

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor Induksi Tiga Fasa¹

Motor listrik berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang berupa tenaga putar. Motor listrik terdiri dari dua bagian yang sangat penting yaitu stator atau bagian yang diam dan Rotor atau bagian berputar. Pada motor AC, kumparan rotor tidak menerima energi listrik secara langsung, tetapi secara induksi seperti yang terjadi pada energi kumparan transformator. Oleh karena itu motor AC dikenal dengan motor induksi. Dilihat dari kesederhanaannya, konstruksinya yang kuat dan kokoh serta mempunyai karakteristik kerja yang baik, motor induksi tiga fasa yang cocok dan paling banyak digunakan dalam bidang industri.

Penggunaan motor induksi yang banyak dipakai di kalangan industri mempunyai keuntungan sebagai berikut :

1. Bentuknya yang sederhana dan memiliki konstruksi yang kuat dan hampir tidak pernah mengalami kerusakan yang berarti.
2. Harga relatif murah dan dapat diandalkan
3. Efisiensi tinggi pada keadaan berputar normal, tidak memerlukan sikat sehingga rugi – rugi daya yang diakibatkannya dari gesekan dapat dikurangi.
4. Perawatan waktu mulai beroperasi tidak memerlukan starting tambahan khusus dan tidak harus sinkron.

Namun disamping hal tersebut diatas, terdapat pula faktor – faktor kerugian yang tidak menguntungkan dari motor induksi yaitu sebagai berikut :

1. Pengaturan kecepatan dari motor induksi sangat mempengaruhi efisiensinya.
2. Kecepatan motor induksi akan menurun seiring dengan bertambahnya beban, tidak seperti motor DC atau motor shunt.
3. Kopel awal mutunya rendah dibandingkan dengan motor DC shunt.

Disebut motor induksi, karena motor ini bekerja dengan adanya arus yang terinduksi sebagai akibat dari adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan magnet berputar yang dihasilkan oleh arus stator. Motor induksi ini terdiri dari dua jenis, yaitu motor induksi dengan rotor belitan dan motor induksi rotor sangkar.

Motor induksi bekerja sebagai berikut : listrik dipasok ke stator yang akan menghasilkan medan magnet. Medan magnet ini bergerak dengan kecepatan sinkron disekitar rotor. Arus rotor menghasilkan medan magnet kedua, yang berusaha untuk melawan medan magnet stator, yang menyebabkan rotor berputar. Walaupun begitu, didalam prakteknya motor tidak pernah bekerja pada kecepatan sinkron namun pada kecepatan dasar yang lebih rendah. Terjadinya perbedaan antara dua kecepatan tersebut disebabkan adanya slip/geseran yang meningkat dengan meningkatnya beban. Slip hanya terjadi pada motor induksi. Untuk menghindari slip dapat dipasang sebuah cincin geser/ slip ring, dan motor tersebut dinamakan motor cincin geser/slip ring motor.

2.2 Klasifikasi Motor Induksi¹

Motor listrik AC memiliki beberapa jenis, yang jenis ini membedakan berdasarkan beberapa faktor utama yang antara lain berdasarkan prinsip kerja, berdasarkan macam arus dan berdasarkan kecepatan.

2.2.1 Berdasarkan Prinsip Kerja

- a) Motor Sinkron.
 - Biasa (tanpa slip ring)
 - Super (dengan slip ring)

- b) Motor Asinkron.
 - Motor Induksi (Squirrel Cage Rotor & Winding Rotor)

¹SEPTIANTO, Fajar; WIDODO, Achmad; SINAGA, Nazaruddin. Analisa Penurunan Efisiensi Motor Induksi Akibat Cacat Pada Cage Ball Bantalan. *JURNAL TEKNIK MESIN*, 2015, 3.4: 397-407.

