

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Motor Induksi<sup>1</sup>**

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 phasa. Adapun kelebihan dan kekurangan motor induksi bila dibandingkan dengan jenis motor lainnya, adalah:

##### **2.1.1 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.

---

<sup>1</sup> Prih Sumardji, dkk., Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik jilid 3.(Jakarta : Direktorat pembinaan sekolah menengah kejuruan, Direktorat Jendral Manajemen pendidikan dasar dan menengah, departemen pendidikan nasional, 2008) hal. 408

### **2.1.2 Kekurangan motor induksi:**

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

## **2.2 Klasifikasi Motor Induksi<sup>2</sup>**

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 penyalan sendiri. Diperkirakan bahwa sekitar 70% motor di industri menggunakan jenis ini,

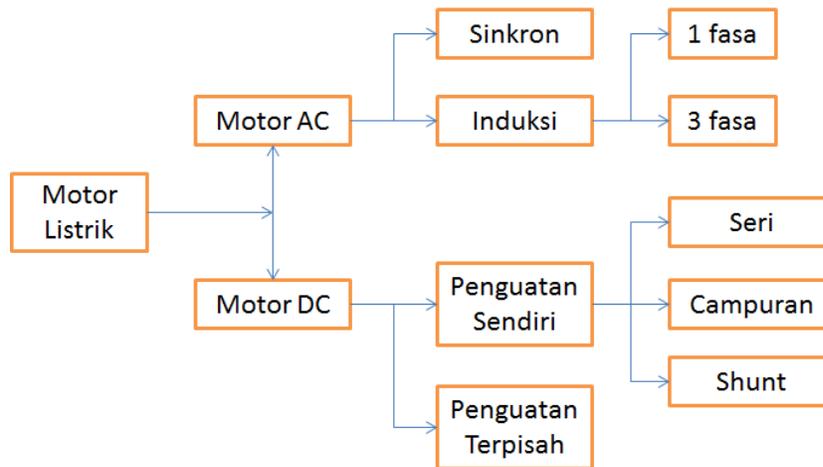
---

<sup>2</sup> Rijono, Yon, Dasar Tenaga Listrik (Yogyakarta :Andi Offset,1997), hal : 309

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 Konstruksi Motor Induksi

Konstruksi motor induksi secara detail terdiri dua bagian, yaitu: bagian stator dan bagian rotor. Dapat di lihat pada Gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2. 2 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 konstruksinya 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 kendur atau lepas akibat pengaruh getaran secara terus menerus.<sup>3</sup>

### **2.3.1 Stator**

Pada bagian stator terdapat beberapa slot yang merupakan tempat kawat (konduktor) dari tiga fasa yang disebut kumparan stator, yang masing-masing kumparan mendapatkan suplai arus tiga fasa. 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 rangka 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

---

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

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-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 diatur. Komutator seperti 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.

### 2.3.2 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 rotornya terdiri atas dua tipe yaitu motor rotor sangkar dan motor rotor lilit.

#### 1. Motor Rotor Sangkar<sup>4</sup>

Motor induksi jenis rotor sangkar lebih banyak digunakan daripada jenis rotor lilit, dikarenakan rotor sangkar memiliki bentuk yang sederhana. Belitan rotor terdiri dari batang-batang penghantar yang ditempatkan dalam alur rotor. Batang penghantar terbuat dari tembaga, alloy ataupun aluminium. Ujung batang penghantar dihubungkan singkat oleh cincin penghubung singkat, sehingga berbentuk menyerupai sangkar burung, motor induksi ini menggunakan rotor ini disebut dengan motor induksi sangkar. Karena batang penghantar rotor yang telah dihubungkan singkat, maka tidak dibutuhkan tahanan luar yang dihubungkan seri dengan rangkaian rotor pada saat awal putaran. Alur rotor biasanya dihubungkan sejajar dengan sumbu (Poros) tetapi sedikit miring

---

<sup>4</sup> Prih Sumardjati, dkk, Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3. (Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jendral Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, 2008) Hal: 410



