



---

---

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Definisi Motor Induksi 3 Phasa

Secara umum Motor induksi berfungsi mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang berupa tenaga putar. Dari berbagai motor listrik yang ada, motor induksi merupakan motor arus bolak-balik (AC) yang paling banyak digunakan. Hal ini disebabkan karena konstruksinya yang sederhana, kuat, dan harganya relatif murah. Motor induksi terdiri dari dua bagian yang sangat penting yaitu bagian stator atau bagian yang diam dan rotor atau bagian yang berputar. Oleh sebab itu, stator kadang dianggap sebagai Primer dan rotor dianggap sebagai sekunder motor. Pada umumnya motor induksi terbagi menjadi dua macam jenis berdasarkan jumlah fasa yang digunakan, yaitu : motor induksi satu fasa dan motor induksi tiga fasa. Disebut motor tiga fasa karena untuk menghasilkan tenaga mekanik tegangan yang dimasukkan pada rotor tersebut adalah tegangan tiga fasa.

Motor Induksi tiga fasa yang dipakai di kalangan industri mempunyai beberapa kelebihan dan kekurangan.

Kelebihan motor induksi :

- a. Sangat sederhana dan daya tahan kuat ( konstruksi hampir tidak pernah terjadi kerusakan, khususnya tipe sangkar tupai).
- b. Harga lebih murah dibandingkan dengan jenis motor yang lainnya.
- c. Efisiensi tinggi. Pada kondisi berputar normal, tidak dibutuhkan sikat dan karenanya rugi daya yang diakibatkan dapat dikurangi.
- d. Tidak memerlukan starting tambahan dan tidak harus sinkron.
- e. Perawatan pada motor yang lebih mudah.



Kekurangan motor induksi :

- a. Kecepatan tidak dapat berubah tanpa pengorbanan efisiensi.
- b. Tidak seperti motor DC atau motor shunt, kecepatannya menurun seiring dengan tambahan beban.
- c. Kopel awal mutunya rendah jika dibandingkan dengan motor DC shunt.<sup>4</sup>

## 2.2 Klasifikasi Motor Induksi

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

### A. Berdasarkan Prinsip Kerja

1. Motor Sinkron.
  - Biasa ( tanpa slip ring )
  - Super ( dengan slip ring )
2. Motor Asinkron
  - Motor Induksi ( Squirrel Cage rotor & winding rotor )

### B. Berdasarkan Macam Arus

Motor induksi dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama, yaitu :

1. Motor induksi satu fasa. 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.
2. Motor induksi tiga fasa. Medan magnet yang berputar dihasilkan oleh pasokan tiga fasa yang seimbang. Motor tersebut memiliki kemampuan daya yang tinggi dan penyalan sendiri.

---

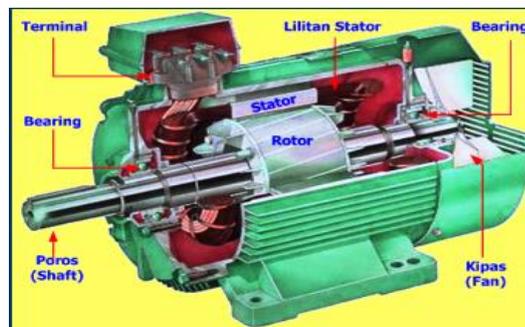
<sup>4</sup> Yon Rijono, *Dasar Teknik Tenaga Listrik*. (Yogyakarta : Andi, 1997), Hal . 310.