2.2.2 Berdasarkan Macam Arus

1. Satu phasa

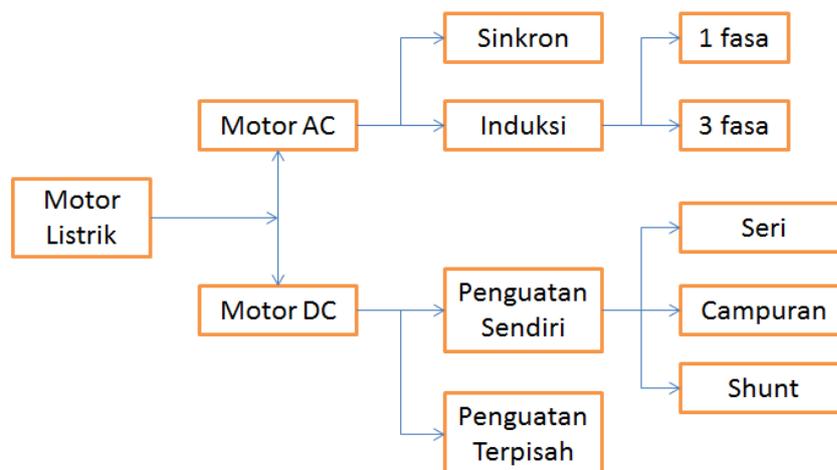
Motor ini hanya memiliki satu gulungan *stator*, beroperasi dengan pasokan daya satu phasa, memiliki sebuah rotor kandang tupai, dan memerlukan sebuah alat untuk menghidupkan motornya. Sejauh ini motor ini merupakan jenis motor yang paling umum digunakan dalam peralatan rumah tangga, seperti kipas angin, mesin cuci dan pengering pakaian, dan untuk penggunaan hingga 3 sampai 4 Hp.

2. Tiga phasa

Medan magnet yang berputar dihasilkan oleh pasokan tiga phasa yang seimbang. Motor tersebut memiliki kemampuan daya yang tinggi, dapat memiliki kandang tupai atau gulungan rotor (walaupun 90% memiliki rotor kandang tupai); dan penyalaan sendiri. Diperkirakan bahwa sekitar 70% motor di industri menggunakan jenis ini.

2.2.3 Berdasarkan Kecepatan

1. Kecepatan konstan
2. Kecepatan berubah
3. Kecepatan diatur



Gambar 2.1 Struktur 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 :

- a) Torsi awal normal (150 – 170%) dari nilai ratingnya) dan torsi breakdownnya tinggi
- b) Arus awal relatif tinggi dan Slip rendah ($0.0015 < \text{Slip} < 0.005$)
- c) Tahanan rotor kecil sehingga efisiensi tinggi
- d) 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 :

- a) Torsi awal normal hampir sama seperti kelas A
- b) Arus awal rendah (lebih rendah 75% dari kelas A) dan Slip rendah (slip < 0.005)
- c) Arus awal dapat diturunkan karena rotor mempunyai reaktansi tinggi
- 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 (slip < 0.005)
- c) Reaktansi rotor lebih tinggi dari kelas B
- d) Rotor menggunakan sankar rendah

Contoh : Kompresor, Konveyor, Crushers, dan Fort

2.3.4 Kelas D

Motor Induksi 3 Fasa Kelas D memiliki karakteristik sebagai berikut :

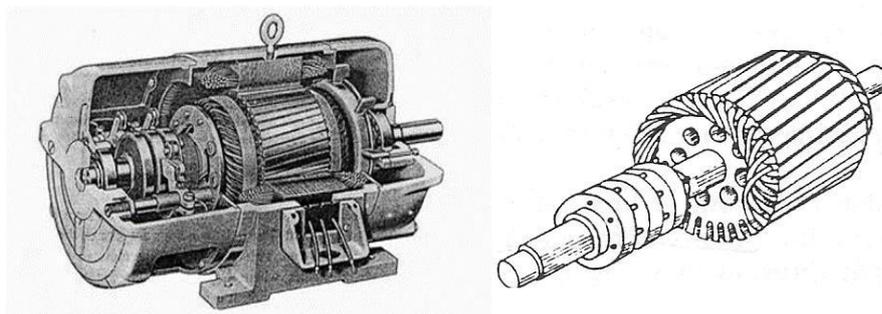
- a) Torsi awal yang paling tinggi dari kelas lainnya
- b) Arus awal rendah dan Slip tinggi
- c) motor ini cocok untuk aplikasi dengan perubahan beban dan perubahan kecepatan secara mendadak pada motor
- d) Ketika torsi maksimum slip mencapai harga 0.5 atau lebih, sedangkan ketika beban penuh slip antara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

Contoh : Elevator, Crane, dan Ekstraktor.

