



---

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi 3 *phasa* adalah alat listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik, di mana listrik yang diubah adalah listrik tiga *phasa*.<sup>[7]</sup>

<sup>1</sup>Motor induksi juga sering disebut dengan motor asinkron. Kelebihan dan kekurangan motor induksi bila dibandingkan dengan jenis motor lainnya adalah sebagai berikut:

a. Kelebihan Motor Induksi

Kelebihan yang dimiliki dari motor induksi, antara lain sebagai berikut:

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.
6. Tidak membutuhkan sikat-sikat sehingga rugi gesekan bisa dikurangi.

2. Kekurangan Motor Induksi

Kekurangan yang dimiliki dari motor induksi, antara lain sebagai berikut:

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

Motor induksi bekerja dengan cara listrik dipasok ke stator yang akan menghasilkan medan magnet. Medan magnet ini bergerak dengan kecepatan sinkron di sekitar rotor. Arus rotor menghasilkan medan magnet kedua, yang berusaha untuk melawan medan magnet stator yang menyebabkan rotor berputar. Walaupun begitu, di dalam praktiknya motor tidak pernah bekerja pada kecepatan sinkron namun, pada kecepatan dasar yang lebih rendah. Terjadinya perbedaan antara dua kecepatan tersebut disebabkan adanya *slip*/geseran yang meningkat

---

<sup>[7]</sup> Berliani, Hilda. 2018. *Studi Perhitungan Efisiensi Motor Gbm-602 95,5 KW Sebagai Penggerak Kipas pada Cooling Tower di PT Pupuk Sriwidjaja*. Politeknik Negeri Sriwijaya.

dengan meningkatnya beban. *Slip* hanya terjadi pada motor induksi. Untuk menghindari *slip* dapat dipasang sebuah cincin geser/*slip ring* dan motor tersebut dinamakan motor cincin geser/*slip ring* motor.

## 2.2 Klasifikasi Motor Induksi

Motor listrik AC (*Alternating Current*) memiliki beberapa jenis yang jenis ini membedakan beberapa faktor utama, 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 motor sinkron biasa dan motor asinkron atau motor induksi (*squirrel cage & slip ring*).

#### a. 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 atau *direct current* (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 pada generator sinkron rotornya diputar untuk menghasilkan tegangan sedangkan motor sinkron statornya diberi tegangan agar rotornya berputar.

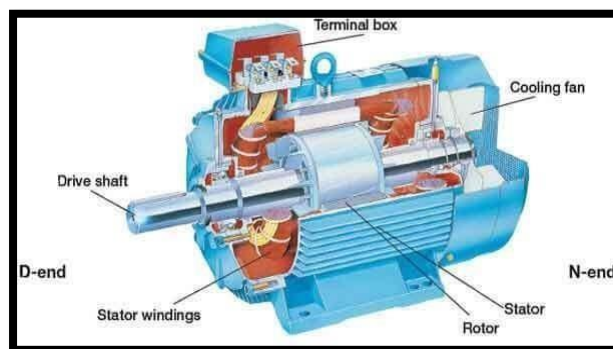


Gambar 2.1 Motor Sinkron<sup>[4]</sup>

<sup>[4]</sup> *Motor Induksi 3 Fasa*. April 2013. ElektrikBank.Blogspot.com. Diakses pada tanggal 15 2023, dari <https://elektrikbank.blogspot.com/2013/05/motor-induksi-tiga/Tanpa.Penulis>

## b. 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<sup>[4]</sup>**

### 2.2.2 Berdasarkan Macam Arus

Berdasarkan macam arus motor induksi dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok, antara lain sebagai berikut:<sup>[1]</sup>

#### a. 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. Motor ini merupakan jenis motor yang paling umum digunakan dalam peralatan rumah tangga, seperti kipas angin, mesin cuci, dan pengering pakaian.

#### b. Tiga *Phasa*

Medan magnet yang berputar dihasilkan oleh pasokan tiga fasa yang seimbang. Motor tersebut memiliki kemampuan daya yang tinggi, dapat

<sup>[1]</sup> Berliani, Hilda. 2018. *Studi Perhitungan Efisiensi Motor Gbm-602 95,5 KW Sebagai Penggerak Kipas pada Cooling Tower di PT Pupuk Sriwidjaja*. Politeknik Negeri Sriwijaya.

