



---

---

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Motor Induksi 3 Phasa

Motor induksi berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang berupa tenaga putar. Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak balik (ac) yang paling luas digunakan. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa motor ini bekerja berdasarkan induksi medan magnet stator ke rotornya, dimana arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (rotating magnetic field) yang dihasilkan oleh arus stator<sup>1</sup>.

Mesin ini juga disebut mesin asinkron (mesin tak serempak), hal ini dikarenakan putaran motor tidak sama dengan putaran fluks magnet stator. Dengan perkataan lain, bahwa antara rotor dan fluks magnet stator terdapat selisih perputaran yang disebut dengan slip.

Pada umumnya motor ac yang digunakan adalah motor induksi, terutama motor induksi tiga fasa yang paling banyak dipakai di perindustrian. Motor induksi tiga fasa sangat banyak dipakai sebagai penggerak di perindustrian karena banyak memiliki keuntungan, tetapi juga memiliki beberapa kelemahan.

#### 2.2 Keuntungan dan kekurangan Motor Induksi 3 Phasa:

Keuntungan motor induksi 3 phasa:

1. Sangat sederhana dan daya tahan kuat (konstruksi hampir tidak pernah terjadi kerusakan, khususnya tipe sangkar tupai).
2. Harga relatif murah dan perawatan mudah.
3. Efisiensi tinggi. Pada kondisi berputar normal, tidak dibutuhkan sikat dan karenanya rugi daya yang diakibatkannya dapat dikurangi.
4. Tidak memerlukan starting tambahan dan tidak harus sinkron.

Kekurangan motor induksi 3 phasa:

---

<sup>1</sup> Andri, D. 2016. "Motor Induksi", <http://eprints.ac.id/3801/3/FILE%20III.pdf>

1. Kecepatan tidak dapat berubah tanpa pengorbanan efisiensi.
2. Kecepatannya menurun seiring dengan penambahan beban.
3. Kopel awal mutunya rendah dibanding dengan motor DC shunt.

### **2.3 Klasifikasi Motor Induksi**

Motor Induksi memiliki berbagai jenis yang dapat diklasifikasikan antara lain berdasarkan prinsip kerja, berdasarkan macam arus, dan berdasarkan kecepatan<sup>2</sup>.

#### **A. Berdasarkan Prinsip Kerja**

- Motor Sinkron
  - Biasa (tanpa slip ring)
  - Super (dengan slip ring)
- Motor Asinkron/Induksi
  - Rotor Sangkar Tupai
  - Rotor Belitan

#### **B. Berdasarkan Macam Arus**

##### **a. Motor induksi 1 phasa**

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

##### **b. Motor induksi tiga phasa.**

Medan magnet yang berputar dihasilkan oleh pasokan tiga fasa yang seimbang. Motor tersebut memiliki kemampuan daya yang tinggi, memiliki rotor sangkai tupai atau gulungan rotor (walaupun 90% memiliki rotor sangkar tupai). Diperkirakan bahwa sekitar 70% motor di industri

---

<sup>2</sup> Firdaus, R. 2016. "Motor Induksi", <http://eprints.polsri.ac.id/3822/3/3.BAB%20II.pdf>,

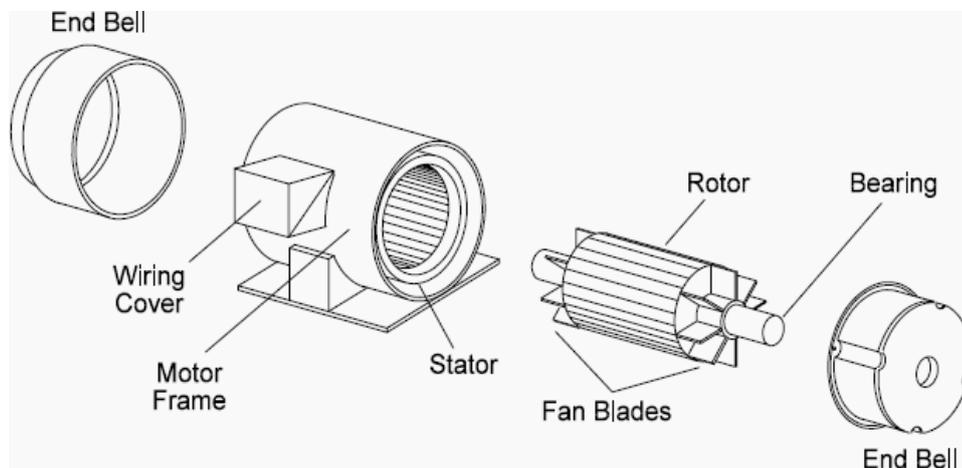
menggunakan jenis ini, sebagai contoh, kompresor, pompa, belt conveyor, jaringan listrik dan masih banyak lagi. Tersedia dalam ukuran 1/3 hingga ratusan tenaga kuda.