2.4 Jenis – Jenis Motor Induksi Tiga Fasa Berdasarkan bentuk Rotor-nya²

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 Motor Rotor Lilit

2.4.2 Motor Induksi Tiga Fasa Sangkar Tupai (Squirrelcage Motor)

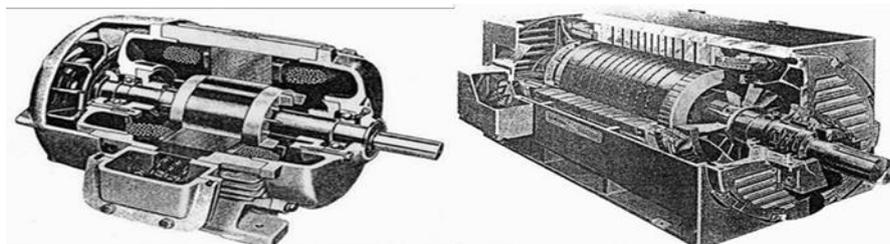
Penampang motor sangkar tupai memiliki konstruksi yang sederhana. Inti stator pada motor sangkar tupai tiga phasa terbuat dari lapisan-lapisan plat baja beralur yang didukung dalam rangka stator yang

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 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 rendah². Motor induksi dengan rotor sangkar ditunjukkan pada gambar dibawah ini :

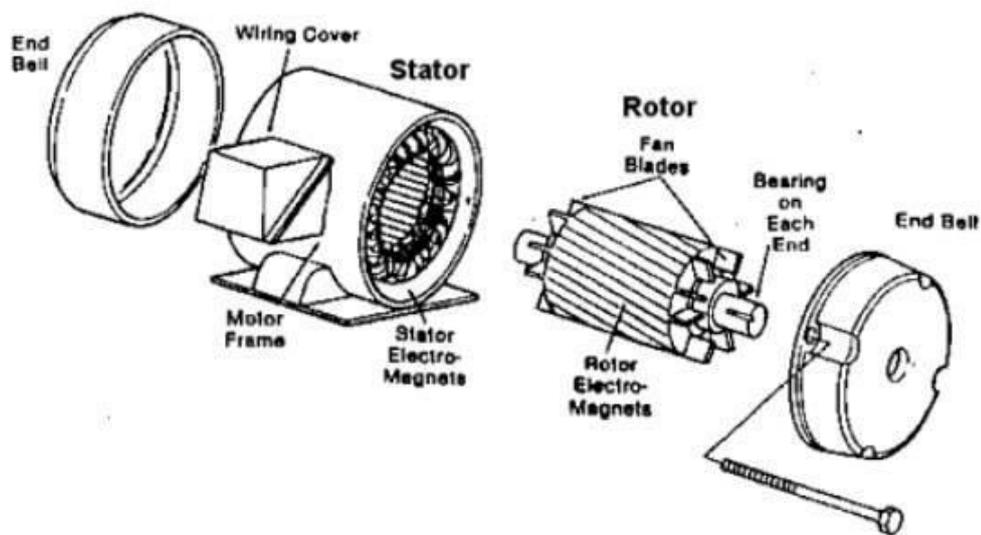


Gambar 2.4 Konstruksi Motor Induksi Rotor Sangkar

²SUSILA, Anton; WINDARTO, Joko; KARNOTO, Karnoto. *Perancangan Motor Induksi Satu Fasa Jenis Rotor sangkar (SQUIRREL CAGE)*. 2011. PhD Thesis. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik.

2.5 Konstruksi Motor Tiga Fasa

Pada dasarnya motor induksi terdiri dari suatu bagaian yang tidak berputar (stator) dan bagian yang bergerak memutar (rotor) seperti pada gambar. Secara ringkas stator terdiri dari blok – blok dinamo yang berisolasi pada satu sisinya dan mempunyai ketebalan 0,35 – 0,5 mm, disusun menjadi sebuah paket blok yang berbentuk gelang. Disisi dalamnya dilengkapi dengan alur – alur. Didalam alur ini terdapat perbedaan antara motor asinkron dengan lilitan sarang (rotor sarang atau rotor hubung pendek) dan gelang seret dengan lilitan tiga fasa. Atau dari sisi lainnya bahwa inti besi stator dan rotor terbuat dari lapisan (email) baja silikon tebalnya 0,35 - 0,5 mm, tersusun rapi, masing – masing terisolasi secara elektrik dan diikat pada ujung – ujungnya.