<sup>[4]</sup> *Motor Induksi 3 Fasa*. April 2013. ElektrikBank.Blogspot.com. Diakses pada tanggal 15 2023, dari <https://elektrikbank.blogspot.com/2013/05/motor-induksi-tiga/Tanpa.Penulis>

memiliki sangkar tupai atau gulungan rotor (walaupun 90 % memiliki rotor sangkar tupai dan penyalaan sendiri. Diperkirakan bahwa sekitar 70% motor di industri menggunakan jenis ini sebagai contoh pompa, *compressor*, *belt conveyor*, jaringan listrik, dan *grinder*.

### 2.2.3 Berdasarkan Kecepatan

Berdasarkan kecepatan motor induksi dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok, antara lain sebagai berikut:<sup>[12]</sup>

#### a. 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 sebelas (11) lilitan terpisah dan motor berurutan.

#### b. 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).

#### c. Kecepatan Diatur

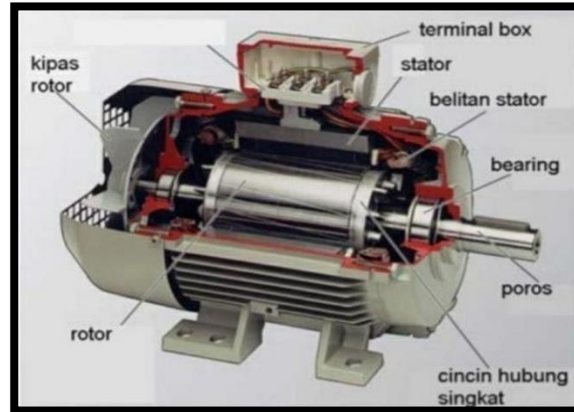
Kecepatan diatur atau pengatur kecepatan adalah ukuran numerik, dalam persen, mengenai seberapa akurat kecepatan motor dapat dipertahankan. Ini adalah persentase perubahan pada kecepatan antara beban penuh dan tanpa beban. Kemampuan penggerak mengoperasikan motor pada kecepatan antara beban penuh konstan.

---

<sup>[12]</sup>United Nations Environment Programme. 2006. *Pedoman Efisiensi Energi Untuk Industri Asia*. <http://www.encyasia.org/>. Diakses pada tanggal 22 Februari 2009.

### 2.3 Konstruksi Motor Induksi 3 Fasa

Konstruksi motor induksi secara detail terdiri dua bagian, yaitu bagian stator dan bagian rotor.<sup>[2]</sup> Dapat dilihat pada gambar 2.3 di bawah ini.



**Gambar 2.3 Fisik Motor Induksi<sup>[4]</sup>**

Stator adalah bagian motor yang diam yang terdiri dari badan motor, inti stator, *belitan stator*, *bearing*, dan *terminal box*. 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 dibandingkan dengan motor DC dikarenakan tidak ada komutator dan sikat arang sehingga pemeliharaan motor induksi sangat mudah, yaitu di bagian mekaniknya saja, konstruksinya juga begitu sederhana, dan motor induksi sangat handal, serta 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 kendur atau lepas akibat pengaruh getaran secara terus-menerus.

#### 2.3.1 Stator

Pada bagian stator terdapat beberapa *slot* yang merupakan tempat kawat (konduktor) dari tiga *phasa* yang disebut kumparan stator yang masing-masing dan pada bagian dalam mempunyai banyak alur-alur yang diberi kumparan kawat tembaga yang berisolasi. Lalu akan timbul fluks medan putar karena adanya fluks

<sup>[2]</sup>Linsley, Trevor. 2004. *Instalasi Listrik Tingkat Lanjut*. Jakarta: Erlangga.