**c. Berdasarkan Kecepatan**

- a. Kecepatan konstan
- b. Kecepatan berubah
- c. Kecepatan diatur

**2.4 Konstruksi Motor Induksi 3 Phasa<sup>3</sup>**

Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak balik (ac) yang paling luas digunakan, karena konstruksinya yang kuat dan karakteristik kerjanya yang baik. Konstruksi motor induksi 3 phasa memiliki dua bagian utama, yaitu stator merupakan bagian dari motor yang tidak berputar dan rotor merupakan bagian dari motor yang berputar. Motor induksi juga terdapat celah udara yang berfungsi sebagai tempat perpindahan fluks magnet dari kumparan stator menuju kumparan rotor. Konstruksi motor induksi 3 phasa dapat dilihat dari gambar 2.1 berikut ini.



Gambar 2.1 Konstruksi motor induksi

**A. Stator**

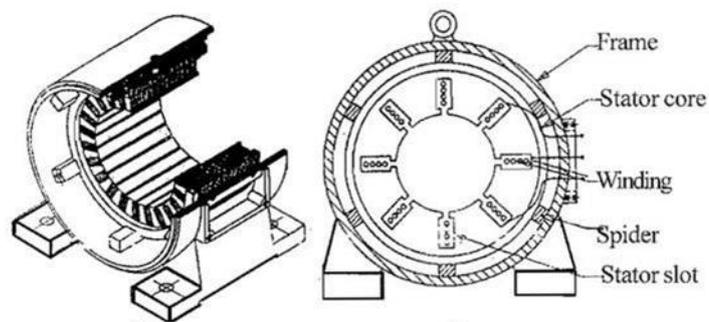
Komponen stator adalah bagian terluar dari motor yang merupakan bagian yang diam dan sebagai tempat dihasilkannya medan putar ketika sumber arus 3

<sup>3</sup> Blogs, ITB. 2013. "Motor AC", <https://blogs.itb.ac.id/el2244k0112211077alpinarief/2013/05/02/motorac/#:~:text=Stator%20merupakan%20bagian%20dari%20motor,seperti%20jari-jari%20pada%20roda>,

phasa dihubungkan pada kumparan stator dengan perbedaan sudut antar fasa sebesar  $120^\circ$ . Stator ini terbentuk atas lapisan plat-plat tipis dengan sejumlah *pole* (kutub) yang tersusun melingkar, seperti jari-jari pada roda.

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

1. Rumah stator (rangka stator) dari besi tuang.
2. Inti stator dari besi lunak atau bajasilikon.
3. Alur, bahannya sama dengan inti, dimana alur ini merupakan tempat meletakkan belitan (kumparanstator).
4. Belitan (kumparan) stator dari tembaga. Rangka stator motor induksi ini didesain dengan baik dengan empat tujuanyaitu:
  - a) Menutupi inti dankumparannya.
  - b) Melindungi bagian-bagian mesin yang bergerak dari kontak langsung dengan manusia dan dari goresan yang disebabkan oleh gangguan objek atau gangguan udara terbuka (cuacaluar).
  - c) Menyalurkan torsi ke bagian peralatan pendukung mesin dan oleh karena itu stator didesain untuk tahan terhadap gayaputar dan goncangan.
  - d) Berguna sebagai sarana rumahan ventilasi udara sehingga pendinginan lebihEfektif.