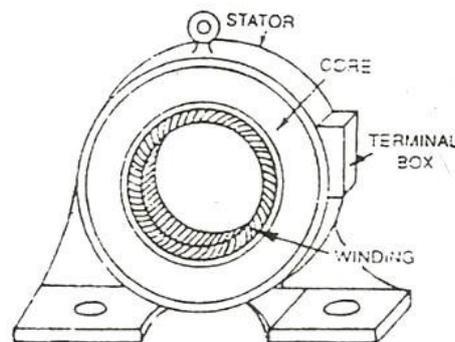
Gambar 2.5 Konstruksi Motor Tiga Fasa

Konstruksi motor induksi lebih sederhana dibandingkan dengan motor DC, dikarenakan tidak ada komutator dan tidak ada sikat arang. Sehingga pemeliharaan motor induksi hanya bagian mekanik saja, dan konstruksinya yang sederhana motor induksi sangat handal dan jarang sekali rusak secara elektrik. Bagian motor induksi yang perlu dipelihara rutin adalah pelumasan bearing, dan pemeriksaan kekencangan baut-baut kabel pada terminal box karena kendor atau bahkan lepas akibat pengaruh getaran secara terus menerus.

Pada dasarnya inti besi stator dan belitan rotor motor tak serempak ini sama dengan stator dan belitan stator mesin serempak. Kesamaan ini dapat ditunjukkan bahwa pada rotor mesin tak serempak yang dipasang / sesuai dengan stator mesin tak serempak akan dapat bekerja dengan baik.

2.5.1 Stator

Pada bagian stator terdapat beberapa slot yang merupakan tempat kawat (konduktor) dari tiga kumparan yang masing – masing berbeda fasa dan menerima arus dari tiap fasa tersebut yang disebut kumparan stator. Stator terdiri dari plat – plat besi yang disusun sama besar dengan rotor dan pada bagian dalam mempunyai banyak alur yang diberi kumparan kawat tembaga yang berisolasi. Jika kumparan stator mendapatkan suplai arus tiga fasa maka pada kumparan tersebut akan timbul flux magnet putar. Karena adanya flux magnet putar pada kumparan stator, mengakibatkan rotor berputar karena adanya induksi magnet dengan kecepatan putar rotor sinkron dengan kecepatan putar stator.³



Gambar 2.6 Konstruksi Stator

Konstruksi stator motor induksi pada dasarnya terdiri dari bagian sebagai berikut.

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

1. Rumah stator (rangka stator) dari besi tuang.
2. Inti stator dari besi lunak atau baja silikon.
3. Alur, bahannya sama dengan inti, dimana alur ini merupakan tempat meletakkan belitan (kumparan stator).
4. Belitan (kumparan) stator dari tembaga.

Rangka stator motor induksi ini di desain dengan baik dengan empat tujuan yaitu

1. Menutupi inti dan kumparannya.
2. Melindungi bagian-bagian mesin yang bergerak dari kontak langsung dengan manusia dan dari goresan yang disebabkan oleh gangguan objek atau gangguan udara terbuka (cuaca luar).
3. Menyalurkan torsi ke bagian peralatan pendukung mesin dan oleh karena itu stator didisain untuk tahan terhadap gaya putar dan guncangan.
4. Berguna sebagai sarana rumah ventilasi udara sehingga pendinginan lebih efektif.

2.5.2 Rotor

Rotor adalah bagian motor yang bergerak atau berputar. Antara rotor dan stator dipisahkan oleh celah udara (*air gap*). Rotor berfungsi untuk membangkitkan medan magnet yang kemudian tegangan dihasilkan dan akan diinduksikan ke stator. Pada bagian inti kutub terdapat poros dan inti rotor yang memiliki fungsi sebagai jalan atau jalur fluks magnet yang dibangkitkan oleh kumparan medan. Pada kumparan medan ini juga terdapat dua bagian, yaitu bagian penghantar sebagai jalur untuk arus pemacuan dan bagian yang diisolasi⁴.

⁴NAESA, Adna Bagus. *Analisa Efisiensi Motor Induksi 3 Phasa GB 304 45 Kw Pada Blower Cooling Tower Di PT. Pupuk Sriwidjaja*. 2017. PhD Thesis. POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA.

Konstruksi rotor motor induksi terdiri dari bagian - bagian sebagai berikut.