<sup>[4]</sup>*Motor Induksi 3 Fasa*. April 2013. ElektrikBank.Blogspot.com. Diakses pada tanggal 15 Agustus 2023, dari <https://elektrikbank.blogspot.com/2013/05/motor-induksi-tiga-fasa.html?m=1> /TanpaPenulis.

medan putar pada kumparan stator, mengakibatkan rotor berputar karena adanya induksi magnet dengan kecepatan putar sinkron dengan kecepatan putar stator.<sup>[3]</sup>

Bagian-bagian stator dapat dibagi menjadi beberapa bagian, antara lain sebagai berikut:

a. Bodi Motor (*Frame*)

Fungsi utama dari rangka adalah sebagai tempat mengalirnya fluks magnet karena itu rangka mesin dibuat dari bahan feromagnetik. 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 pelat campuran baja yang berbentuk silinder.

b. 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. Kutub magnet berfungsi menghasilkan fluks magnet, maka kutub magnet dibuat dari bahan feromagnetik, 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.

c. 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 dibuat dari bahan konduktor. Di samping itu, sikat juga berfungsi untuk terjadinya komutasi bersama dengan komutator, bahan sikat harus lebih lunak dari komutator supaya hubungan/kontak antara sikat-sikat yang diam dengan komutator dapat berputar dengan sebaik mungkin maka, sikat memerlukan alat pemegang dan penekan berupa perpegas yang dapat diatur komutator seperti diketahui komutator berfungsi sebagai alat penyearah mekanik yang bersama-sama dengan sikat membentuk suatu kerja sama yang disebut komutasi. Supaya menghasilkan penyearah yang lebih baik, maka komutator yang digunakan jumlahnya banyak. Oleh karena itu, tiap belahan/segmen komutator tidak lagi merupakan bentuk

---

<sup>[3]</sup> Marniati, Yessi. 2011. Jurnal Dasar-Dasar Pengaman Sistem Tenaga Listrik. *Jurnal Teknik Elektro*. 5(2):3.

sebagian silinder, tetapi sudah berbentuk lempeng-lempeng. Di antara setiap lempeng/segmen komutator terdapat bahan isolator. Isolator yang digunakan menentukan kelas dari mesin berdasarkan kemampuan suhu yang timbul dalam mesin tersebut.

d. Jangkar

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

### 2.3.2 Rotor

Berdasarkan hukum Faraday tentang imbas magnet, maka medan putar yang secara relatif 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 relatif 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 di antara 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 sangkar dan motor rotor lilit.

a. Motor Rotor Sangkar

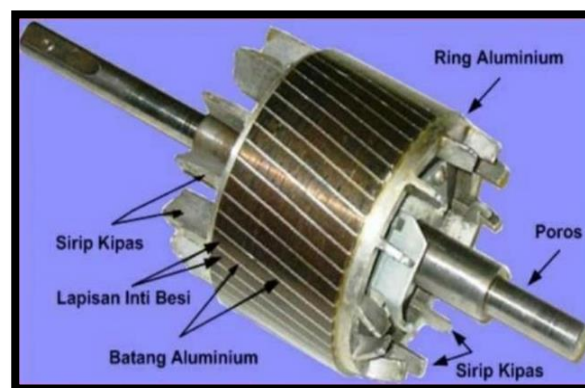
Motor induksi jenis rotor sangkar lebih banyak digunakan dari pada jenis rotor lilit, sebab rotor sangkar mempunyai bentuk yang sederhana. Belitan rotor terdiri atas batang-batang penghantar yang ditempatkan di dalam alur rotor.<sup>[5]</sup>

Batang penghantar ini terbuat dari tembaga, *alloy* atau alumunium. Ujung-ujung batang penghantar dihubungkan singkat oleh cincin penghubung singkat sehingga

---

<sup>[5]</sup> Nani, Yansir. 2011. *BWE Teknologi Penambangan Continuous Mining*. Sumatera Selatan: PT Bukit Asam (Persero) Tbk.

berbentuk sangkar burung seperti terlihat pada gambar 2.2. Motor induksi yang menggunakan rotor ini disebut dengan motor induksi rotor sangkar. Oleh karena itu, batang penghantar rotor yang telah dihubung singkat, maka tidak dibutuhkan tahanan luar yang dihubungkan seri dengan rangkaian rotor pada saat awal berputar. Alur-alur rotor biasanya tidak dihubungkan sejajar dengan sumbu (poros) tetapi sedikit miring.