### C. Berdasarkan kecepatan

1. Kecepatan konstan
2. Kecepatan berubah
3. Kecepatan diatur<sup>4</sup>

### 2.3 Konstruksi Motor Induksi Tiga Fasa

Konstruksi motor induksi secara detail terdiri dua bagian, yaitu: bagian stator dan bagian rotor dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Bentuk Fisik Motor Induksi.<sup>5</sup>

Pada dasarnya motor induksi terdiri dari suatu bagian yang tidak berputar (stator) dan bagian yang bergerak memutar (rotor). Stator adalah bagian motor yang diam yang terdiri dari badan motor, inti stator, belitan stator, bearing dan terminal box. Pada bagian stator terdapat beberapa slot yang merupakan tempat kawat (*Konduktor*) dari tiga kumparan tiga fasa yang disebut kumparan stator, yang masing-masing kumparan mendapatkan suplai arus tiga fasa. 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

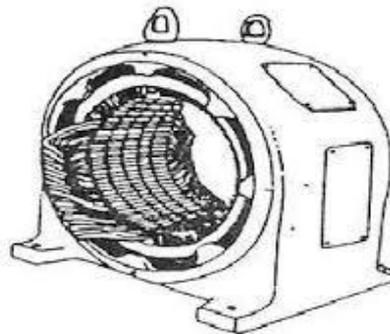
<sup>4</sup> Yon Rijono, *Dasar Teknik Tenaga Listrik*. (Yogyakarta : Andi, 1997), Hal. 309.

<sup>5</sup> Prih Sumardjati dkk, *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik*. (Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, 2008), Hal . 408.

sikat arang, selain itu juga konstruksi motor induksi lebih sederhana dibandingkan dengan motor DC, dikarenakan tidak ada komutator dan sikat arang sehingga pemeliharaan motor induksi sangat mudah yaitu dibagian mekaniknya saja, dan konstruksinya juga begitu sederhana serta motor induksi sangat handal dan jarang sekali rusak secara elektrik. Bagian motor induksi yang perlu dipelihara rutin adalah pelumas bearing, dan pemeriksaan kekencangan baut-baut kabel pada terminal box apabila terjadi kondor atau lepas akibat pengaruh getaran secara terus menerus.

### 2.3.1 Stator (Bagian Motor Yang Diam)

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.



Gambar 2.2 Stator Motor Induksi 3 Fasa<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Zuhail dan Zhanggischan, *Prinsip Dasar Elektroteknik*. (Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama, 2004), Hal. 686.



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

1. Rangka ( Frame )

Fungsi utama dari rangka adalah sebagai tempat mengalirnya fluks magnet, karena itu rangka mesin dibuat dari bahan ferromagnetik. Selain itu rangka berfungsi untuk meletakkan alat-alat tertentu dan melindungi bagian-bagian mesin lainnya. Mesin – mesin yang kecil dibuat dari besi tuang, sedangkan mesin-mesin yang besar rangkanya dibuat 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 dibuat dari bahan ferromagnetik, misalnya campuran baja-silikon. Di samping itu kutub magnet dibuat 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 sebagai penghubung untuk aliran arus dari lilitan jangkar ke terminal luar (generator) ke lilitan jangkar (Motor). Karena itu sikat-sikat dibuat dari bahan konduktor. Di samping itu sikat juga berfungsi untuk terjadinya komutasi bersama-sama 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 perpegas yang dapat diatur.



#### 4. Komutator

Seperti diketahui komutator berfungsi sebagai alat penyearah mekanik, yang bersama-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 silinder, 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.

#### 5. Jangkar

Jangkar umum digunakan dalam mesin arus searah adalah yang berbentuk silinder, yang diberi alur pada bagian permukaannya untuk melilitkan kumparan-kumparan tempat terbentuknya Ggl imbas. Jangkar dibuat dari bahan yang kuat yang mempunyai sifat ferromagnetik dengan permeabilitas yang cukup besar, dengan maksud agar kumparan lilitan jangkar terletak dalam daerah yang imbas magnetnya besar sehingga ggl yang terbentuk dapat bertambah besar.