Gambar 2.2 Konstruksi stator motor induksi 3 phasa

## B. Rotor

Rotor merupakan bagian dari motor induksi yang berputar. Berdasarkan hukum Faraday tentang induksi magnet, maka medan putar yang secara relatif merupakan medan magnet yang bergerak terhadap penghantar rotor akan menginduksikan gaya gerak listrik (ggl). Besar ggl induksi ini berbanding lurus dengan kecepatan relatif antara medan putar dan penghantar rotor. Penghantar – penghantar dalam rotor yang membentuk suatu rangkaian tertutup, merupakan rangkaian laju arus rotor dan searah dengan hukum yang berlaku yaitu hukum Lenz.

Arahnya melawan fluksi yang menginduksi, dalam hal ini arus rotor itu 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, untuk mengurangi beda kecepatan diatas. Jika rotor dibebani, maka putaran rotor akan turun sehingga terjadi perbedaan kecepatan putaran antara rotor dan stator, perbedaan kecepatan putaran ini disebut slip.

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

- a. Inti rotor, bahannya dari besi lunak atau baja silikon sama dengan inti stator.
- b. Alur, bahannya dari besi lunak atau baja silikon sama dengan inti. Alur merupakan tempat meletakkan belitan (kumparan) rotor.
- c. Belitan rotor, bahannya dari tembaga.
- d. Poros atau as.

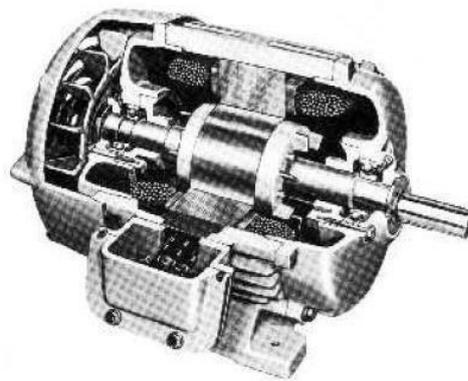
Berdasarkan jenisnya rotor pada motor induksi tiga fasa dibedakan menjadi dua, yaitu :

- a. rotor tipe sangkar tupai (squirrel cage rotor)
- b. rotor belitan (wound rotor).

#### **2.4.1 Konstruksi Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Sangkar Tupai**

Motor rotor sangkar konstruksinya sangat sederhana, yang mana rotor dari motor sangkar adalah konstruksi dari inti berlapis dengan konduktor dipasangkan paralel, atau kira – kira paralel dengan poros yang mengelilingi permukaan inti.

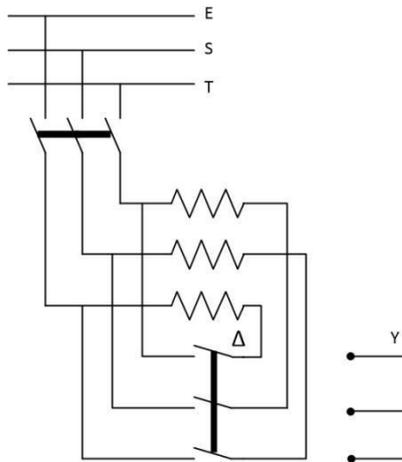
Konduktornya tidak terisolasi dari inti, karena arus rotor secara alamiah akan mengalir melalui tahanan yang paling kecil konduktor rotor. Pada setiap ujung rotor, konduktor rotor semuanya dihubung singkatkan dengan cincin ujung. Batang rotor dan cincin ujung sangka yang lebih kecil adalah coran tembaga atau almunium dalam satu lempeng pada inti rotor. Dalam motor yang lebih besar, batang rotor tidak dicor melainkan dibenamkan kedalam alur kemudian dilas ditempatkan paralel terhadap poros motor tetapi kerap kali dimiringkan. Hal ini menghasilkan torsi yang lebih seragam dan juga mengurangi derau dengung magnetik sewaktu motor sedang jalan.



Gambar 2.3 Konstruksi Motor Induksi Rotor Sangkar

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 dibawah ini, konstruksi rotor seperti ini sangat sederhana bila dibandingkan dengan rotor jenis mesin listrik lainnya. Dengan demikian harganya pun murah karena konstruksinya yang demikian, padanya tidak mungkin diberikan pengaturan tahanan luar seperti pada motor induksi dengan rotor belitan.