**Gambar 2.4 Rotor Sangkar<sup>[4]</sup>**

b. Motor Rotor Lilit

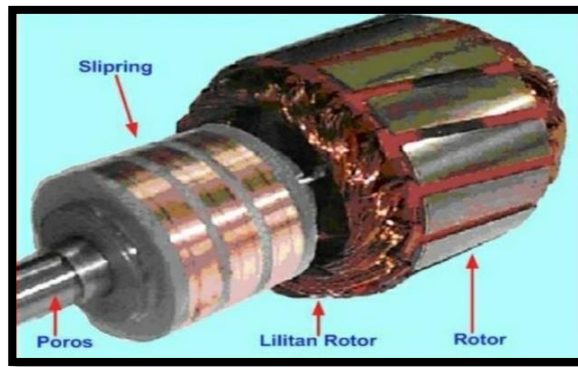
Rotor lilit terdiri atas belitan fasa banyak, belitan ini dimasukkan ke dalam alur-alur inti rotor.<sup>[9]</sup> Belitan ini sama dengan belitan stator, tetapi belitan selalu dihubungkan secara bintang. Tiga buah ujung-ujung belitan dihubungkan ke terminal-terminal sikat/cincin seret yang terletak pada poros rotor seperti terlihat pada gambar 2.3.

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 *slip ring* atau motor induksi rotor lilit.

<sup>[4]</sup>Motor Induksi 3 Fasa. April 2013. ElektrikBank.Blogspot.com. Diakses pada tanggal 15 Agustus 2023, dari <https://elektrikbank.blogspot.com/2013/05/motor-induksi-tiga-fasa.html?m=1/TanpaPenulis>

<sup>[9]</sup> Sumardjati, Prih, dkk. 2008. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional





Gambar 2.5 Motor Rotor Lilit<sup>[4]</sup>

#### 2.4 Prinsip Kerja Motor Induksi 3 Fasa

Pada dasarnya ada beberapa prinsip penting pada motor-motor induksi, antara lain sebagai berikut:

- 1) Bila kumparan kumparan stator diberi suplai tegangan tiga fasa, maka akan terjadi medan putar dengan kecepatan.
- 2) Medan putar stator tersebut akan mengimbas penghantar yang ada pada rotor sehingga pada rotor timbul tegangan induksi.
- 3) Tegangan yang terjadi pada rotor menyebabkan timbulnya arus pada penghantar rotor.
- 4) Selanjutnya arus di dalam medan magnet menimbulkan gaya (*force*) pada rotor.
- 5) Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya (*force*) pada rotor cukup besar untuk menanggung kopel beban, maka rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.
- 6) Supaya timbul tegangan induksi pada rotor, maka harus ada perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator dengan kecepatan putar rotor, perbedaannya disebut *slip*.
- 7) Bila putar stator dan rotor tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak mengalir pada kumparan jangkar rotor sehingga tidak dihasilkan kopel. Kopel tidak akan terjadi jika putar rotor dan stator lebih kecil dari putar stator.

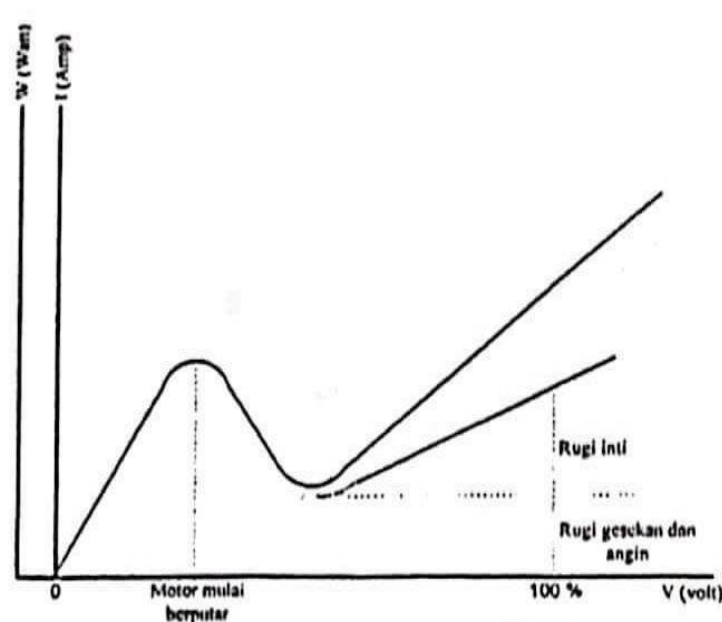
<sup>[4]</sup>Motor Induksi 3 Fasa. April 2013. ElektrikBank.Blogspot.com. Diakses pada tanggal 15 Agustus 2023, dari <https://elektrikbank.blogspot.com/2013/05/motor-induksi-tiga-fasa.html?m=1> /TanpaPenulis