### 2.3.2 Rotor (Bagian Motor Yang Bergerak )

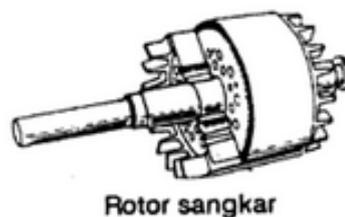
Berdasarkan hukum Faraday tentang imbas magnet, maka medan putar yang secara relative merupakan medan magnet yang bergerak terhadap penghantar rotor akan mengimbaskan gaya gerak listrik (ggl). Frekuensi imbas ggl ini sama dengan frekuensi jala-jala (sumber). Besarnya ggl imbas ini berbanding lurus dengan 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.

Berdasarkan bentuk rotornya, motor induksi terbagi menjadi 2 bagian. Salah satunya, yaitu :

### 2.3.2.1 Rotor Sangkar

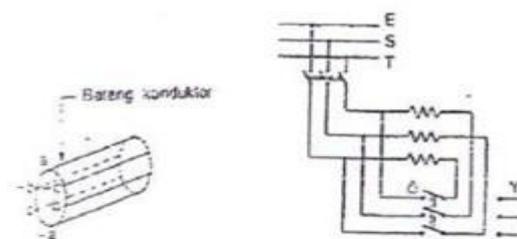
Motor induksi rotor sangkar memiliki konstruksi yang sangat sederhana, dimana rotornya dari inti berlapis dengan konduktor dipasang paralel atau kira-kira paralel dengan poros yang mengelilingi permukaan inti. Konduktornya tidak terisolasi dari inti, karena arus rotor secara ilmiah akan mengalir melalui tahanan yang paling kecil dari konduktor rotor. Batang rotor dan cincin ujung sangkar yang lebih kecil adalah tembaga atau alumunium dalam satu lempeng dengan inti rotor. Dalam motor yang lebih besar, batang rotor tidak dicor melainkan dibenamkan dalam alur kemudian dilas dan ditempatkan paralel terhadap poros motor tetapi kerap kali dimiringkan. Hal ini akan menghasilkan torsi yang lebih seragam dan juga mengurangi dengung magnetik sewaktu motor sedang berputar.



Gambar 2.3 Rotor Sangkar Motor Induksi 3 Fasa<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Zuhail dan Zhanggischan, *Prinsip Dasar Elektroteknik*. (Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama, 2004), Hal. 686.

Motor induksi jenis ini mempunyai rotor dengan kumparan yang terdiri dari beberapa batang konduktor yang disusun sedemikian rupa sehingga menyerupai sangkar tupai yang terlihat pada gambar 2.3, rotor jenis ini sangat sederhana jika dibandingkan dengan rotor pada jenis motor listrik lainnya. Dengan demikian harganya pun relatif lebih murah dibandingkan dengan harga motor listrik jenis lainnya, namun demikian pada motor ini tidak mungkin diberikan pengaturan tahanan luar seperti pada motor induksi rotor belit. Untuk membatasi arus start yang besar, tegangan sumber harus dikurangi dan biasanya digunakan autotransformator atau saklar Y dan  $\Delta$ . Tetapi berkurangnya arus start akan mengakibatkan berkurangnya kopel mula, untuk mengatasi ini digunakan rotor jenis sangkar ganda.



Gambar 2.4 Konstruksi Rotor Sangkar<sup>6</sup>

## 2.4 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 timbulah medan putar dengan kecepatan dapat dilihat pada persamaan:

$$n_s = \frac{120f}{p} \dots\dots\dots (2.1)$$

<sup>6</sup> Zuhail dan Zhanggischan, *Prinsip Dasar Elektroteknik*. (Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama, 2004), Hal. 701.



2. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor.
  3. Akibatnya pada kumparan rotor timbul ( GGL ) sebesar :
- $$E_2 = 4,44.f_2.N_2.m..... (2.2)$$
4. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup, ggl (E) akan menghasilkan arus (I).
  5. Adanya arus didalam medan magnet menimbulkan gaya pada motor.
  6. Bila kopel mula dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.
  7. Seperti yang dijelaskan pada point (3) 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 ( $n_s$ ) dengan kecepatan berputar rotor ( $n_r$ ).

