
2. Relatif lebih murah harganya bila dibandingkan dengan jenis motor yang lainnya.
3. Menghasilkan putaran yang konstan.
4. Mudah perawatannya.
5. Untuk pengasutan tidak memerlukan motor lain sebagai penggerak mula.
Tidak membutuhkan sikat-sikat, sehingga rugi gesekan bisa dikurangi.

2.1.2 Kekurangan motor induksi:

1. Putarannya sulit diatur.
2. Arus asut yang cukup tinggi, berkisar antara 5 – 6 kali arus nominal motor.

¹Prih Sumardjati, dkk., Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3 Hal. 408.

2.2 Klasifikasi Motor Induksi

Motor induksi memiliki berbagai jenis yang dapat diklasifikasikan antara lain berdasarkan prinsip kerja, berdasarkan macam arus, dan berdasarkan kecepatan.

2.2.1 Berdasarkan Prinsip Kerja

1. Motor Sinkron.
 - a) Biasa (tanpa slip ring)
 - b) Super (dengan slip ring)
2. Motor Asinkron
 - a) Motor Induksi (Squirrel Cage & Slip Ring)

2.2.2 Berdasarkan Macam Arus

Berdasarkan macam arus motor induksi dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu :

1. Satu phasa

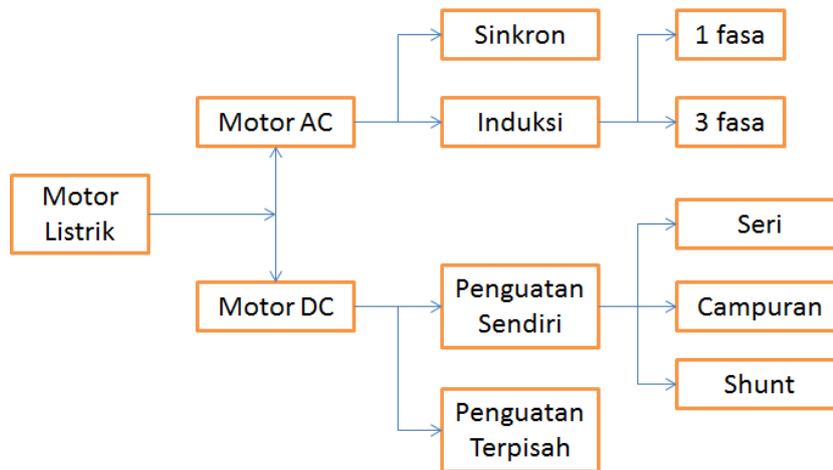
Motor ini hanya memiliki satu gulungan stator, beroperasi dengan pasokan daya satu fasa, memiliki sebuah rotor sangkar tupai, dan memerlukan sebuah alat untuk menghidupkan motornya. Sejauh ini motor ini merupakan jenis motor yang paling umum digunakan dalam peralatan rumah tangga, seperti kipas angin, mesin cuci dan pengering pakaian.

2. Tiga phasa

Medan magnet yang berputar dihasilkan oleh pasokan tiga fasa yang seimbang. Motor tersebut memiliki kemampuan daya yang tinggi, dapat memiliki sangkar tupai atau gulungan rotor (walaupun 90% memiliki rotor sangkar tupai) dan penyalaan sendiri. Diperkirakan bahwa sekitar 70% motor di industri menggunakan jenis ini, sebagai contoh, pompa, *compressor*, *belt conveyor*, jaringan listrik dan *grinder*.

2.2.3 Berdasarkan Kecepatan

1. Kecepatan Konstan
2. Kecepatan Berubah
3. Kecepatan Diatur



Gambar 2.1 Gambar Klasifikasi Motor Listrik

2.3. Jenis – Jenis Motor Induksi Tiga Fasa Berdasarkan Karakteristik Kelas- nya

2.3.1 Kelas A

Motor Induksi 3 Fasa Kelas A memiliki karakteristik sebagai berikut :

- Torsi awal normal (150 – 170%) dari nilai ratingnya) dan torsi breakdownnya tinggi
- Arus awal relatif tinggi dan Slip rendah ($0.0015 < \text{Slip} < 0.005$)
- Tahanan rotor kecil sehingga efisiensi tinggi
- Baik digunakan untuk torsi beban kecil saat start dan cepat mencapai putaran penuhnya

Contoh : Pompa dan Fan

2.3.2 Kelas B

Motor Induksi 3 Fasa Kelas B memiliki karakteristik sebagai berikut :

- Torsi awal normal hampir sama seperti kelas A
- Arus awal rendah (lebih rendah 75% dari kelas A) dan Slip rendah (slip < 0.005)
- Arus awal dapat diturunkan karena rotor mempunyai reaktansi tinggi

² Rijono, Yon, Dasar Teknik Tenaga Listrik. (Yogyakarta : Andi Offset, 1997), hal : 309.