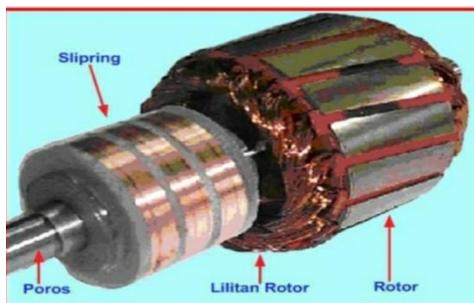


Gambar 2. 3 Gambar Rotor Sangkar

## 2. Motor Rotor Lilit.

Rotor lilit terdiri atas belitan fasa banyak, belitan ini dimasukan dalam alur-alur inti pada rotor. Belitan ini sama dengan belitan pada stator, tetapi belitan selalu dihubungkan secara bintang. Tiga buah ujung-ujung belitan dihubungkan ke terminal-terminal sikat 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. 4 Gambar Motor Rotor Lilit

## 2.4 Prinsip Kerja Motor Induksi<sup>5</sup>

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

1. Apabila sumber tegangan tiga fasa dipasang pada kumparan stator, timbullah

<sup>5</sup> Zuhail dan zhanggischan, Prinsip dasar Elektronik, (Jakarta: Penerbit Gramedi, 2004). Hal : 690

medan putar dengan kecepatan.

2. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor.
3. Akibatnya pada kumparan rotor timbul induksi ( ggl ) sebesar :
 
$$E_2 = 4,44 \cdot f_2 \cdot N_2 \dots \dots \dots (2.1)$$
 Dimana :
  - $E_2$  = Tegangan Induksi
  - $f_2$  = frekuensi jala-jala
  - $N_2$  = banyaknya lilitan
  - $\phi_m$  = fluks magnet
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
 
$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \dots \dots \dots (2.2)$$
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  $N_s$ .

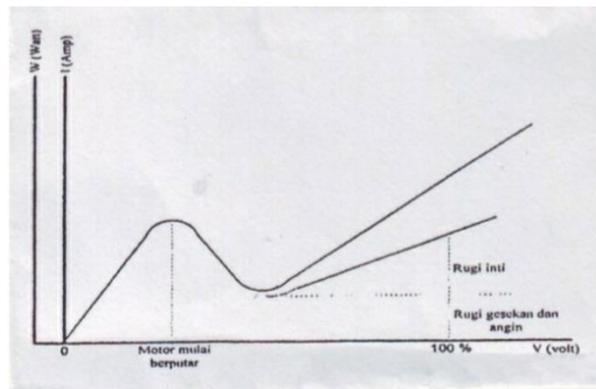
Dilihat dari cara kerjanya maka motor tak serempak disebut juga motor induksi atau motor asinkron.

## 2.5 Karakteristik Motor Induksi<sup>6</sup>

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

### 1. 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 ditunjukkan pada gambar , jadi putaran mendekati sinkron atau sama.

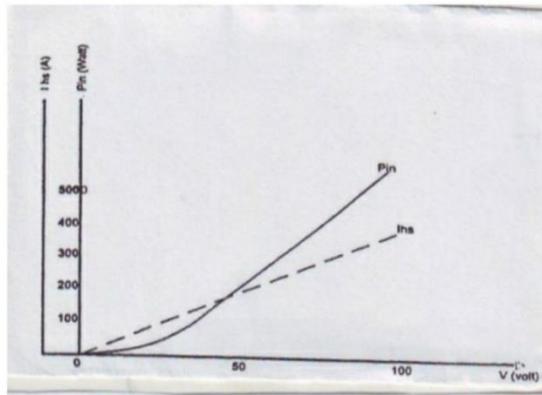


Gambar 2. 5 Gambar Karakteristik Beban Nol

### 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 2.6.) Berikut ini.

<sup>6</sup> Gunawan, 2008. Efisiensi Motor Induksi 3 Phasa pada mesin Thresing di PT. Musi Banyuasin Indah. Politeknik Negeri Sriwijaya. Palembang. Hal: 14