8. Perbedaan kecepatan antara  $n_r$  dan  $n_s$  disebut slip (s) dinyatakan dengan :

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% .....(2.3)$$

Keterangan :

- S = slip %
- $n_r$  = kecepatan putar
- $n_s$  = kecepatan sinkron

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.<sup>6</sup>

Kecepatan medan putar stator ini sering disebut kecepatan sinkron, tidak dapat diamati dengan alat ukur tetapi dapat dihitung secara teoritis yaitu dengan menggunakan rumus :

$$n_s = \frac{f \times 120}{p} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

$n_s$  = Kecepatan putaran medan stator (Rpm)

$f$  = Frekuensi jala-jala (Hz)

120 = Konstanta

$P$  = Jumlah kutub pada motor (pole)

### 2.5 Pemeliharaan Motor

Sesuai dengan namanya, mesin listrik berputar dimanfaatkan karena putaran yang dihasilkannya. Meskipun demikian dalam operasi putarannya, kadang-kadang terjadi hal-hal lain yang kurang menguntungkan. Motor kipas selain berfungsi untuk proses pendinginan juga akan mendorong partike-partikel debu yang terkandung di dalam udara sekitarnya ke dalam motor. Bantalan motor kering dan kekurangan pelumas karena terlalu kering dan lamanya motor dioperasikan, peregangannya pada sabuk penggerak serta minyak pelumas dan gemuk pelumas memerlukan penggantian-penggantian yang rutin dan berkala. Motor-motor induksi seringkali dioperasikan pada kondisi lingkungan yang kotor dan berdebu atau lingkungan yang bersifat korosif untuk waktu yang sangat lama, bahkan dapat

---

<sup>6</sup> Zuhail dan Zhanggischan, *Prinsip Dasar Elektroteknik*. (Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama, 2004), Hal. 690.



mencapai waktu operasi yang bertahun-tahun. Oleh karenanya jika diinginkan agar operasi motor dapat memberikan hasil yang baik dan handal, harus dipilih motor yang tepat sesuai fungsi dan kondisi lingkungannya serta dilakukan pemeliharaan berkala.

Konstruksi rotor yang sangat kuat dan kokoh dari motor induksi rotor sangkar membuat jenis ini tidak mudah untuk mengalami kerusakan fisik. Disamping itu motor ini tidak memiliki sikat dan cincin slip karena tidak terdapat hubungan antara rotor dengan rangkaian listrik luar. Dengan karakteristik ini, motor induksi rotor sangkar digunakan secara luas dalam aplikasi industri karena dapat memberikan kehandalan yang maksimum dengan pemeliharaan minimum. Satu-satunya pemeliharaan yang perlu untuk motor arus bolak-balik ini adalah pelumasan berkala sesuai rekomendasi dari pabriknya.

Dalam kondisi bekerja, motor akan bergetar sehingga harus dilakukan pemeriksaan terhadap baut-baut pasangan dan hubungan-hubungan rangkaian motor. Untuk motor yang terhubung ke beban melalui sebuah sabuk puli, pasangan motor harus diatur melalui rel gesernya sehingga diperoleh kelenturan sabuk yang berkisar 10 mm.

Perencanaan pekerjaan pemeliharaan yang dilakukan dengan baik dan berdasarkan atas pemikiran jangka panjang yang disertai dengan pencatatan untuk setiap pekerjaan pemeliharaan yang dilakukan akan memberikan keuntungan berupa:

1. Pemeliharaan dapat dilakukan pada saat-saat yang diperlukan;
2. Pemeliharaan ringan dan sederhana yang dilakukan secara rutin dan berkala akan berakibat pada semakin berkurangnya pemeliharaan-pemeliharaan berat dan darurat yang perlu dijalankan;
3. Pemeliharaan rutin dan pengaturan kembali motor-motor yang digunakan agar sesuai dengan ketentuan dapat menjaga agar motor selalu bekerja pada



efisiensi puncaknya.

