



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Motor Induksi

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 dan bagian yang bergerak. 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 digunakan di Industri mempunyai daya keluaran lebih besar dari 1 HP dan menggunakan motor Induksi Tiga Fasa. Adapun kelebihan dan kekurangan motor induksi bila dibandingkan dengan jenis motor lainnya, adalah:

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.

Kekurangan motor induksi:

1. Putarannya sulit diatur.
2. *Power factor* rendah pada beban ringan dan arus asut yang cukup tinggi
3. Arus asut yang cukup tinggi, berkisar antara 5-6 kali arus nominal motor.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Prih Sumardjati, dkk., Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3 Hal. 408.

## 2.2 Klasifikasi Motor Induksi

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

### 2.2.1 Berdasarkan Prinsip Kerja

Berdasarkan prinsip kerja motor induksi dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok yaitu, pertama motor sinkron biasa , Kedua motor asinkron yaitu motor induksi (*squirrel cage & slip ring*) .

#### 1. Motor Sinkron

Motor Sinkron adalah mesin sinkron yang digunakan untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Mesin sinkron mempunyai kumparan jangkar pada stator dan kumparan medan pada rotor. Kumparan jangkarnya berbentuk sama dengan mesin induksi, sedangkan kumparan medan mesin sinkron dapat berbentuk kutub sepatu (*salient*) atau kutub dengan celah udara sama rata (*rotor silinder*). Arus searah (DC) untuk menghasilkan fluks pada kumparan medan dialirkan ke rotor melalui cincin dan sikat. Jadi konstruksi motor sinkron ini adalah sama dengan generator sinkron, bedanya hanya bahwa generator sinkron rotornya diputar untuk menghasilkan tegangan, sedangkan motor sinkron statornya diberi tegangan agar rotornya berputar.

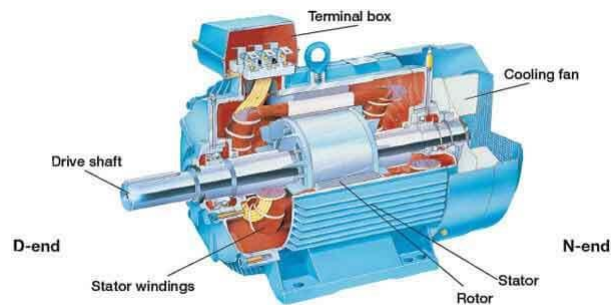


**Gambar 2.1 Motor Sinkron**

#### 2. Motor Asinkron

Motor induksi atau motor asinkron merupakan mesin listrik yang berfungsi mengkonversi energi listrik menjadi energi gerak berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Pada motor induksi terdapat slip antara putaran medan stator dan

medan rotor, arus yang dihasilkan di rotor terjadi akibat induksi antara putaran rotor dengan medan putar yang dihasilkan oleh stator. Terdapat berbagai macam motor induksi yang digunakan pada industri - industri salah satunya yaitu motor induksi tiga fasa tipe sangkar tupai (*squirrel cage*) dan motor induksi tipe rotor lilit (*slip ring*).



**Gambar 2.2 Motor Asinkron**

### 2.2.2 Berdasarkan Macam Arus<sup>2</sup>

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

#### 1. Motor satu fasa

Secara umum mesin induksi 1-fasa terdiri dari dua kumparan, yaitu kumparan utama dan kumparan bantu. Kumparan utama akan mengalirkan arus yang mempunyai fasa sama dengan arus *input* nya, sedangkan kumparan bantu dapat dilakukan dengan dengan beberapa cara. Berdasarkan cara menggeser fasa ini, kumparan bantu mesin induksi 1 fasa dapat dibedakan menjadi mesin induksi *split phase*, mesin induksi *capacitor starting*, dan mesin induksi *capacitor running*.

#### 2. Motor tiga fasa

Pada mesin induksi 3 fasa, kumparan stator terdiri dari 3 fasa. Berdasarkan cara menghubungkan kumparan-kumparan stator ini, maka mesin induksi 3 fasa dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu mesin induksi 3 fasa hubungan Y atau bintang dan mesin induksi 3 fasa hubungan  $\Delta$ . Kumparan stator merupakan bagian mesin induksi yang berfungsi membangkitkan medan magnet. Setiap kumparan

<sup>2</sup> Refindal Nazir 2017, Teori & Aplikasi Motor Dan Generator induksi. Bandung, ITB Bandung. hal. 22-23

stator dibangun oleh beberapa lilitan. Lilitan dari kumparan stator dibentuk oleh kawat konduktor yang umumnya menggunakan bahan dari tembaga murni. Batang-batang konduktor ditanam pada slot, yang merupakan bagian dari tumpuan kumparan stator.

### 2.2.3 Berdasarkan Kecepatan<sup>3</sup>

#### 1. Kecepatan Konstan

Kecepatan konstan pada motor induksi dengan lilitan kecepatan banyak cocok untuk pemakaian yang memerlukan kecepatan sampai dengan empat kecepatan yang berbeda. Kecepatan ini dipilih dengan menghubungkan lilitan pada konfigurasi yang berbeda dan sangat konstan pada tiap-tiap penyetelan. Motor kecepatan banyak ada dua jenis kecepatan yang utama, yaitu: motor 11 lilitan terpisah dan motor berurutan.