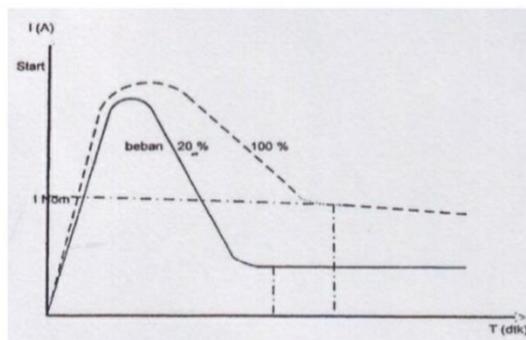


Gambar 2. 6 Gambar Karakteristik Rotor yang diblok

### 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 2.7.) dibawah berikut dapat dijelaskan bahwa:

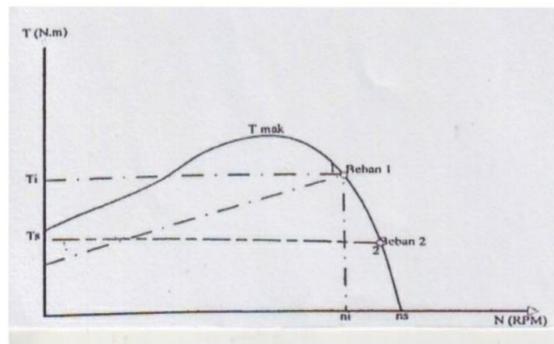
- Jika waktu start dari motor induksi makin lama, maka pemanas pada belitan akan lebih besar pula pada elemen pengaman. Hal ini akan berpengaruh terhadap lifetime dari motor.
- Arus akhir ke motor lebih tinggi.
- Putaran akhir motor akan lebih rendah.



Gambar 2. 7 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. 8 Gambar Karakteristik kopel dan putaran.*

#### 2.5.1 Pengaman Motor Induksi

Motor induksi dengan mesin-mesin listrik yang lainnya tidak luput dari gangguan yang dapat terjadi baik diakibatkan dari dalam motor itu sendiri maupun dari luar motor tersebut. Pengaman motor induksi bertujuan agar apabila suatu saat terjadi gangguan dari motor tersebut maka pengaman motor akan bekerja dan mencegah terjadinya kerusakan yang diakibatkan dari gangguan tersebut.

Adapun gangguan yang sering terjadi pada motor induksi :

1. Gangguan arus lebih yang terdiri dari arus lebih yang disebabkan beban berlebih dan arus hubung singkat.
2. Gangguan dari kekurangan tegangan yang disebabkan oleh hilangnya tegangan pada salah satu fasa yang dapat menyebabkan kenaikan arus dengan sangat cepat dan dapat menyebabkan terbakarnya motor induksi 3 fasa.

3. Gangguan dari komponen mekanis motor yang dapat berupa kipas pendingin motor, bearing dan komponen lainnya, yang apabila dibairkan secara terus menerus dapat merusak komponen utama motor induksi 3 phasa.

## **2.6 Cara Menentukan Rugi-rugi Motor Induksi<sup>7</sup>**

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 ditukar 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. Rugi-rugi stray load juga dapat ditentukan dengan anggapan kira-kira 1% dari daya output dengan kapasitas daya 150 KW atau lebih. Dan untuk motor-motor yang lebih kecil dari itu dapat diabaikan.

---

<sup>7</sup> Liester, Eugene, Mesin dan Rangkaian Listrik Edisi Keenam.(Jakarta: Erlangga,1998) Hal 227

### 2.6.1 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%. Dengan rumus dibawah ini dapat menghitung rugi-rugi tersebut:

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

Dimana

$P_{\text{in}}$  : Total daya yang diterima motor

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

$P_{\text{rugi-rugi}}$ : 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.