- d) Rotor terbuat dari plat atau saklar ganda
- e) Efisiensi dan faktor dayanya pada saat berbeban penuh tinggi

Contoh : Fan, Blower, dan Motor Generator set

2.3.3 Kelas C

Motor Induksi 3 Fasa Kelas C memiliki karakteristik sebagai berikut :

- a) Torsi awal lebih tinggi (200 % dari nilai ratingnya)
- b) Arus awal rendah dan Slip rendah ($\text{slip} < 0.005$)
- c) Reaktansi rotor lebih tinggi dari kelas B
- d) Rotor menggunakan sangkar rendah

Contoh : Kompresor, Konveyor, Crushers, dan Fort

2.3.4 Kelas D

Motor Induksi 3 Fasa Kelas D memiliki karakteristik sebagai berikut :

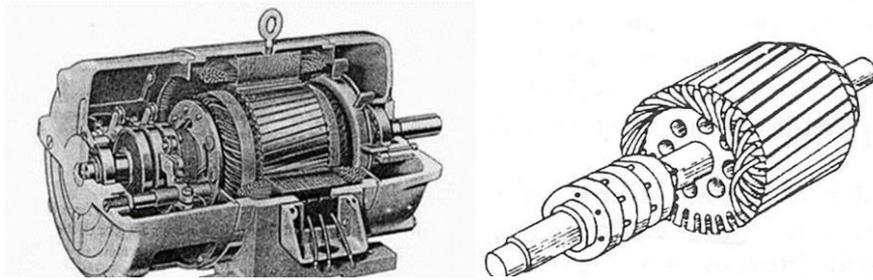
- a) Torsi awal yang paling tinggi dari kelas lainnya
- b) Arus awal rendah dan Slip tinggi
- c) motor ini cocok untuk aplikasi dengan perubahan beban dan perubahan kecepatan secara mendadak pada motor
- d) Ketika torsi maksimum slip mencapai harga 0.5 atau lebih, sedangkan ketika beban penuh slip antara 8% hingga 15% sehingga efisiensinya rendah

Contoh : Elevator, Crane, dan Ekstraktor.

2.4 Jenis – Jenis Motor Induksi Tiga Fasa Berdasarkan bentuk Rotor-nya

2.4.1 Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Belitan (*Wound - Rotor Motor*)

Motor rotor belitan (motor cincin slip) berbeda dengan motor sangkar tupai dalam hal konstruksi rotornya. Seperti namanya, rotor dililit dengan lilitan terisolasi serupa dengan lilitan stator. Lilitan fasa rotor dihubungkan secara Y dan masing – masing fasa ujung terbuka yang dikeluarkan ke cincin slip yang terpasang pada poros rotor. Konstruksi motor tiga fasa rotor belitan ditunjukkan pada gambar di bawah ini



Gambar 2.2 Gambar Motor Rotor Lilit

2.4.2 Motor Induksi Tiga Fasa Sangkar Tupai (*Squirrelcage Motor*)

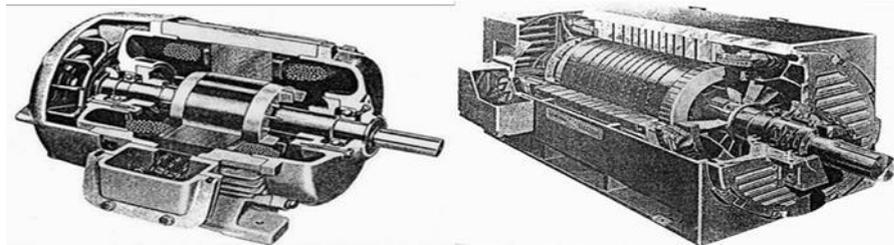
Penampang motor sangkar tupai memiliki konstruksi yang sederhana. Inti stator pada motor sangkar tupai tiga fasa terbuat dari lapisan-lapisan plat baja beralur yang didukung dalam rangka stator yang terbuat dari besi tuang atau plat baja yang dipabrikasi. Lilitan-lilitan kumparan stator diletakkan dalam alur stator yang terpisah 120 derajat listrik. Lilitan fasa ini dapat tersambung dalam hubungan delta (Δ) ataupun bintang (Y). Rotor jenis rotor sangkar ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.3 Gambar Rotor Sangkar

Batang rotor dan cincin ujung motor sangkar tupai yang lebih kecil adalah coran tembaga atau aluminium dalam satu lempeng pada inti rotor. Dalam motor yang lebih besar, batang rotor tidak dicor melainkan ditenamkan ke dalam alur rotor dan kemudian dilas dengan kuat ke cincin ujung. Batang rotor motor sangkar tupai tidak selalu ditempatkan paralel terhadap poros motor tetapi kerap kali dimiringkan. Hal ini akan menghasilkan torsi yang lebih seragam dan juga mengurangi derau dengung magnetik sewaktu motor sedang berputar. Pada ujung cincin penutup dilekatkan sirip yang berfungsi sebagai pendingin. Rotor