#### 2. Kecepatan Variabel

Kecepatan variabel digunakan untuk menyediakan kontrol kecepatan dengan proses rentang. Penggerak kecepatan variabel dapat ditunjuk dengan variasi misalnya: penggerak kecepatan yang dapat diatur, penggerak frekuensi yang dapat diatur, dan inverter frekuensi variabel. Penggerak kecepatan variabel dengan listrik adalah sistem listrik yang disusun dari motor, pengontrol operator (manual atau otomatis). Alat ini mampu mengatur kecepatan maupun torsi dari motor, pengontrol penggerak, dan pengontrol operator (manual atau otomatis).

#### 3. Kecepatan Diatur

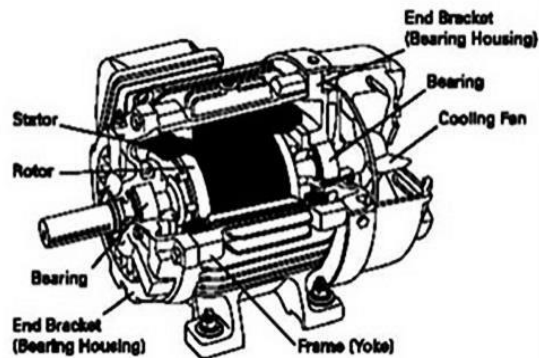
Kecepatan diatur atau Pengatur kecepatan adalah ukuran numerik, dalam persen, mengenai seberapa akurat kecepatan motor dapat dipertahankan. Ini adalah persentase perubahan pada kecepatan antara beban penuh dan tanpa beban. Kemampuan penggerak mengoperasikan motor pada kecepatan antara beban penuh konstan.

---

<sup>3</sup> Af Alan Fadianto. 2019. *Rancang bangun mesin pemotong elektrik*. Diakses pada tanggal 29 Juni 2022. <http://repository.unim.ac.id/182/>

### 2.3 Konstruksi Motor Induksi 3 fasa

Konstruksi motor induksi secara detail terdiri dua bagian, yaitu: bagian stator dan bagian rotor. Dapat di lihat pada Gambar 2.3 dibawah ini.



**Gambar 2.3. Motor Induksi 3 fasa**

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, , 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 mekaniknya 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 kondor atau lepas akibat pengaruh getaran secara terus menerus. <sup>4</sup>

#### 2.3.1 Stator

Stator merupakan bagian yang diam dari mesin induksi. Peranan utama bagian ini adalah menghasilkan medan magnet dalam rangka membangkitkan medan putar. Pada umumnya bagian stator terdapat beberapa slot yang

<sup>4</sup> Siswoyo, Teknik Listrik Industri (Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, 2008). Hal. 5-7.

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 2.4 Stator pada motor**

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 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 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 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 per/pegas yang dapat di atur 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.

### 4. Jangkar

Jangkar yang 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.

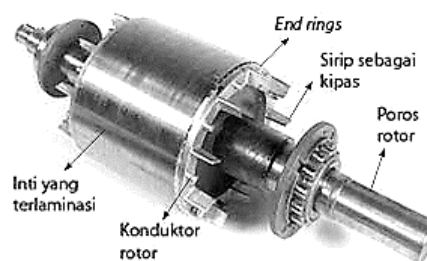
### 2.3.2 Rotor

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 fluks 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 Induksi Rotor Sangkar

Motor induksi jenis rotor sangkar ini mempunyai rotor dengan kumparan yang terdiri dari beberapa batang konduktor yang disusun sedemikian rupa menyerupai sangkar tupai. Konstruksi rotor seperti ini sangat sederhana bila dibandingkan dengan rotor mesin listrik lainnya. Rotor berbentuk sangkar, berupa batang konduktor yang dipasang miring terhadap sumbu as dan dihubungkan singkatkan pada kedua ujungnya dengan ring agar terjadi aliran arus pada kumparan rotor seperti pada gambar 2.2 dibawah ini<sup>5</sup>



**Gambar 2.5 Motor Rotor Sangkar**

<sup>5</sup> Yakob Liklikwatil, Yogyakarta, 2014. Mesin-mesin listrik D3, Hal : 87-88

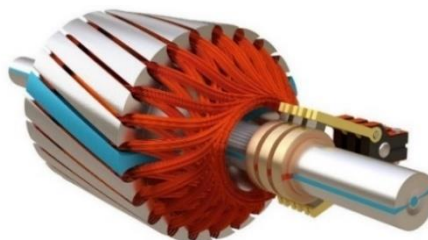


Karena konstruksinya yang demikian, padanya tidak mungkin diberikan pengaturan tahanan luar seperti pada motor induksi jenis rotor belitan , untuk membatasi arus mula yang besar, tegangan sumber harus dikurangi dan biasanya digunakan oto trasformator atau saklar  $Y - \Delta$  Tetapi berkurangnya kopel pula. Untuk mengatasi hal tersebut dapat diatasi dengan menggunakan rotor sangkar ganda.