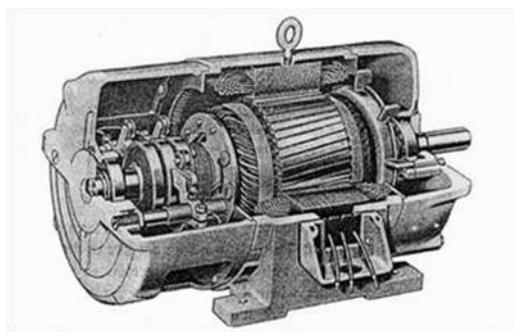
Untuk membatasi arus mula yang besar, tegangan sumber harus dikurangi dan biasanya digunakan saklar Y – D (seperti pada gambar dibawah ini). Tetapi berkurangnya arus akan berakibat berkurangnya kopel mula, untuk mengatasi hal ini dapat digunakan rotor jenis sangkar ganda.



Gambar 2.4 Rangkaian Rotor Sangkar

### 2.4.2 Konstruksi Motor Induksi Tiga Phasa Rotor Lilit

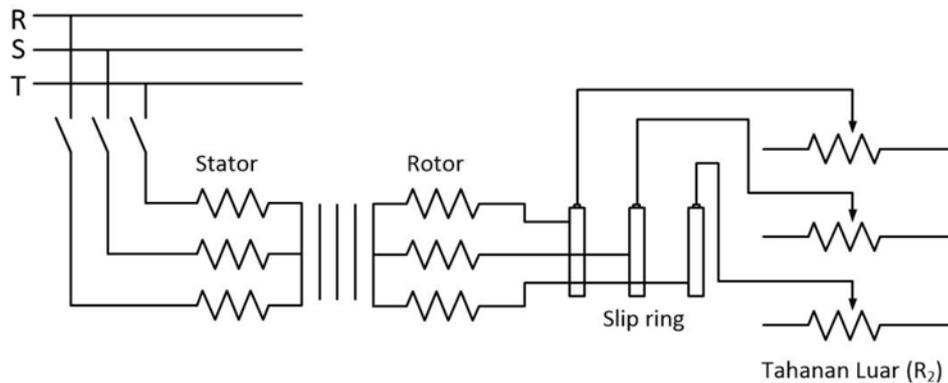
Motor rotor lilit atau motor cincin slip berbeda dengan motor rotor sangkar dalam konstruksi rotornya. Seperti namanya rotor dililit dengan lilitan terisolasi serupa dengan lilitan stator. Lilitan fasa rotor dihubungkan secara Y dengan poros motor. Ketiga cincin slip yang terpasang pada cincin slip dan sikat-sikat dapat dilihat berada disebelah kiri lilitan rotor. Lilitan rotor tidak dihubungkan ke pencatu. Cincin slip dan sikat semata-mata merupakan penghubung tahanan kendali variabel luar ke dalam rangkaian motor. Motor rotor lilit kurang banyak diminati dibandingkan dengan motor rotor sangkar karena harganya mahal dan biaya pemeliharaan lebih besar.



Gambar 2.5 Konstruksi Motor Induksi Rotor Lilit

Motor induksi dengan rotor lilit memungkinkan penambahan (Pengaturan Tahanan Luar ) tahanan luar yang dapat diatur ini dihubungkan ke rotor melalui

cincin, selain untuk menghasilkan kopel mula yang besar tahanan luar tadi diperlukan untuk membatasi arus mula yang besar pada saat start motor. Disamping itu dengan mengubah tahanan luar, kecepatan motor dapat diatur. Dibawah ini terdapat rangkaian induksi dengan belitan memungkinkan penambahan tahanan luar.