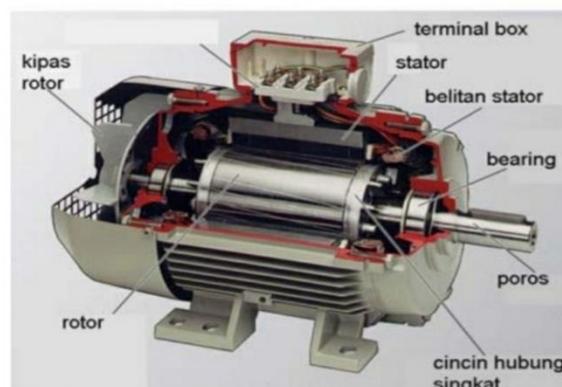
jenis rotor sangkar standar tidak terisolasi, karena batangan membawa arus yang besar pada tegangan rendah. Motor induksi dengan rotor sangkar ditunjukkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.4 Gambar Konstruksi Motor Induksi Rotor Sangkar

2.5 Konstruksi Motor Induksi 3 fasa

Konstruksi motor induksi secara detail terdiri dua bagian, yaitu: bagian stator dan bagian rotor. Dapat di lihat pada Gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.5. Gambar Fisik Motor Induksi

Stator adalah bagian motor yang diam yang terdiri dari badan motor, inti stator, belitan stator, bearing dan terminal box. Sedangkan bagian rotor adalah bagian motor yang berputar, terdiri atas rotor sangkar dan poros rotor. Konstruksi motor induksi tidak ada bagian rotor yang bersentuhan dengan stator, karena dalam motor induksi tidak ada komutator dan sikat arang, selain itu juga konstruksi motor induksi lebih sederhana di bandingkan dengan motor DC, dikarenakan

tidak ada komutator dan sikat arang sehingga pemeliharaan motor induksi sangat mudah yaitu di bagian mekanik nya saja, dan kontruksi nya juga begitu sederhana serta motor induksi sangat handal dan jarang sekali rusak secara elektrik. Bagian motor induksi yang perlu di pelihara rutin adalah pelumas bearing, dan pemeriksaan kekencangan baut-baut kabel pada terminal box apabila terjadi kondor atau lepas akibat pengaruh getaran secara terus menerus.³

2.5.1 Stator

Pada bagian stator terdapat beberapa slot yang merupakan tempat kawat (konduktor) dari tiga phasa yang disebut kumparan stator, yang masing-masing kumparan mendapatkan suplai arus tiga phasa. Stator terdiri dari pelat-pelat besi yang disusun sama besar dengan rotor dan pada bagian dalam mempunyai banyak alur-alur yang diberi kumparan kawat tembaga yang berisolasi. Lalu akan timbul flux medan putar , karena adanya flux medan putar pada kumparan stator, mengakibatkan rotor berputar karena adanya induksi magnet dengan kecepatan putar sinkron dengan kecepatan putar stator.

Dari bagian stator dapat dibagi menjadi beberapa bagian antara lain sebagai berikut :

1. Bodi Motor (Frame)

Fungsi utama dari rangka adalah sebagai tempat mengalirnya fluks magnet, karena itu ranka mesin di buat dari bahan ferromagnetik. Selain itu rangka berfungsi untuk meletakkan alat-alat tertentu dan melindungi bagian-bagian mesin lainnya. Mesin – mesin yang kecil di buat dari besi tuang, sedangkan mesin-mesin yang besar rangkanya di buat dari plat campuran baja yang berbentuk silinder.

2. Inti kutub magnet dan lilitan penguat magnet

Fluks magnet yang terdapat pada mesin motor listrik dihasilkan oleh kutub

³Siswoyo, Teknik Listrik Industri (Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, 2008). Hal. 5-7.

kutub magnet. Kutub magnet diberi lilitan penguat magnet yang berfungsi untuk tempat aliran arus listrik supaya terjadi proses elektromagnetisme. Pada dasarnya kutub magnet terdiri dari magnet dan sepatu kutub magnet. Karena kutub magnet berfungsi menghasilkan fluks magnet, maka kutub magnet di buat dari bahan ferromagnetik, misalnya campuran baja-silikon. Di samping itu kutub magnet di buat dari bahan berlapis-lapis tipis untuk mengurangi panas karena adanya arus pusar yang terbentuk pada kutub magnet tersebut.

3. Sikat komutator

Fungsi dari sikat adalah sebagai penghubung untuk aliran arus dari lilitan jangkar ke terminal luar (generator) ke lilitan jangkar (Motor). Karena itu sikat sikat di buat dari bahan konduktor. Di samping itu sikat juga berfungsi untuk terjadinya komutasi bersamaan dengan komutator, bahan sikat harus lebih lunak dari komutator. Supaya hubungan/kontak antara sikat sikat yang diam dengan komutator yang berputar dapat sebaik mungkin, maka sikat memerlukan alat pemegang dan penekan berupa per/pegas yang dapat di atur KomutatorSeperti diketahui komutator berfungsi sebagai alat penyearah mekanik, yang ber-sama-sama dengan sikat membentuk suatu kerjasama yang disebut komutasi. Supaya menghasilkan penyearah yang lebih baik, maka komutator yang digunakan jumlahnya banyak. Karena itu tiap belahan/segmen komutator tidak lagi merupakan bentuk sebagian selinder, tetapi sudah berbentuk lempeng- lempeng. Diantara setiap lempeng/ segmen komutator terdapat bahan isolator. Isolator yang digunakan menentukan kelas dari mesin berdasarkan kemampuan suhu yang timbul dalam mesin tersebut.