Hasil dari pemeliharaan yang terencana adalah semakin berkurangnya kerusakan yang terjadi, sehingga dapat menghindari kehilangan waktu produksi. Oleh karena itu, pemeliharaan yang terencana harus merupakan pertimbangan utama dan penting bagi seorang operator mesin terutama yang terkait dengan sektor industri ataupun komersial.<sup>2</sup>

### 2.6 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 :

$$P_{in} = P_{out} + P_{rugi-rugi} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana

$P_{in}$  : Total daya yang diterima motor.

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

$P_{rugi-rugi}$  : Total kerugian daya yang dihasilkam 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.

---

<sup>2</sup> Trevor Linsley, *Instalasi Listrik Tingkat Lanjut*. (Jakarta : Erlangga, 2004), Hal. 155.



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

$$\begin{aligned} Efisiensi &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.6) \\ &= \frac{P_{in} - P_{rugi-rugi}}{P_{in}} \times 100\% \end{aligned}$$

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.

**Tabel 2.1 jenis rugi - rugi motor induksi 3 phasa**

Jenis Rugi - rugi	Persentase rugi - rugi total (%)
Rugi - rugi tetap atau rugi - rugi inti	25
Rugi - rugi variabel: rugi - rugi pada stator	34
Rugi - rugi variabel: rugi - rugi pada rotor	21
Rugi - rugi gesekan	15
Rugi - rugi beban menyimpang ( <i>stray load</i> )	5

**2.6.1 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 daripada *fluks* dan kecepatan motor. Pada umumnya rugi - rugi inti berkisar antara 20 - 25% dari total kerugian daya motor pada keadaan nominal.

### 2.6.2 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 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 masuk akal tetapi tidak sepenuhnya tepat seperti halnya 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.

$$P_m = P_{\text{rugi-rugi}} \times 0.15 \dots\dots\dots (2.7)$$

### 2.6.3 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

$$P_b = P_{\text{rugi-rugi}} \times 0.55 \dots\dots\dots (2.8)$$

**2.6.4 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 pertambahan 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 apabila beban meningkat ( berbanding kuadrat dengan arus beban ).

**Tabel 2.2 persentase rugi - rugi *stray load***

<i>Machine Rating KW</i>	<i>Stray Load Loss Percent of Rated Load</i>
1 – 90	1.8%
91 – 375	1.5%
376 – 1850	1.2%
1851 and greater	0.9%



Pada umumnya kerugian ini berkisar 1 - 5% dari total kerugian daya motor pada keadaan beban nominal.

$$P_s = P_{\text{rugi-rugi}} \times 0,05 \dots\dots\dots (2.9)$$

### 2.6.5 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 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>3</sup>

### 2.7 Efisiensi

Efisiensi pada motor adalah Perbandingan dari besarnya daya keluaran terhadap daya masukan dikenal sebagai efisiensi mesin yang disimbolkan dengan huruf latin ‘eta’ atau  $\eta$ . Jadi

$$\eta = P_{out}/P_{in} \dots\dots\dots (2.10)$$

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

$$\eta = P_{out}/P_{in} \times 100\% \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana :

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

Rugi-rugi motor terdiri dari rugi-rugi variabel. Rugi rugi konstan dianggap tidak berubah dari beban nol hingga beban penuh. Rugi-rugi variabel tergantung pada beban motor, berbading kuadrat dengan arus beban. Motor berefisiensi rendah ketika beban rendah, karena kerugian daya relative besar dibandingkan dengan daya output pada beban yang besar, kerugian daya menjadi relative kecil terhadap daya output.

<sup>3</sup> Adna Bagus Naesa, *Analisa Efisiensi Motor Induksi 3 Phasa GB 304 45 KW Pada Blower Cooling Tower di PT. Pupuk Sriwidjaja*. Politeknik Negeri Sriwijaya. Palembang, 2017, Hal. 17 dan 18.