Gambar 2.6 Rangkaian Rotor Lilit

## 2.5 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.

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

Dimana :

$N_s$  = Kecepatan putaran sinkron medan magnet stator (rpm)

$f$  = Besarnya frekuensi sumber AC (Hz)

$P$  = jumlah kutup

2. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor.
3. Akibatnya pada kumparan rotor timbul gaya gerak listrik induksi (ggl) sebesar :  $E_{2s} = 4,44 \cdot F_2 \cdot N_r \cdot \Phi_m \dots\dots\dots(2.2)$

Dimana

$E_{2s}$  = Tegangan induksi pada rotor saat rotor dalam keadaan diam (Volt)

$F_2$  = Frekuensi rotor (50 hz)

$N_r$  = Jumlah lilitan kumparaan rotor

$\Phi_m$  = Fluks maksimum (Wb)

4. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup, ggl (E) akan menghasilkan arus (I)
5. Adanya arus didalam medan magnet putar, akan timbul gaya lorentz (F) pada rotor.
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. 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 :

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \dots \dots \dots (2.3)$$

9. Bila  $n_r = n_s$ , tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak mengalir pada rotor, dengan demikian tidak akan menghasilkan kopel. Kopel motor akan timbul apabila  $n_r$  lebih kecil dari  $n_s$

## 2.6 Karakteristik Motor Induksi<sup>4</sup>

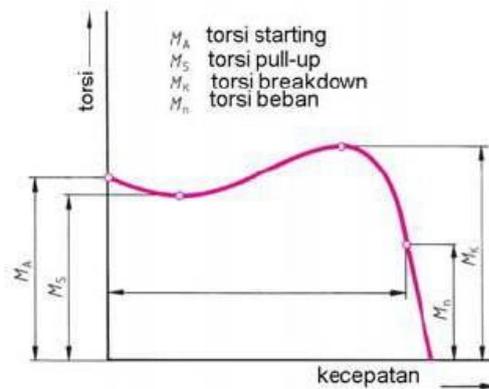
Karakteristik torsi motor induksi Gambar 2.7, disebut torsi fungsi dari slip  $T=f(\text{slip})$ . Garis vertikal merupakan parameter torsi (0–100%) dan garis horizontal parameter slip (1,0–0,0).

Dikenal ada empat jenis torsi, yaitu :

1. MA, momen torsi awal,
2. MS, momen torsi pull-up,
3. MK, momen torsi maksimum
4. MB, momen torsi kerja.

---

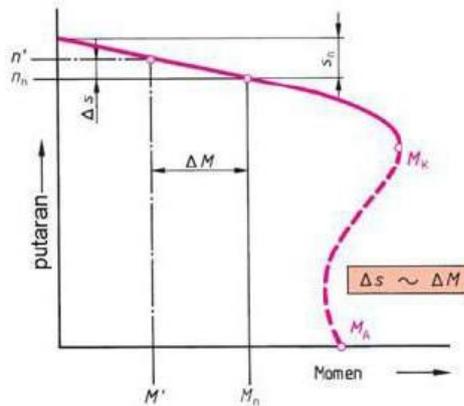
<sup>4</sup> BC JANNET. 2017. "Motor Induksi", <http://eprints.polsri.ac.id/4451/3/BAB%20II.pdf>



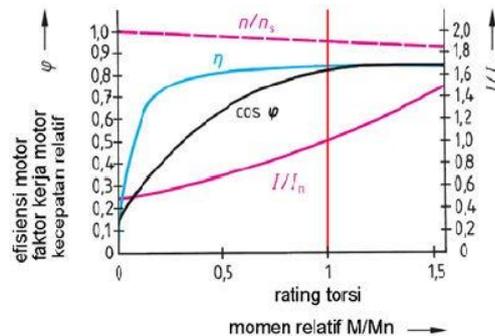
Gambar 2.7 Karakteristik Torsi Motor Induksi

Torsi awal terjadi saat motor pertama dijalankan (slip 1,0), torsi pull-up terjadi saat slip 0,7, torsi maksimum terjadi slip 0,2 dan torsi kerja berada ketika slip 0,05. Torsi beban harus lebih kecil dari torsi motor. Bila torsi beban lebih besar dari torsi motor, akibatnya motor dalam kondisi kelebihan beban dan berakibat belitan stator terbakar. Untuk mengatasi kondisi beban lebih dalam rangkaian kontrol dilengkapi dengan pengaman beban lebih disebut thermal overload, yang dipasang dengan kontaktor.