1. Inti rotor, bahannya dari besi lunak atau baja silikon sama dengan inti stator.
2. Alur, bahannya dari besi lunak atau baja silikon sama dengan inti, Alur merupakan tempat meletakkan belitan (kumparan) rotor.
3. Belitan rotor, bahannya dari tembaga.
4. Poros atau as.



Gambar 2.7 Rotor

2.6 Prinsip Kerja Motor Induksi⁵

Motor induksi bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik dari kumparan stator kepada kumparan rotornya. Bila kumparan stator motor induksi 3-fasa yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan 3-fasa, maka kumparan stator akan menghasilkan medan magnet yang berputar. Garis-garis gaya fluks yang diinduksikan dari kumparan stator akan memotong kumparan rotornya sehingga timbul emf (ggl) atau tegangan induksi. Karena penghantar (kumparan) rotor merupakan rangkaian yang tertutup, maka akan mengalir arus pada kumparan rotor. Penghantar (kumparan) rotor yang dialiri arus ini berada dalam garis gaya fluks yang berasal dari kumparan stator sehingga kumparan rotor akan mengalami gaya Lorentz yang menimbulkan

torsi yang cenderung menggerakkan rotor sesuai dengan arah pergerakan medan induksi stator.

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

- a) Apabila sumber tegangan tiga fasa di pasang pada kumparan stator timbulah medan putar dengan kecepatan.
- b) Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor
- c) Akibatnya pada kumparan rotor timbul (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

- d) Karena kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup, ggl (E) akan menghasilkan arus (I).
- e) Adanya arus didalam medan magnet menimbulkan gaya pada motor.
- f) Bila kopel mula dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator
- g) Tegangan induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan putar stator. Artinya agar tegangan terinduksi diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator (ns) dengan kecepatan berputar rotor (nr).
- h) Perbedaan kecepatan antara nr dan ns disebut slip (s) dinyatakan dengan:

$$a. S = \frac{ns - nr}{ns} \times 100$$

⁵NANTHONY, Zuriman. Pengaruh Perubahan Frekuensi Dalam Sistem Pengendalian Kecepatan Motor Induksi 3-Fasa Terhadap Efisiensi Dan Arus Kumparan Motor. *Jurnal Teknik Elektro*, 2013, 1.1.

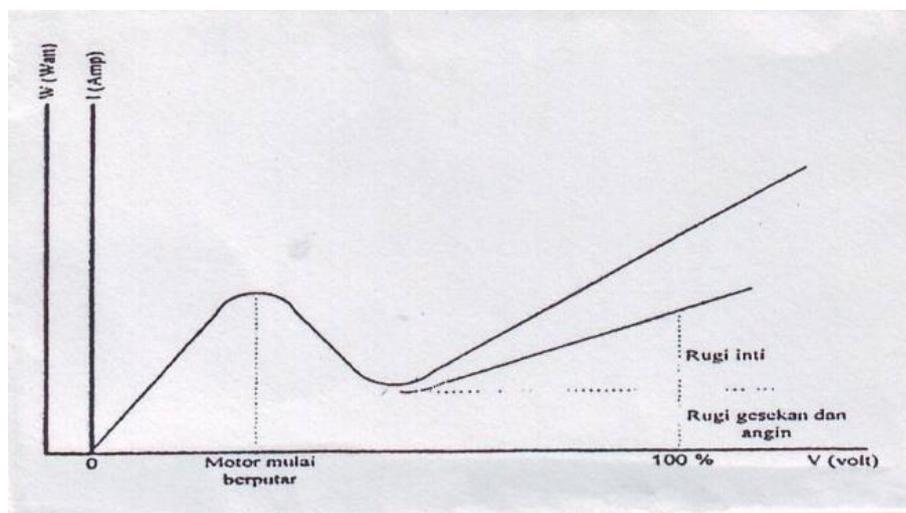
- i) Bila $n_r = n_s$ tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak mengalir pada kumparan jangkar (rotor), dengan demikian tidak dihasilkan kopel. Kopel motor akan ditimbulkan apabila n_r lebih kecil dari n_s
- j) Dilihat dari kerjanya maka motor tak serempak disebut juga motor induksi atau motor asinkron.