2.5.2 Rotor

Berdasarkan hukum faraday tentang imbas magnet, maka medan putar yang secara relative merupakan medan magnet yang bergerak terhadap penghantar rotor akan mengimbaskan gaya gerak listrik (ggl). Frekuensi imbas ggl ini sama dengan frekuensi jala-jala (sumber). Besarnya ggl imbas ini berbanding lurus dengan kecepatan relative antara medan putar dan penghantar rotor. Penghantar – penghantar dalam rotor yang membentuk suatu rangkaian tertutup, merupakan

rangkaian pelaju arus rotor dan searah dengan hukum yang berlaku yaitu hukum lenz. Dalam hal ini arus rotor ditimbulkan karena adanya perbedaan kecepatan yang berada diantara fluksi atau medan putar stator dengan penghantar yang diam. Rotor akan berputar dalam arah yang sama dengan arah medan putar stator.

Motor induksi bila ditinjau dari dari rotornya terdiri atas dua tipe yaitu motor rotor sangkar dan motor rotor lilit.

1. Motor Rotor Sangkar

Motor induksi jenis rotor sangkar lebih banyak digunakan dari pada jenis rotor lilit, sebab rotor sangkar mempunyai bentuk yang sederhana. Belitan rotor terdiri atas batang- batang penghantar yang ditempatkan di dalam alur rotor. Batang penghantar ini terbuat dari tembaga, alloy atau alumunium. Ujung- ujung batang penghantar dihubung singkat oleh cincin penghubung singkat, sehingga berbentuk sangkar burung. Motor induksi yang menggunakan rotor ini disebut dengan Motor Induksi Rotor Sangkar. Karena batang penghantar rotor yang telah dihubung singkat, maka tidak dibutuhkan tahanan luar yang dihubungkan seri dengan rangkaian rotor pada saat awal berputar. Alur-alur rotor biasanya tidak dihubungkan sejajar dengan sumbu (poros) tetapi sedikit miring.



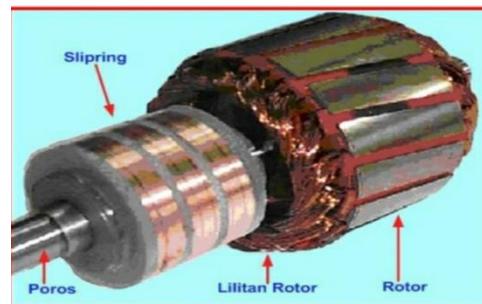
Gambar 2.6. Gambar Rotor Sangkar

2. Motor Rotor Lilit

Rotor lilit terdiri atas belitan fasa banyak, belitan ini dimasukkan kedalam 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/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 dihubung singkat. Motor Induksi rotor lilit dikenal dengan sebutan Motor Induksi Slipring atau Motor Induksi Rotor Lilit.



Gambar 2.7. Gambar Motor Rotor Lilit

2.6 Prinsip Kerja Motor Induksi

Pada dasarnya ada beberapa prinsip penting pada motor - motor induksi yaitu:

1. Apabila sumber tegangan tiga fasa dipasang pada kumparan stator, timbullah medan putar dengan kecepatan.
2. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor.
3. Akibatnya pada kumparan rotor timbul induksi (ggl) sebesar :

$$E_2 = 4,44 \cdot f_2 \cdot N_2 \cdot \phi_m \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

E_2 = Tegangan Induksi

f_2 = frekuensi jala-jala

N_2 = banyaknya lilitan

ϕ_m = fluks magnet

⁴Zuhal. 1991. Dasar Tenaga Listrik. ITB, Bandung. Hal : 68

4. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup, ggl (E) akan menghasilkan arus (I).
5. Adanya arus (I) didalam medan magnet menimbulkan gaya (F) pada motor.
6. Bila torsi mula dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul torsi beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.
7. Tegangan magnet induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan putar stator. Artinya agar tegangan terinduksi diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator (N_s) dengan kecepatan berputar rotor (N_r).
8. Perbedaan kecepatan antara N_r dan N_s disebut slip (s) dinyatakan dengan

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100\% \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana : S = Slip motor (%)

N_s = Medan putar stator (Rpm)

N_r = Medan putar rotor (Rpm)

9. Bila $N_r = N_s$, tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak mengalir pada kumparan jangkar (rotor), dengan demikian tidak dihasilkan kopel. Kopel motor akan ditimbulkan apabila N_r lebih kecil dari N_s .
10. Dilihat dari cara kerjanya maka motor tak serempak disebut juga motor induksi atau motor asinkron.