Karakteristik torsi juga bisa disajikan dalam bentuk lain, kita kenal karakteristik putaran = fungsi torsi,  $n = f(\text{torsi})$  lihat gambar.2.8. Garis vertikal menunjukkan parameter putaran, garis horizontal menunjukkan parameter torsi. Ketika motor berputar pada garis  $n'$  didapatkan torsi di titik  $M'$ . Ketika putaran berada di  $n_n$  didapatkan torsi motor di  $M_n$ . Daerah kerja putaran motor induksi berada pada area  $n'$  dan  $n_n$  sehingga torsi kerja motor induksi juga berada pada area  $M'$  dan  $M_n$ . Berdasarkan grafik  $n = f(\text{torsi})$  dapat juga disimpulkan ketika putaran rotor turun dari  $n'$  ke  $n_n$  pada torsi justru terjadi peningkatan dari  $M'$  ke  $M_n$ .



Gambar2.8 Karakteristik Putaran Fungsi Torsi Beban



Gambar2.9 Karakteristik Parameter Efisiensi, Putaran, Faktor Kerja dan Arus Beban

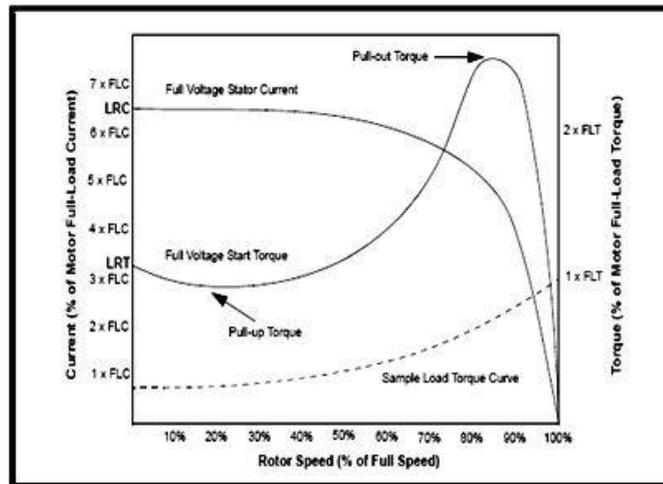
### 2.6.1 Karakteristik Arus Starting pada Motor Induksi

Saat motor induksi dijalankan maka akan membutuhkan arus mula yang besar, hal ini dikarenakan frekuensi dan reaktansi yang tinggi dalam kondisi start yaitu dengan slip seratus persen. Jadi dalam rangkaian rotor yang sangat reaktif, arus rotor tertinggal terhadap ggl rotor dengan sudut yang besar. Hal ini berarti bahwa aliran arus maksimum terjadi dalam konduktor rotor pada suatu waktu setelah kerapatan fluksi maksimum stator melewati konduktor tersebut. Sehingga kondisi ini menghasilkan arus mula yang besar dengan factor daya yang rendah dan menghasilkan torsi mula yang rendah.

Jika rotor melakukan percepatan, frekuensi rotor menjadi berkurang dikarenakan nilai slip yang berkurang, hal ini berarti nilai reaktansi rotornya

berkurang sehingga menyebabkan nilai torsi naik ke harga maksimumnya. Jika motor mempercepat lebih lanjut, torsi akan turun sesuai dengan harga yang diperlukan untuk memutar beban dengan kecepatan konstan.

Karakteristik besarnya arus mula pada sebuah motor induksi bias di jelaskan dengan melihat gambar 2.10 di bawah ini.



Gambar 2.10 Karakteristik arus start pada motor induksi

Persamaan yang dapat dipakai untuk menentukan tegangan motor pada saat starting adalah :

Dimana :

$$V_s = \frac{Z_m \times V_t}{\sqrt{(R_m + R_s)^2 + \sqrt{(X_m + X_s)^2}}} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

$V_t$  = Tegangan nominal motor

$Z_m$  = Impedansi motor

$$R_m = Z_m \cdot \cos \phi_m \dots \dots \dots (2.5)$$

$$X_m = Z_m \cdot \sin \phi_m \dots \dots \dots (2.6)$$

$\cos \phi_m$  = Power faktor motor

$R_s$  = Resistansi total antara motor sampai pada titik dimana tegangan dapat diasumsikan konstan

$X_s$  = Reaktansi total antara motor sampai pada titik dimana tegangan dapat diasumsikan konstan