## 2.5 Karakteristik Motor Induksi

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.

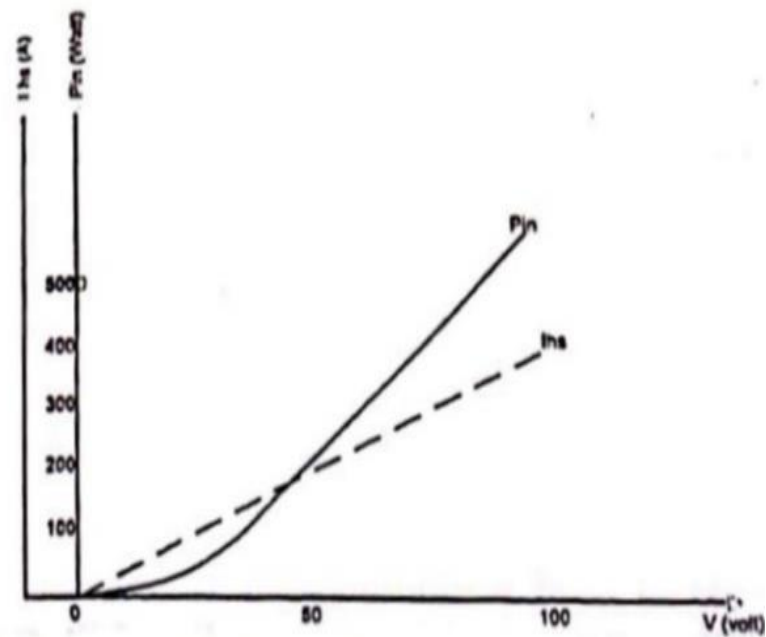


Gambar 2.6 Karakteristik Beban Nol<sup>[1]</sup>

### 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 2.7).

<sup>[1]</sup>Berliani, Hilda. 2018. *Studi Perhitungan Efisiensi Motor Gbm-602 95,5 KW Sebagai Penggerak Kipas pada Cooling Tower di PT Pupuk Sriwidjaja*. Politeknik Negeri Sriwijaya.



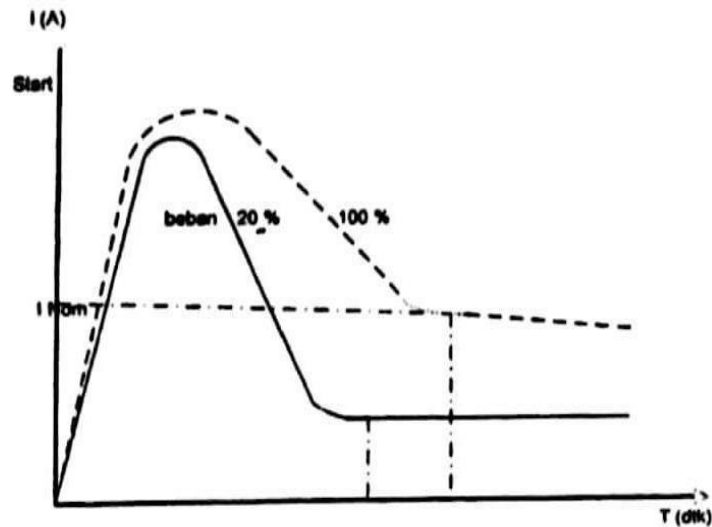
Gambar 2.7 Karakteristik Rotor yang Diblok<sup>[1]</sup>

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 2.8 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.