Efisiensi motor tidak distandarisasi, masing-masing pabrik pembuatan motor memproduksi motor-motor dengan harga efisiensi yang sesuai dengan pertimbangan aspek ekonomis dan teknis atau dengan kata lain umumnya mempunyai data efisiensi yang berbeda-beda untuk ukuran dan tipe yang sama tetapi berlainan pabrik pembuatannya. Selain itu efisiensi motor juga berbeda apabila kapasitasnya berbeda, makin besar kapasitas motor semakin tinggi efisiensinya.

Perubahan kecepatan pada motor juga akan mempengaruhi nilai efisiensinya, semakin tinggi kecepatan (mendekati slip = 0), semakin tinggi efisiensinya. Perubahan kecepatan dari slip S1 ke slip S2 mengakibatkan efisiensi berubah dari suatu harga efisiensi ke harga lain.

## 2.8 Pengertian Daya

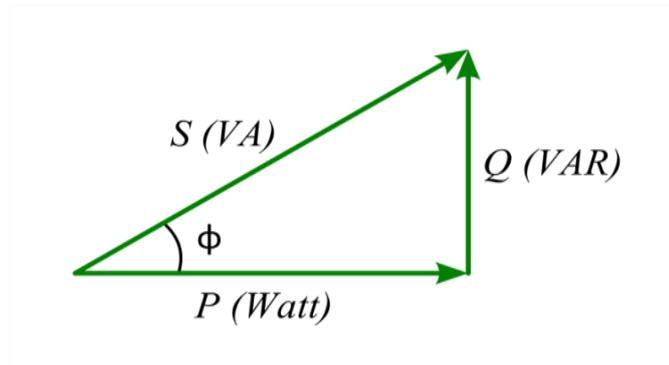
Daya dalam tegangan AC pada setiap saat sama dengan perkalian dari harga arus dan tegangan pada saat itu. Jika arus dan tegangan bolak - balik satu fasa, maka daya dalam satu periode sama dengan perkalian dari arus dan tegangan efektif. Tetapi jika ada reaktansi dalam rangkaian arus dan tegangan tidak satu fasa sehingga selama siklusnya biasa terjadi arus negatif dan tegangan positif. Secara teoritis daya terdiri dari tiga yaitu daya efektif, daya reaktif dan daya semu yang pengertiannya adalah sebagai berikut :

**2.8.1** Daya nyata ( P ) adalah daya yang diubah menjadi energi, persatuan waktu atau dengan kata lain daya aktif adalah daya yang benar - benar terpakai yang dihasilkan oleh komponen resistif, satuannya adalah watt ( W ).

**2.8.2** Daya reaktif ( Q ) adalah daya yang ditimbulkan oleh komponen reaktansi. Daya reaktif ditimbulkan dari reaktansi yang menimbulkannya, dapat berupa reaktansi induktif (  $X_L$  ) dan reaktansi kapasitif (  $X_C$  ), satuannya adalah Volt Ampere Reaktif ( VAR ).

**2.8.3** Daya semua (  $S$  ) adalah jumlah secara vektoris daya aktif dan daya reaktif yang memiliki satuan volt ampere (  $VA$  ).

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar sistem segitiga daya dibawah ini :



Gambar 2.5 Sistem segitiga daya<sup>7</sup>

Dimana :

$$P = V \cdot I \cdot \cos\theta \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

$$Q = V \cdot I \cdot \sin\theta \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

$$S = V \cdot I \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

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

$$P = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos\theta \quad \dots\dots\dots (2.15)$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \sin\theta \quad \dots\dots\dots (2.16)$$

$$S = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \quad \dots\dots\dots (2.17)$$

<sup>7</sup> <https://mastermepengineering.wordpress.com/2015/03/27/segitiga-daya/> (diakses pada 3 Juli 2019, pukul 21.06)