2.7 Karakteristik Motor Induksi

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 :

a) Karakteristik Beban Nol

Karakteristik beban nol adalah karakteristik yang menggambarkan hubungan antara tegangan ke motor dengan arus daya $\cos \phi$ motor pada keadaan tanpa beban, seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.8, jadi putaran mendekati sinkron atau sama.

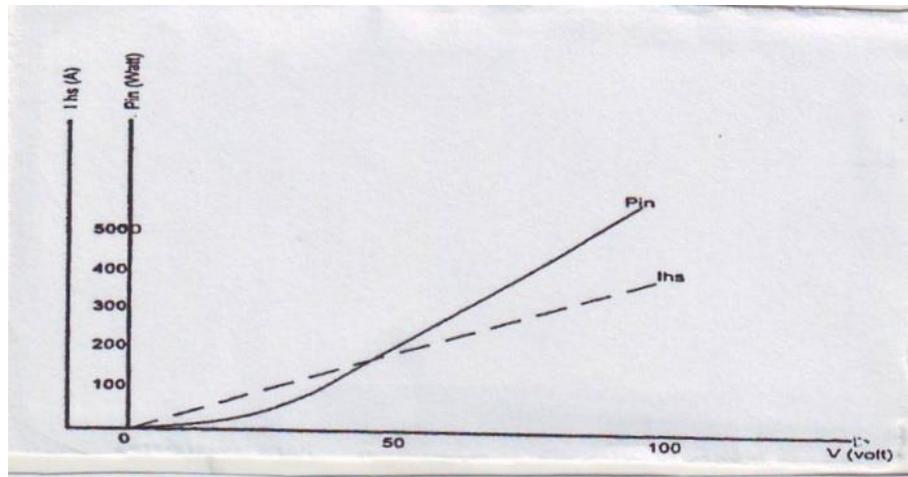


Gambar 2.8. Karakteristik Beban Nol

b) Karakteristik Rotor yang diblok

Karakteristik motor yang diblok adalah karakteristik yang menggambarkan hubungan antara tegangan masuk dan arus yang masuk, $\cos \phi$, daya masuk.

Seperti yang ditampilkan pada gambar 2.9 dibawah ini :

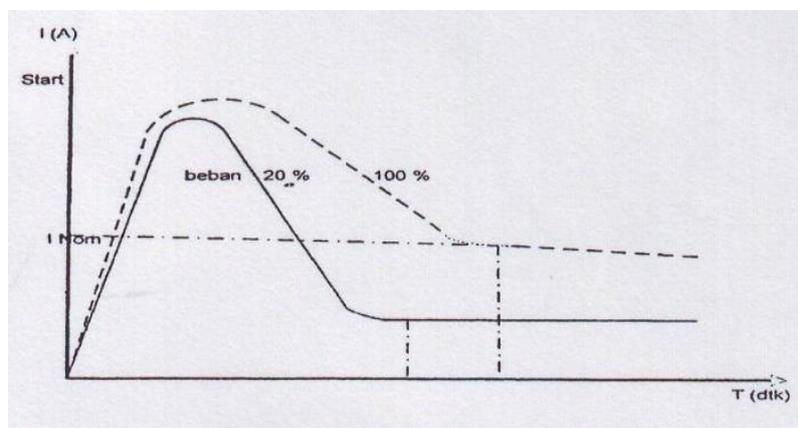


Gambar 2.9 Karakteristik Rotor yang Diblok

c) Karakteristik Start

Karakteristik start ini dipakai untuk menggambarkan hubungan antara waktu dan arus. Putaran untuk macam – macam beban pada tegangan masuk konstan. Dari gambar dibawah berikut (Gambar 2.10) dapat dijelaskan bahwa :