Semua impedansi dinyatakan dalam satuan ohm, persen atau satuan perunit dengan base yang telah ditentukan. Jika drop tegangan dihitung dengan mengabaikan resistansi rangkaian dan hanya memperhitungkan reaktansi rangkaian, maka persamaan tersebut dapat disederhanakan menjadi :

$$V_s = \frac{Z_m}{Z_m + X_s} \times V_t \dots \dots \dots (2.7)$$

Impedansi motor dapat dihitung dengan persamaan :

$$Z_m = \frac{V_m}{\sqrt{3} I_s} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana :

$V_m$  = Tegangan rating motor (Volt)

$I_s$  = Arus start pada tegangan rated motor (Ampere)

## 2.7 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.<sup>5</sup>

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

---

<sup>5</sup> Tekno, Lelumuh. 2016. "Mesin Fluida (1.2) Mesin Kerja (Blower, Compressor)", <https://lelumuh-tekno.blogspot.com/2016/09/mesin-fluida-12-mesin-kerja-blower.html>

suatu transformator. Jadi daya pada keadaan ini merupakan rugi-rugi tahanan atau belitan dan pada keadaan ini rugi-rugi inti dapat diabaikan karena tegangan hubung singkat relatif kecil dibandingkan dengan tegangan nominalnya.

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

## 2.8 Rugi – Rugi pada Motor Induksi

Seperti kita ketahui bahwa motor – motor listrik adalah suatu alat untuk mengkonversikan energi listrik menjadi energi mekanis. Keadaan ideal dalam sistem konversi energi, yaitu mempunyai daya output tepat sama dengan daya input yang dapat dikatakan efisiensi 100%. Tetapi pada keadaan yang sebenarnya, tentu ada kerugian energi yang menyebabkan efisiensi dibawah 100%. Dalam sistem konversi energi elektro mekanik yakni dalam operasi motor-motor listrik terutama pada motor induksi, total daya yang diterima sama dengan daya yang diberikan, ditambah dengan kerugian daya yang diberikan, ditambah dengan kerugian daya yang terjadi, atau :

$$P_{in} = P_{out} + P_{\text{rugi-rugi}} \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana :

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

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

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

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

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-rugibelitan)

2. Kerugian daya yang timbul langsung karena putaran motor, yang dinamakan rugi-rugi rotasi. Rugi- rugi rotasi ini terbagi menjadi dua jenis yaitu:
  - a. Rugi-rugi mekanis akibat putaran.
  - b. Rugi-rugi inti besi akibat kecepatan putaran dan *fluks* medan.

### **2.8.1 Rugi-Rugi Inti**

Rugi - rugi inti rangkaian terbuka terdiri atas rugi-rugi histeris dan arus-edy yang timbul dari perubahan kerapatan fluks pada besi mesin dengan hanya lilitan peneral utama yang diberi tenaga. Pada mesin DC dan mesin serempak, rugi-rugi ini terutama dialami oleh besi armatur, meskipun pembentukan pulsa fluks yang berasal dari mulut celah akan menyebabkan rugi-rugi pada besi medan juga, terutama pada sepatu kutub atau permukaan besi medan. Pada mesin induksi rugi-rugi terdapat terutama pada besi strator. Rugi-rugi inti rangkaian terbuka dapat diperoleh dengan mengukur masukkan pada mesin pada saat bekerja tanpa beban pada kecepatan ukuran atau frekuensi ukuran dan dengan fluks atau tegangan yang semestinya dan kemudian mengurangkan rugi-rugi perlilitan dan gesekan dan jika mesin tersebut bekerja sendiri selama dites, rugi-rugi  $I^2R$  armature tanpa beban ( rugi-rugi  $I^2R$  stator tanpa beban pada motor induksi). Timbulnya rugi - rugi inti, ketika besi jangkar atau struktur rotor mengalami perubahan fluks terhadap waktu. Rugi - rugi ini tidak tergantung pada beban, tetapi merupakan fungsi daripada fluks dan kecepatan motor. Pada umumnya rugi-rugi inti berkisar antara 20 - 25% dari total kerugian daya motor pada keadaan nominal.