## 2. Motor Rotor Lilit.

Motor Induksi jenis belitan mempunyai rotor dengan belitan kumparan tiga fasa sama seperti stator. Kumparan stator dan rotor mempunyai jumlah kutub yang sama seperti kumparan stator. Kumparan stator dan rotor juga mempunyai jumlah kutub yang sama. Belitan kumparan tiga fasa yang ada pada rotor disambung ujung-ujung kumparan dihubungkan dengan tiga buagh cincin seret yang sama lainnya terisolasi atau slip ring.

Melalui sikat-sikat yang berasda diatas slip ring ini belitan rotor dapat dihubungkan dengan tahanan luar yang dihubung dengan belitan rotor, akan menyebabkan arus start motor lebih kecil dan juga kopel mula akan maksimum disamping itu dengan mengubah-rubah tahanan luar, kecepatan motor dapat diatur. Penambahan tahanan luar sampai harga tertentu, dapat membuat kopel mula mencapai harga kopel motor induksi maksimumnya. Kopel mula yang besar memang diperlukan pada waktu start, namun motor induksi rotor belitan jarang dipakai di industri saat ini, umumnya menggunakan motor induksi rotor sangkar.



**Gambar 2.6 Motor Rotor Lilit**



### 2.4 Prinsip Kerja Motor Induksi<sup>6</sup>

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

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

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

Dimana :

$E_2$  = Tegangan induksi pada saat rotor berputar (Volt)

$N_2$  = Putaran rotor (Rpm)

$f_2$  = Frekuensi rotor (Hz)

$\phi_m$  = Fluks Motor (Wb)

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

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

Dimana : S = Slip motor (%)

<sup>6</sup> Zuhail 1991. Dasar Tenaga Listrik. Jakarta, ITB, Bandung. Hal:68

$N_s$  = Medan putar stator (Rpm)

$N_r$  = Medan putar rotor (Rpm)

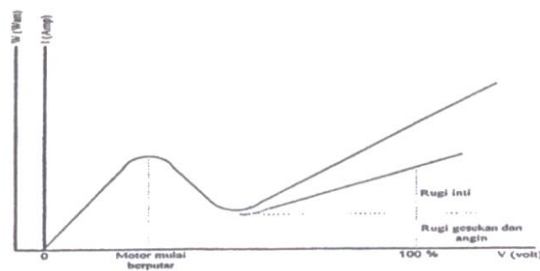
9. Bila  $N_r = N_s$ , tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak mengalir pada kumparan jangkar (rotor), dengan demikian tidak dihasilkan kopel. Kopel motor akan ditimbulkan apabila  $N_r$  lebih kecil dari  $N_s$ .
10. Dilihat dari cara kerjanya maka motor tak serempak disebut juga motor induksi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

## 2.5 Karakteristik Motor Induksi<sup>7</sup>

Secara umum motor induksi yang baik mempunyai standar bentuk karakteristik tertentu. Tiap-tiap motor mempunyai karakteristik sendiri-sendiri. Di bawah 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 ditunjukkan pada gambar, jadi putaran mendekati sinkron atau sama.

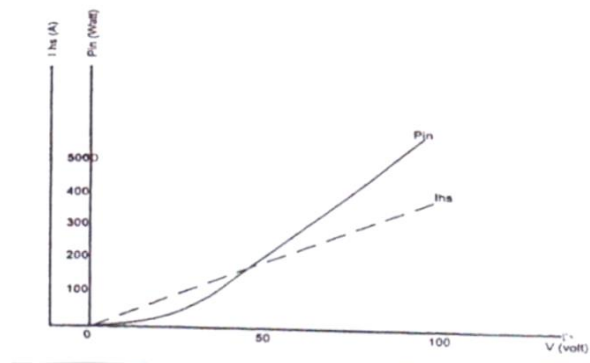


**Gambar 2.7 Karakteristik beban nol**

### b. Karakteristik Rotor yang diblok

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

<sup>7</sup> Gunawan, 2008. Efisiensi Motor Induksi 3 fasa pada Mesin Threshing di PT. Musi Banyuasin Indah. Politeknik Negeri Sriwijaya. Palembang. Hal :14

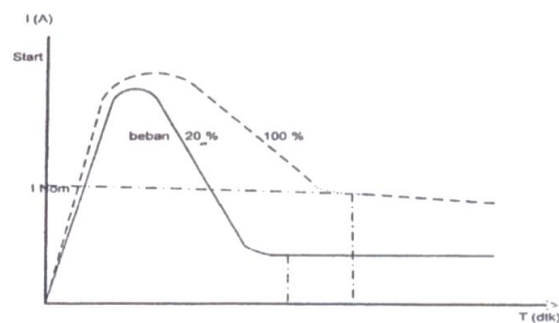


**Gambar 2.8 Karakteristik Rotor yang diblok**

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 di bawah berikut 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 *life time* dari motor.
2. Arus akhir ke motor lebih tinggi.
3. Putaran akhir motor akan lebih rendah.