## 2.9 Kipas atau *Fan*

Kipas atau *fan* adalah alat yang berfungsi untuk menghasilkan aliran pada fluida gas seperti udara. Sistem *fan* penting untuk menjaga pekerjaan proses industri, dan terdiri dari *fan*, motor listrik, sistem penggerak, saluran atau pemipaan, peralatan pengendali aliran, dan peralatan penyejuk udara (filter, kumparan pendingin, penukaran panas, dll). Kipas memiliki fungsi yang berbeda dengan kompresor sekalipun media kerjanya sama, dimana kipas menghasilkan aliran fluida dengan debit aliran yang besar pada tekanan rendah, sedangkan kompresor menghasilkan debit aliran yang rendah namun tekanan kerja yang tinggi.

Kipas atau *fan* adalah piranti yang menyebabkan aliran suatu fluida gas dengan cara menciptakan sebuah beda tekanan melalui pertukaran momentum dari bilah *fan* ke partikel – partikel fluida gas. Impeler *fan* mengubah energi mekanik rotasional menjadi energi kinetik dan statik dalam fluida gas. Pembagian energi mekanik menjadi energi kinetik dan statik yang diciptakan dan efisiensi energi bergantung pada jenis bilah *fan* yang dirancang.

### 2.9.1 Jenis – jenis Kipas atau *Fan*

Terdapat dua jenis kipas atau *fan*. Kipas atau *fan* sentrifugal menggunakan impeler berputar untuk menggunakan aliran udara sedangkan Kipas atau *fan* aksial menggerakkan aliran udara sepanjang sumbu *fan*.

#### A. Kipas atau *Fan* Sentrifugal



Gambar 2.6 Kipas Sentrifugal

Kipas sentrifugal ini menggunakan prinsip gaya sentrifugal untuk membangkitkan aliran fluida gas. Mirip dengan pompa sentrifugal, udara masuk melalui sisi inlet yang berada di pusat putaran kipas sentrifugal tersebut, lalu terdorong menjauhi poros kipas akibat gaya sentrifugal dari sudut-sudut kipas yang berputar. Pada debit aliran yang sama, kipas sentrifugal menghasilkan tekanan udara outlet yang lebih besar dibandingkan dengan kipas aksial. Pada dunia industri kipas ini sering diberi istilah *blower*.

### B. Kipas atau *Fan* Aksial



Gambar 2.7 Kipas Aksial

Sesuai dengan namanya, *Axial Fan* menghasilkan aliran fluida gas dengan arah yang searah dengan poros kerja kipas tersebut. Kipas tipe ini adalah yang paling banyak penggunaannya di kehidupan sekitar kita. Hal tersebut tidak terlepas dari kemudahan desain serta harga yang lebih ekonomis jika dibandingkan dengan kipas sentrifugal. Karena desainnya yang tidak terlalu rumit serta dapat menghasilkan *flow* yang besar, kipas ini banyak digunakan sebagai alat pendingin pada berbagai keperluan.



### 2.9.2 Kelebihan dan Kekurangan Kipas atau *Fan*

Kipas atau *fan* mempunyai kelebihan dan kekurangan diantaranya yaitu:

Kelebihan Kipas atau *fan* :

1. Menghasilkan aliran udara dengan tekanan yang rendah.
2. Menghasilkan volume yang lebih besar.
3. Jumlah putaran tinggi sehingga memungkinkan digerakkan langsung oleh motor listrik atau turbin.

Kekurangan Kipas atau *fan* :

1. Dalam pelaksanaan normal tidak dapat menghisap sendiri.
2. Randemen rendah terutama untuk aliran volume yang kecil dan daya dorong yang tinggi.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Devi Damayanti, *Analisa Efisiensi Motor GB 601 B Sebagai Penggerak Kipas Pada Cooling Tower di PT. Pupuk Sriwidjaja*. Politeknik Negeri Sriwijaya. Palembang, 2018, Hal. 25, 26 dan 27.