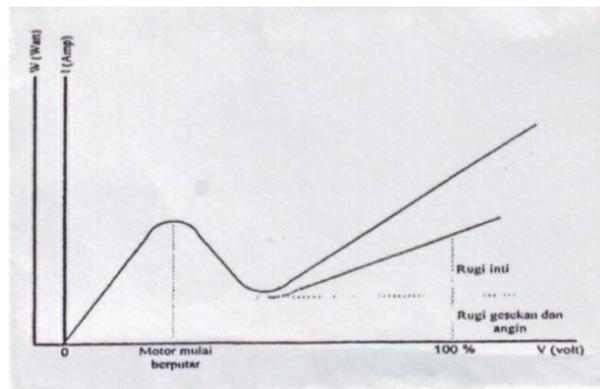
2.7. Karakteristik Motor Induksi⁵

Secara umum motor induksi yang baik mempunyai standar bentuk karakteristik tertentu. Tiap-tiap motor mempunyai karakteristik sendiri-sendiri. Dibawah ini disebutkan beberapa karakteristik yang menggambarkan hubungan antara suatu parameter dan mesin yang lain, yaitu:

1. Karakteristik Beban Nol

⁵ Gunawan, 2008. Efisiensi Motor Induksi 3 fasa pada Mesin Threshing di PT. Musi Banyuasin Indah. Politeknik Negeri Sriwijaya. Palembang. Hal :14

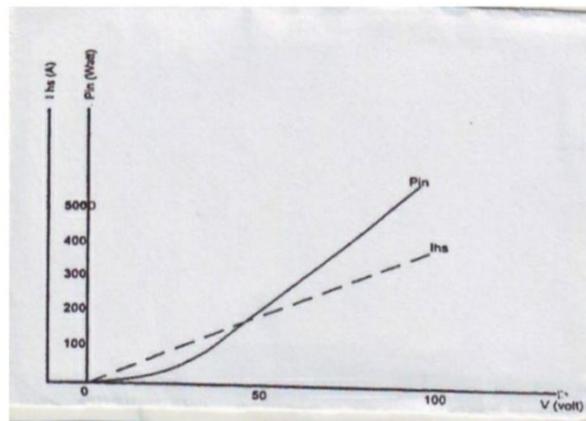
Karakteristik beban nol adalah karakteristik yang menggambarkan hubungan antara tegangan ke motor dengan arus daya $\cos \phi$ motor pada keadaan tanpa beban, seperti yang ditunjukkan pada gambar, jadi putaran mendekati sinkron atau sama.



Gambar 2.8. Gambar Karakteristik Beban Nol

2. Karakteristik Rotor yang diblok

Karakteristik motor yang diblok adalah karakteristik yang menggambarkan hubungan antara tegangan masuk dan arus yang masuk, $\cos \phi$, dan daya masuk. Seperti yang ditunjukkan pada (gambar 2.5.) Berikut ini.

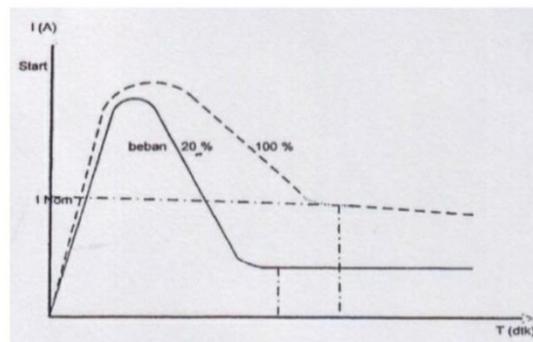


Gambar 2.9. Gambar Karakteristik Rotor yang diblok

3. Karakteristik Start

Karakteristik start ini dipakai untuk menggambarkan hubungan antara waktu dan arus. Putaran untuk macam-macam beban pada tegangan masuk konstan. Dari (gambar 2.6.) dibawah berikut dapat dijelaskan bahwa:

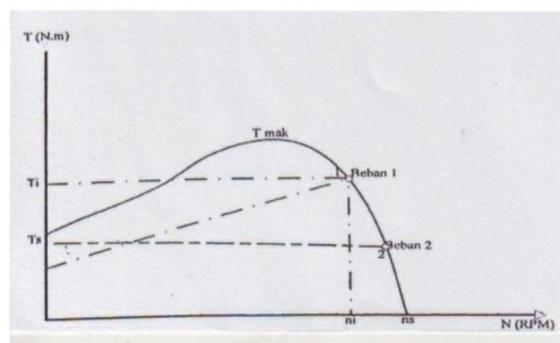
- Jika waktu start dari motor induksi makin lama, maka pemanas pada belitan akan lebih besar pula pada elemen pengaman. Hal ini akan berpengaruh terhadap lifetime dari motor.
- Arus akhir ke motor lebih tinggi.
- Putaran akhir motor akan lebih rendah.