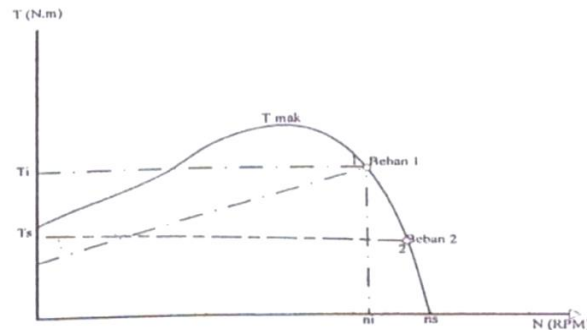


**Gambar 2.9 Karakteristik start**

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 di tunjukan pada gambar dibawah ini.



**Gambar 2.10 Karakteristik kopel dan putaran.**

## 2.6 Pengaman Motor Induksi

Seperti halnya dengan mesin listrik yang lain, motor induksi tidak lepas dari gangguan-gangguan yang dapat merusaknya. Gangguan-gangguan itu dapat datang dari luar motor ataupun dari kondisi buruk motor itu sendiri. Pengaman pada motor induksi bertugas mencegah kerusakan motor bila terjadi gangguan yang sering terjadi pada motor induksi yaitu:

- Gangguan arus lebih yang terdiri dari arus lebih hubung singkat dan arus beban lebih. Gangguan ini disebabkan oleh *overload* atau beban lebih.
- Gangguan tegangan kurang atau salah satu phasa hilang, gangguan ini sangat berbahaya sekali karena arus akan naik dengan cepat yang pada.
- akhirnya belitan motor akan terbakar bila tidak segera diatasi.

Gangguan dari komponen mekanis motor. Gangguan ini lebih bersifat pada gangguan *bearing* nya, kipas pendingin dan lain-lain, jika dibiarkan dalam waktu yang lama akan sangat berbahaya bagi motor tersebut.

## 2.7 Cara – Cara Menentukan Rugi-Rugi Pada Motor<sup>8</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

<sup>8</sup> Lister, Eugene, Mesin dan Rangkaian Listrik. Edisi Keenam, (Jakarta: Erlangga, 1988). Hal.227.



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 motor. 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 kumparan motor. Rugi-rugi *stray load* juga dapat ditentukan dengan anggapan kira-kira 1% dari daya output dengan kapasitas daya 90 KW atau lebih. Dan untuk motor-motor yang lebih kecil dari itu dapat diabaikan.

## 2.8 Rugi – Rugi Pada Motor Induksi

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 di bawah 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 :



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

Keterangan :

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

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

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

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

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

1. Belitan dalam motor yang dinamakan rugi-rugi listrik (rugi-rugi belitan)
2. Kerugian daya yang timbul langsung arena putaran motor, yang dinamakan rugi-rugi rotasi.

Rugi-rugi rotasi terbagi menjadi dua jenis yaitu :

- a. Rugi-rugi mekanis akibat putaran.
- b. Rugi-rugi inti besi akibat kecepatan putaran dan fluks medan.

Pada dasarnya untuk sebelum menentukan dasar rugi-rugi daya motor yaitu melakukan sebuah perhitungan dengan data yang didapat pada *nameplate* motor yaitu menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_{out} = \frac{P_{rated}}{\eta_{rated}} \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan :

$P_{rated}$  = Rating daya *nameplate* motor

$\eta_{rated}$  = Rating Efisiensi *nameplate* motor

Dari persamaan perhitungan menggunakan data *nameplate* pada motor yang akan digunakan untuk menghitung rugi variabel pada kumparan motor. Selanjutnya dilakukan perhitungan penentuan dasar rugi-rugi total pada motor

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

Keterangan :

$P_{out}$  = Hasil daya *output* dari *nameplate*

$P_{in}$  = Hasil daya *input* dari *nameplate*

<sup>9</sup>Efisiensi Motor ditentukan oleh rugi-rugi atau kehilangan dasar yang hanya dapat dikurangi oleh perubahan pada rancangan dasar motor dan kondisi sistem operasi. Rugi-rugi ini dapat bervariasi dari kurang lebih dua persen hingga 20 persen. Tabel 2.1 memperlihatkan jenis rugi-rugi atau kehilangan pada motor induksi.

**Tabel 2.1 Jenis Rugi Motor Induksi 3 Fasa (BEE India,2004)**

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

### 2.8.1 Rugi Daya Variabel

Rugi variabel adalah rugi yang disebabkan arus beban yang mengalir pada kumparan stator ataupun rotor. Karena arus beban bersifat berubah-ubah, rugi belitan juga tidak tergantung pada beban. Rugi variabel yaitu  $P_{cu} = I^2R$ .

#### 2.8.1.1 Rugi – rugi stator dan rotor

Adanya resistansi kumparan stator akan menyebabkan kerugian daya. Kerugian daya ini dalam bentuk disipasi panas pada motor dan dapat menaikkan suhu dari motor itu sendiri.