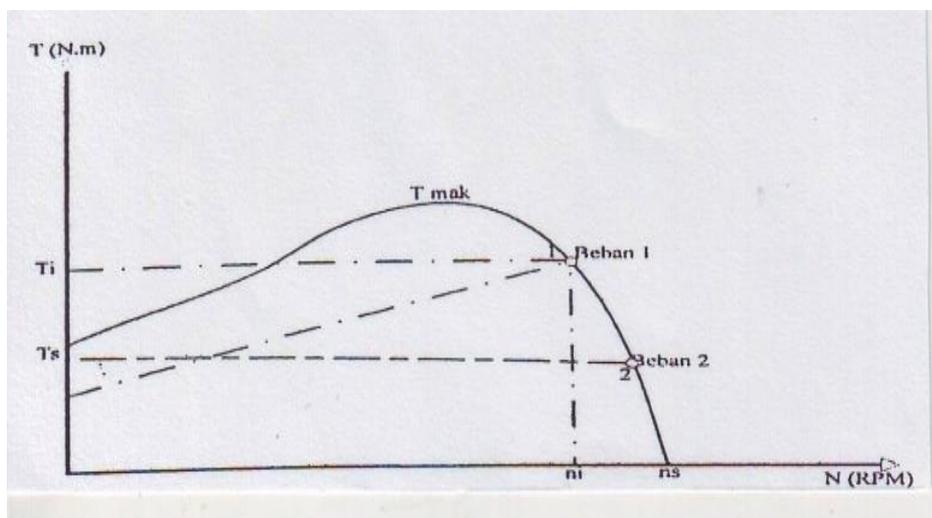
1. Jika waktu start dari motor induksi makin lama, maka pemanas pada belitan akan lebih besar pula pada elemen pengaman. Hal ini akan berpengaruh terhadap lifetime dari motor.
2. Arus akhir ke motor lebih tinggi.
3. Putaran akhir motor akan lebih rendah.



Gambar 2.10 Karakteristik Start

d) 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 terlihat pada gambar 2.11 berikut ini :



Gambar 2.11 Karakteristik Kopel dan Putaran

2.8 Cara – Cara Menentukan Rugi – Rugi Pada Motor

Rugi – rugi motor listrik sebagian dapat ditemukan dengan cara konvensional yaitu dengan percobaan beban nol dan percobaan block rotor (hanya untuk motor arus bolak – balik). Percobaan beban nol dapat menentukan rugi – rugi rotasi motor. Pada keadaan beban nol, seluruh daya listrik input motor digunakan untuk mengatasi rugi – rugi inti dan rugi – rugi mekanik.

Rugi – rugi listrik motor dapat ditentukan yaitu pada tahanan DC, tahanan belitan dapat langsung diukur pada terminal belitan jangkar dan belitan penguat secara pengukuran DC, yaitu dengan mengukur tegangan dan arus dengan sumber DC pada belitan tersebut, atau dengan menggunakan ohm meter (jembatan wheatstone).

Pada motor AC, tahanan equivalen motor dapat ditentukan dengan percobaan block rotor (hubungan singkat), dimana pada keadaan ini rangkaian equivalen motor adalah sama dengan rangkaian equivalen hubung singkat dari suatu transformator. Jadi daya pada keadaan ini merupakan rugi – rugi tahanan atau belitan dan pada keadaan ini rugi – rugi inti dapat diabaikan karena tegangan hubung singkat relatif kecil dibandingkan dengan tegangan nominalnya.

Rugi – rugi stray load adalah rugi – rugi yang paling sulit diukur dan berubah terhadap beban motor. Rugi – rugi ini ditentukan sebagai rugi – rugi sisa (rugi – rugi pengujian dikurangi rugi – rugi konvensional). Rugi – rugi pengujian adalah daya input dikurangi daya output. Rugi – rugi konvensional adalah jumlah dari rugi – rugi inti, rugi – rugi mekanik, rugi – rugi belitan.

2.9 Rugi – Rugi pada Motor Induksi⁶

Seperti kita ketahui bahwa 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 :

$$P_{in} = P_{out} + P_{rugi-rugi} \dots\dots\dots (2.2)$$

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.

⁶SANDHI, Novrian Eka, et al. METODE PENENTUAN RUGI-RUGI PADA PENGATURAN MOTOR INDUKSI BERBASIS VECTOR CONTROL. *Jurnal Integrasi*, 2020, 12.1: 13-20..

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.

Efisiensi motor listrik dapat didefinisikan dari bentuk diatas, sebagai perbandingan dimana :

$$\text{Efisiensi} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.3)$$

Dari persamaan diatas, perlu dipelajari faktor – faktor yang menyebabkan efisiensi selalu dibawah 100%. 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 karena 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.