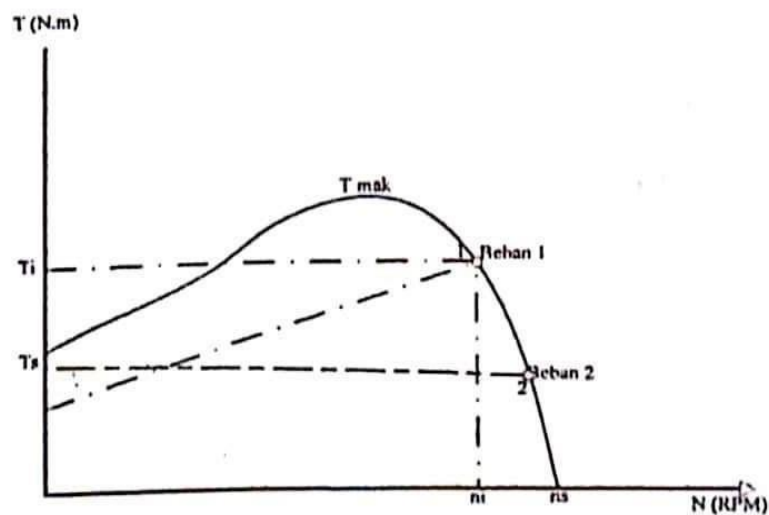
<sup>[1]</sup>Berliani, Hilda. 2018. *Studi Perhitungan Efisiensi Motor Gbm-602 95,5 KW Sebagai Penggerak Kipas pada Cooling Tower di PT Pupuk Sriwidjaja*. Politeknik Negeri Sriwijaya.



Gambar 2.8 Karakteristik *Start*<sup>[1]</sup>

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 di-start, 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 di-start. Selama motor belum berputar, arus motor tinggi seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.9 di bawah ini.



Gambar 2.9 Karakteristik Kopel dan Putaran<sup>[1]</sup>

<sup>[1]</sup>Berliani, Hilda. 2018. *Studi Perhitungan Efisiensi Motor Gbm-602 95,5 KW Sebagai Penggerak Kipas pada Cooling Tower di PT Pupuk Sriwidjaja*. Politeknik Negeri Sriwijaya.

## 2.6 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 *Direct Current* (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 *Alternating Current* (AC), tahanan *equivalen* motor dapat ditentukan dengan percobaan *block* rotor (hubung singkat) dari suatu transformator. Jadi, daya pada keadaan ini merupakan rugi-rugi tahanan atau belitan pada keadaan ini rugi-rugi inti dapat diabaikan karena tegangan nominalnya.

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

## 2.7 Rugi-Rugi pada Motor Induksi

Seperti yang kita ketahui bahwa motor-motor listrik adalah suatu alat untuk mengkonversikan energi listrik menjadi energi mekanis. Keadaan ideal dalam sistem konversi energi, yaitu mempunyai daya *output* tepat sama dengan daya *input* yang dapat dikatakan efisiensi 100%. Tetapi pada keadaan yang sebenarnya, tentu ada kerugian energi yang menyebabkan efisiensi 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, yaitu:

$$P_{\text{out}} = P_{\text{in}} - P_{\text{rugi-rugi}} \dots\dots\dots (2.1)$$



Keterangan:

$P_{out}$  = Total daya yang diterima motor (Watt)

$P_{in}$  = Daya yang diterima motor untuk melakukan kerja (Watt)

$P_{rugi-rugi}$  = Total kerugian daya dihasilkan oleh motor (Watt)

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

### 2.7.1 Rugi-Rugi Inti

Rugi-rugi inti diperoleh pada besi magnetis di dalam stator dan rotor akibat timbulnya efek histeris dan arus pusar (*eddy current*). Timbulnya rugi-rugi inti, ketika besi jangkar atau struktur rotor mengalami perubahan fluks terhadap waktu. Rugi-rugi ini tidak tergantung pada beban, tetapi merupakan fungsi dari pada fluks dan kecepatan motor. Pada umumnya rugi-rugi inti berkisar antara 20% – 25% dari total kerugian daya motor pada keadaan nominal.<sup>[6]</sup>