Besarnya rugi-rugi daya kumparan stator merupakan fungsi dari arus stator dan resistansi kumparan stator, yang diberikan oleh persamaan berikut ini.

$$P_{cu1} = 3 \cdot (I_s)^2 \cdot R_s \dots \dots \dots (2.6)$$

$$P_{cu1} = P_{rugi-rugi} \cdot 0,34 \dots \dots \dots (2.7)$$

<sup>9</sup> Zuriman Anthony 2019, Mesin Listrik Arus Bolak Balik. Yogyakarta, Hal: 123





Keterangan :

$P_{cu1}$  : Rugi-rugi daya kumparan stator

$I_s$  : Arus rotor

$R_s$  : Resistansi kumparan stator

Seperti pada halnya kumparan stator, pada kumparan rotor juga terjadi rugi-rugi daya, yang disebut rugi-rugi daya kumparan motor. Besarnya rugi-rugi daya ini diberikan pada persamaan berikut ini.

$$P_{cu2} = 3 \cdot (I_r)^2 \cdot R_r \dots \dots \dots (2.8)^{10}$$

$$P_{cu2} = P_{rugi-rugi} \cdot 0,21 \dots \dots \dots (2.9)$$

Keterangan:

$P_{cu2}$  : Rugi-rugi daya kumparan rotor

$I_r$  : Arus rotor

$R_r$  : Resistansi kumparan rotor

Dengan demikian rugi total dapat dihitung dengan persamaan

$$P_{cu} = P_{cu1} + P_{cu2} \dots \dots \dots (2.10)$$

Jumlah rugi-rugi total pada motor adalah:

$$P_{rugi\ total} = P_{variable\ loss} + P_{fixed\ loss} \dots \dots \dots (2.11)$$

Besarnya rugi-rugi kumparan pada setiap perubahan beban, dapat ditentukan dengan persamaan :

$$P_{variable\ loss} = \left( \frac{P_{in}}{P_{rating}} \right)^2 \cdot P_{cu\ Full\ load} \dots \dots \dots (2.12)$$

Keterangan :

$P_{variable\ loss}$  : Rugi-rugi kumparan pada saat pembebanan tertentu

$P_{cu\ Full\ load}$  : Rugi-rugi kumparan beban penuh (*full load*)

$P_{rating}$  : Nilai daya keluaran dari *nameplate*

$P_{in}$  : Beban yang beroperasi

<sup>10</sup> Refindal Nazir 2017, Teori & Aplikasi Motor Dan Generator induksi. Bandung, ITB Bandung. Hal:73



### 2.8.1.2 Rugi Belitan

Rugi - rugi belitan ( $I^2R$ ) 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 ( $P_{cu}$ ) yang menunjukkan besarnya daya yang berubah menjadi panas oleh tahanan dari konduktor tembaga atau alumunium. Total kerugian adalah jumlah dari rugi - rugi primer (stator) dan rugi-rugi sekunder (rotor).

Rugi-rugi dalam belitan sebenarnya tidak hanya tergantung pada arus, tetapi juga pada tahanan belitan di bawah 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.

$$P_{rugi-rugi} = I^2 \cdot R \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan :

$I^2$  : Arus yang mengalir

$R$  : Resistansi belitan

$$P_{cu} = P_{rugi-rugi} \cdot 0,55 \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan :

$P_{cu}$  : Rugi-rugi belitan

$P_{rugi-rugi}$  : Rugi-rugi total

### 2.8.2 Rugi Tetap

Rugi – rugi ( $P_{fixed loss}$ ) tetap yaitu rugi daya yang terdiri dari rugi-rugi inti, dan rugi-rugi *stray load* dapat dicari dengan memperhitungkan operasi motor dalam keadaan tanpa beban.

### 2.8.2.1 Rugi - rugi inti

Rugi - rugi inti ( $P_{inti}$ ) merupakan rangkaian terbuka terdiri atas rugi-rugi histeris dan arus eddy yang timbul dari perubahan kerapatan fluks pada besi mesin dengan hanya lilitan peneral utama yang diberi tenaga. Timbulnya rugi-rugi inti, ketika besi jangkar atau struktur rotor mengalami perubahan fluks terhadap waktu. Rugi-rugi tersebut 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.

$$P_{inti} = 3 \cdot I_c^2 \cdot R_c \dots \dots \dots (2.15)$$

Keterangan :

$P_{inti}$  : Rugi-rugi daya inti

$I_c^2$  : Arus komponen rugi-rugi inti besi

$R_c$  : Resistansi penggantian dari kerugian inti besi

Daya Rugi-rugi arus *Eddy* dan *Hysteresis*. tergantung pada kuadrat dari kerapatan fluks, frekuensi dan ketebalan dari lapisan. Pada keadaan mesin normal besarnya dapat dideteksi dengan :

$$P_e = K_c (B_{maks} \cdot f \cdot T)^2 \dots \dots \dots (2.16)$$

$$P_h = K_h (B_{maks} \cdot f \cdot T)^2 \dots \dots \dots (2.17)$$

Keterangan :

$P_e$  : Rugi-rugi Eddy

$P_h$  : Rugi-rugi *Hysteresis*

$T$  : Tebal lapisan

$B_{maks}$  : Kerapatan fluks maksimum

$f$  : Frekuensi

$K_c$  : Ketetapan perbandingan



Nilai  $K_c$  tergantung pada satuan yang digunakan, volume besi dan resistansi vital besi. Ragam dari rugi-rugi histerisis dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan secara empiris saja.