2.9.1 Rugi – Rugi Inti

Rugi – rugi inti diperoleh pada besi magnetis didalam stator dan rotor akibat timbulnya efek histeris dan arus pusar (eddy current). 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 dari pada fluks dan kecepatan motor. Pada umumnya rugi – rugi inti berkisar antara 20 –25% dari total kerugian daya motor pada keadaan nominal.⁷

⁷Prasetijo, H. (2013). ANALISIS PENGARUH UNBALANCE UNDER VOLTAGE DAN UNBALANCE OVER VOLTAGE TERHADAP KINERJA MOTOR INDUKSI TIGA FASA. *Techno (Jurnal Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Purwokerto)*, 14(2), 01-13.

2.9.2 Rugi – rugi mekanik

Rugi – rugi gesekan dan angin adalah energi mekanik yang dipakai dalam motor listrik untuk menanggulangi gesekan batalan poros, gesekan sikat melawan komutator atau slip ring, gesekan dari bagain yang berputar terhadap angin, terutama pada daun kipas pendingin. Kerugian energi ini selalu berubah menjadi panas berubah menjadi panas seperti pada semua rugi – rugi lainnya.

Rugi – rugi mekanik dianggap konstan dari beban nol hingga beban penuh dan ini adalah masuk akal tetapi tidak sepenuhnya tepat seperti halnya pada rugi – rugi inti. Macam –macam ketidak tepatan ini dapat dihitung dalam rugi – rugi stray load. Rugi – rugi mekanik biasanya berkisar antara 10 – 15% dari total rugi– rugi daya motor pada keadaan beban nominal.

$$P_m = P_{rugi - rugi} \cdot 0,15$$

2.9.3 Rugi –rugi Stray load

Sebagai tambahan, kita tidak dapat menghitung berapa besar kerugian ini seperti yang diakibatkan oleh perubahan fluks terhadap beban, geometri konduktor sehingga arus terbagi sedikit tidak merata dalam konduktor bertambah, mengakibatkan pertambahan tahanan konduktor dan karena itu rugi – rugi konduktor harus bertambah. Dari semua kerugian yang relatif kecil ini, baik dari sumber yang di ketahui maupun yang tidak diketahui, disatukan menjadi rugi – rugi stray load yang cenderung bertambah besar apabila beban meningkat (berbanding kuadrat dengan arus beban). Pada umumnya kerugian ini berkisar 1-5% dari total kerugian daya motor pada keadaan beban nominal⁸.

$$P_s = P_{rugi - rugi} \cdot 0,05.....(2.4)$$

⁸Riansyah, P. A. (2016). *Analisa Daya Motor Induksi Tiga Fasa Penggerak Belt Conveyor Pada Stacker Reclaimer Di PT. Bukit Asam (PERSERO), Tbk Tanjung Enim* (Doctoral dissertation, POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA).

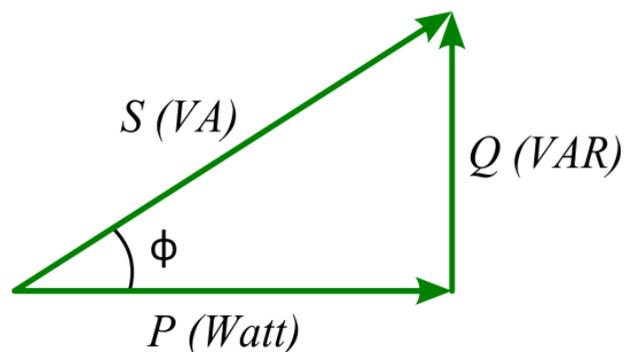
2.10 Pengertian Daya

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 2.12 Segitiga daya

$$P = V.I. \cos\phi \dots\dots\dots(2.5)$$

$$S = V.I. \dots\dots\dots(2.6)$$

$$Q = V. I. \sin\phi \dots\dots\dots(2.7)$$

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

$$P = \sqrt{3}. V_l. I_l. \cos\phi \dots\dots\dots(2.8)$$

$$S = \sqrt{3}. V_l. I_l. \sin \phi \dots\dots\dots(2.9)$$

$$Q = \sqrt{3}. V_l. I_l. \dots\dots\dots(2.10)$$

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:

$$P = \frac{W}{t} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana, P = Daya mekanik (W)

W= Usaha (joule)

t = Waktu (s)

2.11 Efisiensi

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:

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{out}}{P_{in}} \dots\dots\dots(2.12)$$

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

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

η = Efisiensi (%)

P_{out} = Daya keluaran (Watt)

P_{in} = Daya masukan (Watt)