Gambar. 2.10. Gambar Karakteristik start

4. Karakteristik Kopel dan Putaran

Daerah kerja motor terletak pada daerah perputaran mendekati n_s . Kopel lawan beban 1 dan 2 pada waktu start $< T_s$ maka motor dapat distart, masing-masing dengan titik kerja 1 (kopel kerja = T_1 dan putaran kerja n_1) dan titik kerja 2. Bila kopel lawan beban pada saat start $> T_s$ maka motor tidak dapat Distart. Selama motor belum berputar, arus motor tinggi. Seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.11. Gambar Karakteristik kopel dan putaran.

2.8 Rugi – Rugi Pada Motor Induksi

Motor – motor listrik adalah suatu alat untuk mengkonversikan energi listrik menjadi energi mekanis. Keadaan ideal dalam sistem konversi energi, yaitu mempunyai daya *output* tepat sama dengan daya input yang dapat dikatakan efisiensi 100%. Tetapi pada keadaan yang sebenarnya, tentu ada kerugian energi yang menyebabkan efisiensi dibawah 100%. Dalam sistem konversi energi elektro mekanik yakni dalam operasi motor – motor listrik terutama pada motor induksi, total daya yang diterima sama dengan daya yang diberikan, ditambah dengan kerugian daya yang terjadi, atau :

$$P_{in} = P_{out} + P_{rugi-rugi} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana

P_{in} : Total daya yang diterima motor

P_{out} : Daya yang diterima motor untuk melakukan kerja

$P_{rugi-rugi}$: Total kerugian daya yang dihasilkan oleh motor

Motor listrik tidak pernah mengkonversikan semua daya yang diterima menjadi daya mekanik, tetapi selalu timbul kerugian daya yang semuanya berubah menjadi energi panas yang terbuang.

Untuk itu perlu diketahui kerugian daya apa saja yang timbul selama motor beroperasi.

1. Belitan dalam motor yang dinamakan rugi – rugi listrik (rugi – rugi belitan).
2. Kerugian daya yang timbul langsung arena putaran motor, yang dinamakan rugi - rugi rotasi. Rugi - rugi rotasi ini terbagi menjadi dua jenis, yaitu :
 - a. Rugi - rugi mekanis akibat putaran.
 - b. Rugi - rugi inti besi akibat kecepatan putaran dan *fluks* medan.

1. Rugi - rugi inti

Rugi - rugi inti rangkaian terbuka terdiri atas rugi-rugi histeris dan arus-edy yang timbul dari perubahan kerapatan fluks pada besi mesin dengan hanya lilitan peneral utama yang diberi tenaga. Pada mesin DC dan mesin serempak, rugi-rugi ini terutama dialami oleh besi armatur, meskipun pembentukan pulsa fluks yang berasal dari mulut celah akan menyebabkan rugi-rugi pada besi medan juga, terutama pada sepatu kutub atau permukaan besi medan. Pada mesin induksi rugi-rugi terdapat terutama pada besi strator. Rugi-rugi inti rangkaian terbuka dapat diperoleh dengan mengukur masukkan pada mesin pada saat bekerja tanpa beban pada kecepatan ukuran atau frekuensi ukuran dan dengan fluks atau tegangan yang semestinya dan kemudian mengurangkan rugi-rugi perlilitan dan gesekan dan jika mesin tersebut bekerja sendiri selama dites, rugi-rugi I^2R armature tanpa beban (rugi-rugi I^2R stator tanpa beban pada motor induksi). 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 daripada *fluks* dan kecepatan motor. Pada umumnya rugi - rugi inti berkisar antara 20 - 25% dari total kerugian daya motor pada keadaan nominal.

2. Rugi - rugi belitan

Rugi - rugi belitan sering disebut rugi - rugi tembaga tetapi pada saat sekarang sudah tidak begitu banyak motor listrik, terutama motor ukuran sangat kecil diatas 750 W, 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 alumunium. 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 dibawah kondisi operasi. Sedang tahanan efektif dari belitan selalu berubah dengan perubahan temperatur, *skin effect* dan sebagainya. Sangat sulit untuk menentukan nilai yang sebenarnya dari tahanan belitan dapat dimasukkan kedalam kerugian *stray load*. Pada umumnya

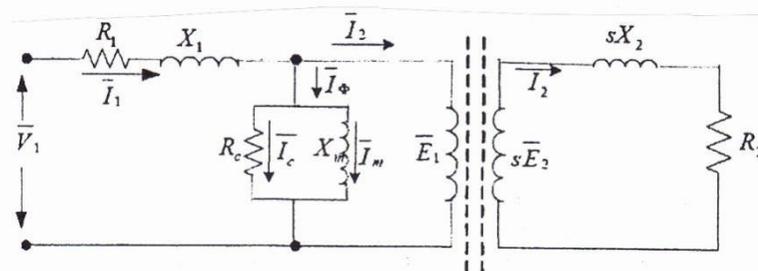
rugi - rugi belitan ini berkisar antara 55 - 60% dari total kerugian motor pada keadaan beban nominal.

$$P_{\text{rugi-rugi}} = I^2 \cdot R \dots \dots \dots (2.4)$$

2.9 Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi

Motor Induksi 3-fasa ini dapat dianalisa berdasarkan rangkaian ekuivalen tanpa harus mengoperasikan motor.