**Tabel 2. 1**Tabel 2.1 Jenis Rugi - rugi Motor Induksi 3 Phasa

| Jenis Rugi – rugi   | Persentase rugi - rugi total (%) |
|---------------------|----------------------------------|
| Rugi-rugi Inti Besi | 25                               |
| Rugi-rugi Mekanik   | 15                               |

|  |    |
|--|----|
| Rugi-rugi Belitan                                | 55 |
| Rugi-rugi beban menyimpang ( <i>stray load</i> ) | 5  |

### 2.6.2 Rugi - rugi Inti Besi

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.

$$P_{ib} = P_{\text{rugi-rugi}} \times 0,25 \dots\dots\dots(2.4)$$

### 2.6.3 Rugi - rugi Mekanik

Rugi-rugi gesekan dan angin adalah energi mekanik yang dipakai dalam motor listrik untuk menanggulangi gesekan bantalan poros, gesekan sikat melawan komutator atau *slip ring*, gesekan dari bagian yang berputar terhadap angin, terutama pada daun kipa pendingin. Kerugian energi ini selalu 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 ketidaktepatan 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.

$$P_m = P_{\text{rugi-rugi}} \times 0,15 \dots\dots\dots(2.5)$$

#### 2.6.4 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.

$$P_b = P_{\text{rugi-rugi}} \times 0,55 \dots\dots\dots(2.6)$$

#### 2.6.5 Rugi - rugi *Stray Load*

Kita telah banyak melihat bahwa beberapa macam kerugian selalu dianggap konstan dari keadaan beban nol hingga beban penuh walaupun kita tahu bahwa rugi - rugi tersebut sebenarnya berubah, secara kecil terhadap beban. Sebagai tambahan, kita tidak

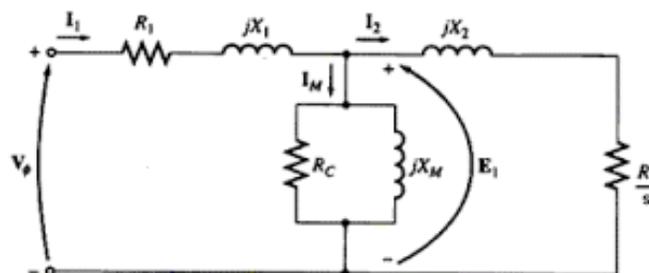
dapat menghitung berapa besar kerugian ini seperti yang diakibatkan oleh perubahan *fluks* terhadap beban, geometri konduktor sehingga arus terbagi sedikit tidak merata dalam konduktor bertambah, mengakibatkan penambahan tahanan konduktor dan karena itu rugi - rugi konduktor harus bertambah. Dari semua kerugian yang relatif kecil ini, baik dari sumber yang ketahu maupun yang tidak diketahui, disatukan menjadi rugi - rugi *stray load* yang cenderung bertambah besar apanila beban meningkat ( berbanding kuadrat dengan arus beban ).

$$P_s = P_{\text{rugi-rugi}} \times 0,05 \dots \dots \dots (2.7)$$

## 2.7 Rangkaian Ekvivalen Motor Induksi<sup>8</sup>

Motor Induksi 3 fasa ini dapat dianalisa dengan meninjau kepada rangkaian ekvivalen tanpa harus mengoperasikan motor.

Dari rangkaian ekvivalen (Gambar 2.9) dibawah ini  $I_1$  adalah arus yang melaju pada kumparan stator yang terbagi arus  $I_m$  dan  $I_2$  , dimana untuk mencari besarnya arus yang mengalir pada saat pembebanan.



Gambar 2.9 Rangkaian Ekvivalen Motor induksi

$V_\phi$  = Tegangan sumber perfasa pada kumparan stator

$R_1$  = Resistansi kumparan stator

$jX_1$  = Reaktansi Induktif kumparan stator

$R_c$  = Tahanan Inti Besi

<sup>8</sup> Andyk 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) Hal: 225

$R_2$  = 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.