Pada mesin induksi, Rugi-rugi intinya terdapat di stator dan rotor hampir boleh diabaikan karena frekuensi di rotor relatif kecil. Jadi total rugi-rugi inti sesuai tabel adalah sebagai berikut :

$$P_{inti} = P_{rugi-rugi} \cdot 0,25 \dots\dots\dots(2.18)$$

Keterangan :

$P_{inti}$  : Rugi-rugi inti

$P_{rugi-rugi}$  : Rugi-rugi total

### 2.8.2.2 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 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 tidak tepatan ini dapat dihitung dalam rugi-rugi *stray load*. Rugi-rugi mekanik biasanya berkisar antara 5-15% dari total rugi-rugi daya motor pada keadaan beban nominal.

$$P_m = P_{rugi-rugi} \cdot 0,15 \dots\dots\dots(2.19)$$

Keterangan :

$P_m$  = Rugi-rugi mekanik

$P_{rugi-rugi}$  = Rugi-rugi total

### 2.8.2.3 Rugi - rugi stray load

Rugi-rugi *Stray load* merupakan rugi-rugi residu pada motor , yang sulit untuk ditentukan melalui pengukuran . 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 diketahui maupun yang tidak diketahui, disatukan menjadi rugi-rugi *stray load* yang cenderung bertambah besar apabila beban meningkat (berbanding kuadrat dengan arus beban). Pada mesin DC, rugi-rugi ini masih dapat disebabkan oleh faktor reaksi jangkar, dan arus hubung singkat dalam kumparan pada saat terjadi peristiwa komutasi. Kerugian *stray load* ini sangat sulit ditentukan. Pada umumnya kerugian ini berkisar antara 11-14 % dari total kerugian daya motor pada keadaan beban nol.

**Tabel 2.2 Presentase rugi-rugi *stray load*<sup>11</sup>**

<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 berkisar 1-5% dari total kerugian daya motor pada keadaan beban nominal.

$$P_{stray} = P_{rugi-rugi} \cdot 0,5 \dots\dots\dots(2.20)$$

Keterangan :

$P_{stray}$  = Rugi-rugi *Stray*

$P_{rugi-rugi}$  = Rugi-rugi total

Dengan demikian rugi total dapat dihitung dengan persamaan

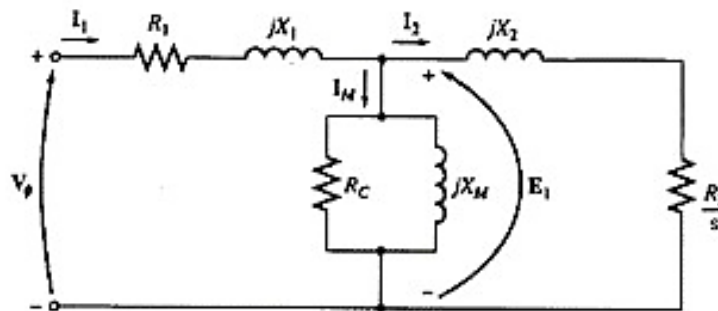
$$P_{rugi\ tetap} = P_{inti} + P_{stray} \dots\dots\dots(2.21)$$

<sup>11</sup> IEEE Std 112™-2004

## 2.9 Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi

Motor Induksi 3-fasa ini dapat dianalisa berdasarkan rangkaian ekuivalen tanpa harus mengoperasikan motor. Dari rangkaian ekuivalen (Gambar 2.8) dibawah ini  $I_1$  merupakan arus yang mengalir pada kumparan stator yang terbagi arus  $I_m$  dan  $I_2$ , dimana untuk mencari besarnya arus yang mengalir pada saat pembebanan.

Untuk menentukan rangkaian ekuivalen dari motor 3 fasa pertama-tama perhatikan keadaan pada stator. Gelombang fluks pada celah udara yang berputar sinkron membangkitkan GGL lawan 3 fasa yang seimbang di dalam fasa-fasa stator. Besarnya tegangan terminal stator berbeda dengan GGL lawan sebesar jatuh tegangan pada Impedansi ( $Z$ ) bocor stator<sup>12</sup>



**Gambar 2.11 Rangkaian Ekuivalen Motor induksi dengan pemisah rugi-rugi dan daya mekanik**

Untuk menentukan rangkaian ekuivalen dari motor 3 fasa pertama-tama perhatikan keadaan pada stator. Gelombang fluks pada celah udara yang berputar sinkron membangkitkan GGL lawan 3 fasa yang seimbang di dalam fasa-fasa stator. Besarnya tegangan terminal stator berbeda dengan GGL lawan sebesar jatuh tegangan pada Impedansi ( $Z$ ) bocor stator.

Keterangan :

$V_\phi$  = Tegangan sumber per fasa pada kumparan stator

<sup>12</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.