Kerja motor induksi seperti juga kerja transformator adalah berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Oleh karena itu, motor induksi dapat dianggap transformator dengan rangkaian sekunder yang berputar. Rangkaian pengganti motor induksi dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.12. Gambat Rangkaian pengganti motor induksi

Untuk menentukan rangkaian ekuivalen dari motor 3 phasa pertama-tama perhatikan keadaan pada stator. Gelombang fluks pada celah udara yang berputar sinkron membangkitkan GGL lawan 3 phasa yang seimbang di dalam phasa-phaa stator. Besarnya tegangan terminal stator berbeda dengan GGL lawan sebesar jatuh tegangan pada Impedansi (Z) bocor stator, sehingga dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$\overline{V1} = \overline{E1} + \overline{I1}(R1 + jX) \text{ Volt} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana :

-
- V1 = Tegangan terminal stator (Volt)
-

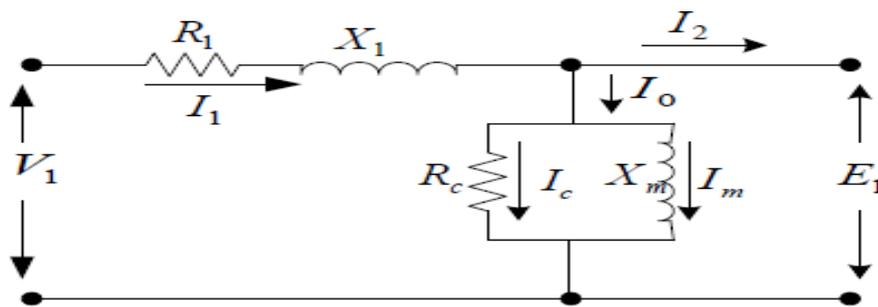
$E_1 =$ Ggl lawan yang dihasilkan oleh fluks celah udara resultan (Volt)

$I_1 =$ Arus stator (Amper)

$R_1 =$ Resistansi efektif stator (Ohm) $X_1 =$ Reaktansi bocor stator (Ohm)

Seperti halnya transformator, arus stator dapat dipecah menjadi 2 komponen, yaitu komponen beban dan komponen peneralan. Komponen beban I_2 menghasilkan suatu fluks yang akan melawan fluks yang diakibatkan arus rotor.

Komponen peneralan $I\Phi$ merupakan arus stator tambahan yang diperlukan untuk menghasilkan fluks celah udara resultan. Arus peneralan dapat dipecah menjadi komponen rugi-rugi inti I_c yang se-fasa dengan E_1 dan komponen magnetisasi I_m yang tertinggal dari E_1 sebesar 90^0 . Sehingga dapat dibuat rangkaian ekivalen pada stator seperti gambar dibawah ini :



Gambar 2.13. Gambar Rangkaian Ekivalen Stator

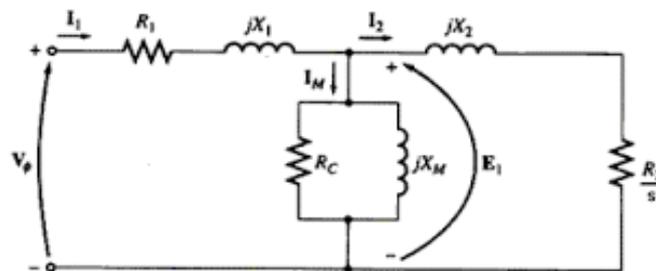
Pada rotor belitan, belitan yang dililit sama banyaknya dengan jumlah kutub dan fasa stator. Jumlah lilitan efektif tiap fasa pada lilitan stator banyaknya a x jumlah lilitan rotor. Bandingkan efek magnetis rotor ini dengan yang terdapat pada rotor ekivalen magnetic yang mempunyai jumlah lilitan yang sama seperti stator. Untuk kecepatan dan fluks yang sama, hubungan antara tegangan E_{rotor} yang diimbaskan pada rotor yang sebenarnya dan tegangan E_{2s} yang diimbaskan pada rotor ekivalen adalah sebagai berikut :

$$E_{2s} = a E_{rotor} \dots \dots \dots (2.6)$$

Bila rotor-rotor akan diganti secara magnetis, lilitan amper masing-masing

harus sama dan hubungan antara arus rotor sebenarnya I_{rotor} dan arus I_2 pada rotor ekivalen haruslah :

$$\frac{\bar{I}_{2s}}{a} = \frac{I_{rotor}}{a} \dots\dots\dots(2.7)$$



Gambar 2.14. Gambar Rangkaian Ekivalen Motor induksi

Dari rangkaian ekivalen (Gambar 2.14) dibawah ini I_1 merupakan arus yang mengalir pada kumparan stator yang terbagi arus I_m dan I_2 , dimana untuk mencari besarnya arus yang mengalir pada saat pembebanan.