### 2.7.2 Rugi-Rugi Mekanik

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

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

$$P_{in} = P_{rugi-rugi} \cdot 0,15 \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

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

$P_{rugi-rugi}$  = Total kerugian daya dihasilkan oleh motor (Watt)

0,15 = Konstanta

### 2.7.3 Rugi-Rugi *Stray Load*

Sebagai tambahan, kita tidak dapat menghitung berapa besar kerugian ini seperti yang diakibatkan oleh perubahan fluks terhadap beban, geometri konduktor sehingga arus terbagi sedikit tidak merata dalam konduktor bertambah, mengakibatkan pertambahan tahanan konduktor dan karena itu rugi-rugi konduktor harus bertambah. Dari semua kerugian yang relatif kecil ini, baik dari sumber yang diketahui maupun yang tidak diketahui, disatukan menjadi rugi-rugi *stray load* yang cenderung bertambah besar apabila beban meningkat (berbanding kuadrat dengan arus beban). Pada umumnya kerugian ini berkisar 1% – 5% dari total kerugian daya motor pada keadaan beban nominal.<sup>[8]</sup>

### 2.7.4 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 di atas 750 Watt 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 di bawah kondisi operasi. Sedangkan 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 ke dalam kerugian *stray load*. Pada umumnya rugi-rugi belitan ini berkisar antara 55% – 60% dari total kerugian motor pada keadaan beban nominal.

$$P = I^2 \cdot R \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan:

P = Daya (Watt)

I = Arus listrik (Ampere)

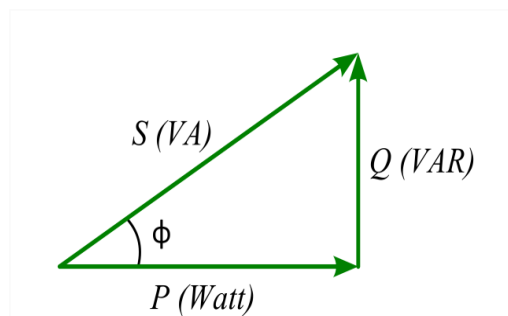
R = Tahanan Arus Listrik (Ohm ( $\Omega$ ))

## 2.8 Faktor 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:

- 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 ( $W$ ).
- 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 ( $VAR$ ).
- Daya semu ( $S$ ) 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 di bawah ini, sebagai berikut:



Gambar 2.10 Segitiga Daya<sup>[1]</sup>

<sup>[1]</sup>Berliani, Hilda. 2018. *Studi Perhitungan Efisiensi Motor Gbm-602 95,5 KW Sebagai Penggerak Kipas pada Cooling Tower di PT Pupuk Sriwidjaja*. Politeknik Negeri Sriwijaya.





P = V . I Cos φ ..... (2.4)

S = V . I ..... (2.5)

Q = V . I Sin φ. .... (2.6)

Keterangan:

P = Daya Aktif (Watt)

S = Daya Semu (VA)

Q = Daya Reaktif (VAR)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus Listrik (Ampere)

φ = Sudut (°)

Untuk daya tiga phasa rumus daya aktif, daya reaktif, dan daya semu adalah seperti di bawah ini:

P = √3 VL . IL Cos φ ..... (2.7)

S = √3 VL . IL Sin φ ..... (2.8)

Q = √3 VL . IL ..... (2.9)

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 = W / t ..... (2.10)

Keterangan:

P = Daya mekanik (Watt)

W = Usaha (Joule)

T = Waktu (s)

2.9 Efisiensi

Di dalam setiap mesin daya keluaran yang tersedia adalah lebih rendah dari pada daya masukannya karena terjadinya rugi-rugi di dalam 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’ menjadi sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi ( } \eta \text{ )} = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \dots\dots\dots (2.11)$$

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

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan:

- $\eta$  = Efisiensi (%)
- $P_{\text{out}}$  = Daya Masukkan (Watt)
- $P_{\text{in}}$  = Daya Keluaran (Watt)