$R_1$  = Resistansi kumparan stator

$jX_1$  = Reaktansi Induktif kumparan stator

$R_c$  = Tahanan Inti Besi

$R_2$  = Resistansi kumparan rotor dilihat dari sisi stator

$jX_2$  = Reaktansi Induktir rotor dilihat dari sisi stator

$jX_m$  = Reaktansi magnet pada Motor

$I_1$  = Arus kumparan stator

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

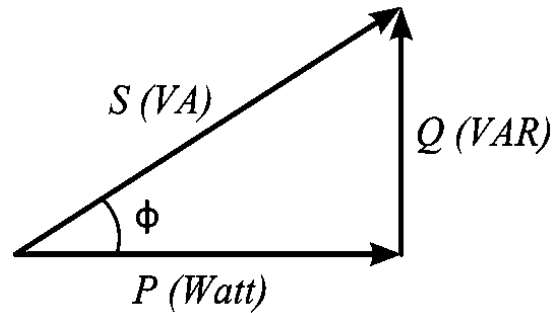
## 2.10 Pengertian Daya

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 energi, 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 2.12 Segitiga daya

$$P = V \cdot I \cos \theta \dots\dots\dots(2.22)$$

$$S = V \cdot I \dots\dots\dots(2.23)$$

$$Q = V \cdot I \sin \theta \dots\dots\dots(2.24)$$

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

$$P = \sqrt{3} \cdot V_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots(2.25)$$

$$S = \sqrt{3} \cdot V_1 \cdot I_1 \cdot \sin \varphi \dots\dots\dots(2.26)$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot V_1 \cdot I_1 \dots\dots\dots(2.27)$$

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:

$$P = \frac{w}{t} \dots\dots\dots(2.28)$$

Keterangan :

P : Daya mekanik (W)

W : Usaha (joule)

T : Waktu (s)

Cos φ : Faktor Daya





### 2.11 Efisiensi Motor<sup>13</sup>

Efisiensi motor diartikan sebagai kemampuan motor untuk mengkonversikan energi elektrik menjadi energi mekanik dalam menggerakkan beban. Efisiensi merupakan salah satu indikator kinerja dari motor induksi. Motor induksi dengan efisiensi suatu motor akan ditentukan oleh rugi-rugi daya internal motor. Selain itu, kondisi pembebanan motor akan mempengaruhi nilai efisiensi motor induksi.

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

$$Efisiensi (\eta) = \frac{P_{out}}{P_{in}} \dots\dots\dots(2.29)$$

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

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.30)$$

Keterangan :

$\eta$  = Efisiensi (%)

$P_{out}$  = Daya keluaran ( Watt )

$P_{in}$  = Daya masukan ( Watt )

Dengan  $\eta$  adalah efisiensi motor dalam %,  $P_{out}$  adalah daya *output* motor dan  $P_{in}$  adalah daya input motor. Jika yang diketahui daya input  $P_{in}$  maka daya *output*  $P_{out}$  Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$P_{out} = P_{in} - \sum Rugi\ Daya \dots\dots\dots(2.31)$$

Jumlah rugi-rugi daya secara individual dapat dinyatakan oleh persamaan berikut ini.

$$\sum Rugi^2\ Daya = P_{variable\ loss} + P_{fixed\ loss} \dots\dots\dots(2.32)$$

Sehingga Persamaan (2.27) dapat ditulis menjadi persamaan berikut ini :

<sup>13</sup> Refindal Nazir, Bandung..2017. Teori&Aplikasi Motor dan Generator Induksi. Hal: 75



$$\eta = \frac{P_{in} - \sum \text{Rugi Daya}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.33)$$

Apabila Jika daya *output* diketahui, maka daya input dapat dinyatakan oleh persamaan berikut ini :

$$P_{out} = P_{in} + P_{rugi\ total} \dots\dots\dots(2.34)$$

Sehingga persamaan efisiensi dapat juga dinyatakan oleh persamaan berikut ini.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + \sum \text{Rugi Daya}} \times 100\% = \dots\dots\dots(2.35)$$

### 2.11.1 Efisiensi Terhadap Perubahan beban

Untuk menentukan besarnya beban yang dioperasikan pada saat efisiensi maksimum, menggunakan persamaan berikut :

$$P_{ef\ maks} = \sqrt{\frac{P_{fixed\ load}}{P_{variable\ load}}} \times P_{full\ load} \dots\dots\dots(2.36)$$

Keterangan :

- $P_{ef\ maks}$  : Efisiensi maksimum
- $P_{fixed\ load}$  : Rugi-rugi tetap
- $P_{variable\ load}$  : Rugi-rugi variabel
- $P_{full\ load}$  : Rugi-rugi beban penuh

### 2.12 Kipas (*fan*)

Kipas merupakan bagian terpenting dari sebuah menara pendingin karena berfungsi untuk menarik udara dingin dan mensirkulasikan udara tersebut di dalam menara untuk mendinginkan air. Jika kipas tidak berfungsi maka kinerja menara pendingin tidak akan optimal. Kipas digerakkan oleh motor listrik yang dikopel langsung dengan poros kipas. *Fan aksial* (jenis baling-baling) dan *fan centrifugal*, keduanya digunakan dalam menara pendingin. Umumnya *fan* dengan baling-baling atau *propeller* digunakan pada menara induced draft dan pada *fan propeller* dan *fan sentrifugal* dua-duanya ditemukan dalam menara *forced draft*.