V_ϕ = Tegangan sumber perfasa pada kumparan stator

R_1 = Resistansi kumparan stator

jX_1 = Reaktansi Induktif kumparan stator

R_c = Tahanan Inti Besi

R_2 = Resistansi kumparan rotor dilihat dari sisi stator

jX_2 = Reaktansi Induktir rotor dilihat dari sisi stator

jX_m = Reaktansi magnet pada Motor

I_1 = Arus kumparan stator

I_2 = Arus pada kumparan rotor dilihat dari sisi stator saat motor distart.

2.10 Pengertian Daya

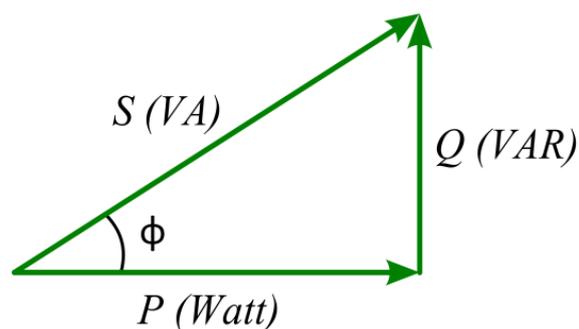
⁶Andyk Probo Prasetya dkk. Analisis Perbandingan Sistem Pengasutan Motor Induksi 3 Fasa Sebagai Penggerak Pompa Pada Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Wendit Malang (Malang: Institute Teknologi Malang,2012)

Daya dalam tegangan AC pada setiap saat sama dengan perkalian dari harga arus dan tegangan pada saat itu. Jika arus dan tegangan bolak-balik satu fasa, maka daya dalam satu periode sama dengan perkalian dari arus dan tegangan efektif. Tetapi jika ada reaktansi dalam rangkaian arus dan tegangan tidak satu fasa sehingga selama siklusnya biasa terjadi arus negatif dan tegangan positif.

Secara teoritis daya terdiri dari tiga yaitu daya aktif, daya reaktif, dan daya semu yang pengertiannya adalah sebagai berikut :

1. Daya aktif (P) adalah daya yang diubah menjadi energy, persatuan waktu atau dengan kata lain adalah daya yang benar-benar terpakai yang dihasilkan oleh komponen resistif, satuannya adalah Watt (W).
2. Daya reaktif (Q) adalah daya yang ditimbulkan oleh komponen reaktansi. Daya reaktif ditentukan dari reaktansi yang menimbulkannya, dapat berupa reaktansi induktif (X_L) dan reaktansi kapasitif (X_C), satuannya adalah Volt Ampere Reaktif (VAR).
3. Daya semu (S) adalah jumlah secara vektoris daya aktif dan daya reaktif yang memiliki satuan Volt Ampere (VA).

Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar sistem segitiga daya berikut ini :



Gambar 2.15. Gambar Segitiga daya

$$P = V.I. \cos\phi \dots\dots\dots(2.8)$$

$$S = V.I. \dots\dots\dots(2.9)$$

$$Q = V. I. \sin\phi \dots\dots\dots(2.10)$$

Untuk daya tiga phasa rumus daya aktif, daya reaktif, dan daya semu adalah seperti dibawah ini.

$$P = \sqrt{3} \cdot V_l \cdot I_l \cdot \cos\phi \dots\dots\dots(2.11)$$

$$S = \sqrt{3} \cdot V_l \cdot I_l \cdot \sin \phi \dots\dots\dots(2.12)$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot V_l \cdot I_l \dots\dots\dots(2.13)$$

Daya memiliki hubungan dengan usaha yaitu daya merupakan usaha yang dilakukan dalam satuan waktu, atau dengan kata lain daya berbanding terbalik dengan waktu sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P = \frac{W}{t} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana, P = Daya mekanik (W)

W= Usaha (joule)

t = Waktu (s)

2.11 Efisiensi⁷

Di dalam setiap mesin daya keluaran yang tersedia adalah lebih rendah dari pada daya masukannya karena terjadinya rugi - rugi didalam mesin bersangkutan. Rugi - rugi ini dapat terjadi karena adanya gesekan pada bantalan, tahanan udara dari bagian - bagian mesinyang bergerak, panas ataupun getaran.

Motor listrik tidak pernah mengkonversikan semua daya yang diterima menjadi daya mekanik, tetapi selalu timbul kerugian daya yang semuanya berubah menjadi energi panas yang terbuang.

Perbandingan dari besarnya daya keluaran terhadap daya yang dikenal sebagai efisiensi mesin yang disimbolkan dengan huruf latin 'eta' atau jadi:

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{out}}{P_{in}} \dots\dots\dots(2.15)$$

Karena efisiensi biasanya dinyatakan dalam persen, maka rumusan umum yang digunakan ialah:

⁷ Linsley, Trevor.2004. Instalasi Listrik Tingkat Lanjut. Jakarta. Hal: 137

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana :

η = Efisiensi (%)

P_{out} = Daya keluaran (Watt)

P_{in} = Daya masukan (Watt)