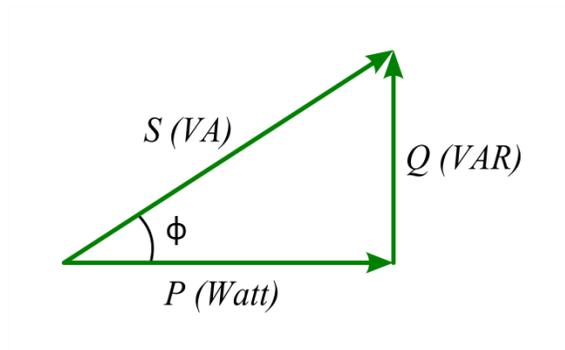
## 2.8 Pengertian Daya

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 :

- a. 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).
- b. 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).
- c. 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 2.10 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.

$$P = \sqrt{3}. V_1. I_1. \cos\phi \dots\dots\dots(2.11)$$

$$S = \sqrt{3}. V_1. I_1. \sin\phi \dots\dots\dots(2.12)$$

$$Q = \sqrt{3}. V_1. I_1 \dots\dots\dots(2.13)$$

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)

## 2.9 Sifat – Sifat Beban Listrik

Dalam sistem arus bolak-balik arus dapat berbeda dengan tegangan yang disebabkan oleh jenis bebannya. Harga arus yang mengalir dalam rangkaian untuk suatu tegangan tertentu yang diberikan seluruhnya ditentukan oleh tahanan rangkaian.

Harga arus bolak-balik yang mengalir dalam rangkaian tidak hanya bergantung pada rangkaian tetapi juga bergantung pada induktansi dan kapasitansi rangkaian. Tahanan memberikan jenis perlawananyang sama terhadap aliran arus bolak-balik terhadap arus searah.

Pada motor induksi terjadi perubahan energy listrik menjadi energy mekanik dalam bentuk putaran rotor. Pada motor induksi daya mekanik yang dihasilkan digunakan untuk berbagai keperluan sesuai dengan yang diinginkan.

Daya pada motor listrik dapat dihitung menggunakan perhitungan perfasa maupun perhitungan tiga fasa dan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_{1\phi} = V_P \cdot I_P \cdot \cos\phi \dots\dots\dots(2.15)$$

Atau,

$$P_{3\phi} = 3 \cdot P_1 \dots\dots\dots(2.16)$$

$$P_{3\phi} = 3 \cdot V_P \cdot I_P \cdot \cos\phi \dots\dots\dots(2.17)$$

Harga tegangan phasa ( $V_P$ ) adalah:

Dimana;

$$V_P = \frac{V_L}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots(2.18)$$

Dengan mensubstitusi persamaan 2.14 ke persamaan 2.13 maka diperoleh rumus sebagai berikut:

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos\phi \dots\dots\dots(2.19)$$

Keterangan:

$P_{1\phi}$  = daya pada 1 fasa(watt)

$P_{3\phi}$  = daya pada 3 fasa(watt)

$V_P$  = tegangan per fasa(volt)

$V_L$  = tegangan line to line(volt)

$I$  = arus line (ampere)

$\cos$  = faktor daya

## 2.10 Faktor Daya

Faktor daya (*power factor*) atau faktor kerja adalah perbandingan antara daya aktif dengan daya semu/daya total, atau cosinus sudut antara daya aktif dan daya semu/daya total. Umumnyaa faktor daya listrik ini disebut juga cosinus phi. ( $\cos \phi$ ). Berikut persamaan faktor daya :

$$\text{Cos}\phi = \frac{P}{S} \dots\dots\dots(2.20)$$

Keterangan :

Cos $\phi$  = Faktor Daya

P = Daya Aktif (Watt)

S = Daya Semu (VA)

Daya reaktif yang tinggi akan meningkatkan sudut ini dan sebagai hasilnya faktor daya akan menjadi lebih rendah. Faktor daya selalu lebih kecil atau sama dengan satu.

Secara teoritis, jika seluruh beban daya yang dipasok oleh perusahaan listrik memiliki faktor daya satu, maka daya maksimum yang ditransfer setara dengan kapasitas sistem pendistribusian. Sehingga, dengan beban yang terinduksi dan jika faktor daya berkisar dari 0,2 hingga 0,5 maka kapasitas jaringan distribusi listrik menjadi tertekan. Jadi, daya reaktif (VAR) harus serendah mungkin untuk keluaran kW yang sama dalam rangka meminimalkan kebutuhan daya total (VA).