Tergantung pada ukurannya, jenis *fan propeller* yang digunakan sudah dipasang tetap atau dapat diubah-ubah (diatur). Sebuah fan dengan baling-baling yang dapat diatur tidak secara otomatis dapat digunakan diatas *range* yang cukup

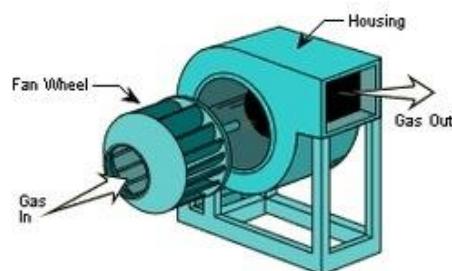
luas sebab *fan* dapat disesuaikan untuk mengirim aliran udara yang dikehendaki pada pemakaian energi terendah. Baling-baling yang dapat diatur secara otomatis dapat beragam aliran udaranya dalam rangka merespon kondisi beban.<sup>14</sup>

Hampir kebanyakan pabrik menggunakan *fan* dan *blower* untuk ventilasi dan untuk proses industri yang memerlukan aliran udara. Sistem *fan* penting untuk menjaga pekerjaan proses industri yang terdiri dari sebuah *fan*, motor listrik, sistem penggerak, saluran atau pemipaan, peralatan pengendali aliran, dan peralatan penyejuk udara (filter, kumparan pendingin, penukar panas, dll).

Berdasarkan prinsip kerjanya, kipas dibagi menjadi dua macam yaitu:

### 2.12.1 Kipas Sentrifugal (*centrifigural fan*)

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 sudu-sudu 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.



**Gambar 2.13 Kipas Sentrifugal**

Sisi inlet kipas sentrifugal dapat didesain dengan dua inlet atau satu inlet saja. Hal ini tentu disesuaikan dengan kebutuhan debit aliran fluida yang ingin dihasilkan. Dengan menggunakan sistem double inlet akan didapatkan debit aliran yang lebih besar dibandingkan dengan yang *single inlet*.

<sup>14</sup> Sheren Ayu Setiani Sinaga.2020.Konstruksi cooling tower dalam skala industri, <https://pdfcoffee.com/tugas-umum-cooling-tower-pdf-free.html#Sheren+Ayu+Setiani+Sinaga>, diakses 12 juni 2022



**Gambar 2.14 Kipas Sentrifugal dengan *double inlet***

### 2.12.2 Kipas Aksial (*Axial fan*)

*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. Dari pendingin CPU hingga komponen pendingin mesin di industri menggunakan kipas tipe aksial.



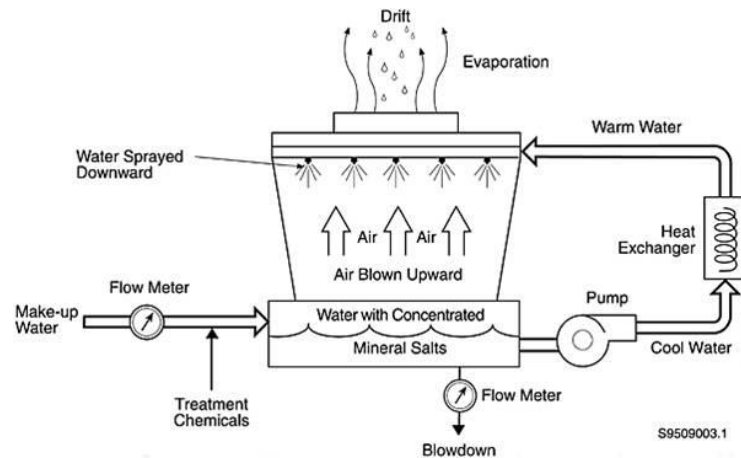
**Gambar 2.15 *Axial Fan* di PLTGU Keramasan**

Kipas tipe aksial sangat banyak digunakan di dunia industri. Salah satunya digunakan pada pembangkit listrik tenaga uap sebagai *Secondary Air Fan*. Kipas ini berfungsi untuk men-supply udara dalam jumlah banyak yang dibutuhkan untuk proses pembakaran pada *furnace boiler*. Kipas ini memiliki dua tingkat (*stage*) impeller, yang kedua-duanya dapat diatur besar bukaan *pitch*-nya.

Hal tersebut berfungsi untuk mengatur jumlah (debit) udara yang akan dikirim untuk proses pembakaran.

### 2.13 Sistem Cooling Tower Fan

Sistem *cooling tower* adalah suatu sistem refrigerasi yang melepaskan kalor ke udara. *cooling tower* bekerja dengan cara mengontakkan air dengan udara dan menguapkan sebagian air tersebut. Luas permukaan air yang besar dibentuk untuk menyemprotkan air lewat *nozzle* atau memercikkan air ke bawah dari suatu bagian ke bagian lainnya. Air yang didinginkan mengalir dari atas melalui pipa suplai utama dan kemudian dipancarkan ke bawah lewat penghambur *sprayfitting* dan sistem distribusi air ke udara selama aliran menuju kolam. Dalam proses ini air mengalir pada bagian konstruksi khusus *honeycomb*. Uap panas ditarik dan dilepas ke udara setelah air mengalami proses penurunan temperatur maka akan jatuh pada bagian bawah *cooling tower*.



Gambar 2.16 . Diagram skemarik sistem menara pendingin (*cooling tower*)

(Sumber : Hensley, 2009)