Faktor daya menggambarkan sudut phasa antara daya aktif dan daya semu. Faktor daya yang rendah merugikan karena mengakibatkan arus beban tinggi. Perbaikan faktor daya ini menggunakan kapasitor.

Dalam sistem tenaga listrik dikenal 3 jenis faktor daya yaitu faktor daya unity, faktor daya terbelakang (*lagging*) dan faktor daya terdahulu (*leading*) yang ditentukan oleh jenis beban yang ada pada sistem.

## 2.11 Efisiensi<sup>9</sup>

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 mesin yang 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:

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{out}}{P_{in}} \dots\dots\dots(2.21)$$

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

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.22)$$

Dimana :

- $\eta$  = Efisiensi (%)
- $P_{out}$  = Daya keluaran ( Watt )
- $P_{in}$  = Daya masukan ( Watt )

## 2.12 Pemeliharaan Motor Induksi

Hampir semua inti motor dibuat dari baja silicon atau baja gulung dingin yang dihilangkan karbonnya, sifat-sifat listriknya tidak berubah dengan usia. Walau begitu, perawatan yang buruk dapat memperburuk efisiensi motor karena umur motor dan operasi yang tidak handal.

---

<sup>9</sup> Linsley, Trevor.2004 Instalasi Listrik Tingkat Lanjut. Jakarta. Hal:124

Sebagai contoh, pelumasan yang tidak benar dapat menyebabkan meningkatnya gesekan pada motor dan penggerak transmisi peralatan. Kehilangan resistansi pada motor, yang meningkat dengan kenaikan suhu. Kondisi ambient dapat juga memiliki pengaruh yang merusak pada kinerja motor.

Sebagai contoh, suhu ekstrim, kadar debu yang tinggi, atmosfir yang korosif, dan kelembaban dapat merusak sifat-sifat bahan isolasi, tekanan mekanis karena siklus pembebanan dapat mengakibatkan kesalahan pengabungan.

Perawatan yang tepat diperlukan untuk menjaga kinerja motor. Sebuah daftar periksa praktek. Perawatan yang baik akan meliputi :

- Pemeriksaan motor secara teratur untuk pemakaian bearings dan rumahnya (untuk mengurangi kehilangan karena gesekan) dan untuk kotoran/debu pada saluran ventilasi motor (untuk menjamin pendingin motor).
- Pemeriksaan kondisi beban untuk meyakinkan bahwa motor tidak kelebihan atau kekurangan beban. Perubahan pada beban motor dari pengujian terakhir mengindikasikan suatu perubahan pada beban yang digerakan, penyebabnya yang harus diketahui
- Pemberian pelumas secara teratur. Pihak pembuat biasanya member rekomendasi untuk cara dan waktu pelumas motor. Pelumasan yang tidak cukup dapat menimbulkan masalah, seperti yang telah diterangkan diatas. Pelumasan yang berlebihan dapat juga menimbulkan masalah, misalnya minyak atau gemuk yang berlebihan dari bearing motor dapat masuk ke motor dan menjenuhkan bahan isolasi motor, menyebabkan kegagalan dini atau mengakibatkan resiko kebakaran.
- Pemeriksaan secara berkala untuk sambungan motor yang benar dan peralatan yang digerakan. Sambungan yang tidak benar dapat mengakibatkan sumbu as dan bearing lebih cepat aus, mengakibatkan kerusakan terhadap motor dan peralatan yang digerakkan.

- Dipastikan bahwa kawat pemasok, ukuran kotak terminal dan pemasangannya yang benar.
- Sambungan-sambungan pada motor dan starter harus diperiksa untuk meyakinkan kebersihan dan kekencangannya.
- Penyediaan ventilasi yang cukup dan menjaga agar saluran pendingin motor bersih untuk membantu penghilang panas untuk mengurangi kehilangan yang berlebihan. Umur isolasi pada motor akan lebih lama, untuk setiap kenaikan suhu operasi motor 10 C diatas suhu puncak yang direkomendasikan, waktu penggulung ulang akan lebih cepat, diperkirakan separuhnya.