### **2.8.2 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.

### 2.8.3 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 aluminium. 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. Sedang tahanan efektif dari belitan selalu berubah dengan perubahan temperatur, skin effect dan sebagainya. Sangat sulit untuk menentukan nilai yang sebenarnya dari tahanan belitan dibawah kondisi operasi. Kesalahan pengukuran kerugian 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.

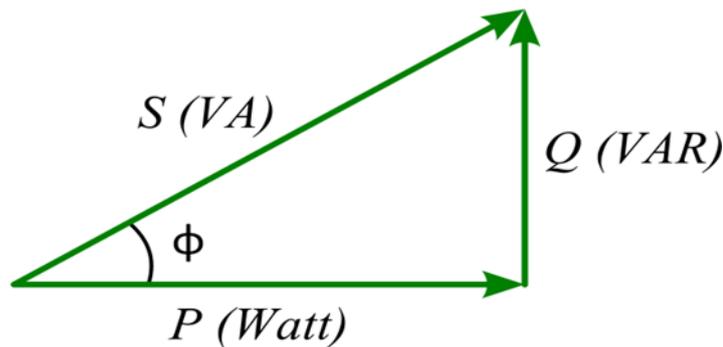
$$P_{\text{rugi-rugi}} = I^2 \times R \dots\dots\dots(2.10)$$

### 2.9 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 reaktasi 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 :

- 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).
- Daya reaktif (Q) adalah daya yang ditimbulkan oleh komponen reaktansi, daya reaktif ditentukan dari reaktansi yang menimbulkannya, dapat berupa reaktansi induktif ( $X_L$ ) atau 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 jelas dapat dilihat pada gambar sistem segi tiga daya berikut ini :



Gambar 2.11 Sistem Segitiga Daya

Dimana :

$$P=V.I.Cos.....(2.11)$$

$$Q=V.I.Sin.....(2.12)$$

$$S =V.I.....(2.13)$$

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

$$P= \sqrt{3}V_L.I_L.Cos\theta.....(2.14)$$

$$Q= \sqrt{3}.V_L.I_L.Sin \theta.....(2.15)$$

$$S= \sqrt{3}V_L.I_L.....(2.16)$$

## 2.10 Sifat – Sifat Beban Listrik<sup>6</sup>

Dalam sistem arus bolak – balik arus dapat berbeda dengan tegangan yang disebabkan oleh jenis bebannya. Harga arus yang mengalir dalam rangkaian untuk suatu tegangan tertentu yang diberikan seluruhnya ditentukan oleh tahanan rangkaian. Harga arus bolak – balik yang mengalir dalam rangkaian tidak hanya bergantung pada rangkaian tetapi juga tergantung pada induktansi dan kapasitansi rangkaian. Tahanan memberikan jenis perlawanan yang sama terhadap aliran arus bolak balik seperti terhadap arus searah.

Pada motor induksi terjadi perubahan energi listrik menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran rotor. Daya mekanik yang dihasilkan digunakan untuk berbagai keperluan sesuai dengan kebutuhan seperti digunakan untuk menggerakkan pompa minyak yang menjadi objek pengamatan pada laporan akhir ini.

Daya pada motor listrik dapat dihitung menggunakan perhitungan perphasa maupun perhitungan tiga phasa dan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P_3=3.P_1 \dots\dots\dots (2.17)$$

$$P_3=3.V_p.I_p.Cos \dots\dots\dots (2.18)$$

Harga tegangan phasa ( $V_p$ ) adalah :

$$V_p = \frac{V_L}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (2.19)$$

Dengan mensubstitusi persamaaan 2.18 ke persamaan 2.17 maka diperoleh rumus sebagai berikut :

$$P_3=\sqrt{3}.V_L.I_L.Cos \dots\dots\dots (2.20)$$

---

<sup>6</sup> Naesa, Adna Bagus. 2017. “Analisa Efisiensi Motor Induksi 3 Phasa GB 304 45 Kw Pada Blower Cooling Tower Di PT.Pupuk Sriwidjaja”. Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang

Dimana :

$P_3$  = Daya aktif tiga phasa (W)

$V_L$  = Tegangan *line-line*/tegangan *line* (V)

$V_P$  = Tegangan perphasa (V)

$I$  = Arus (A)

$\cos \theta$  = Faktor daya

### 2.11 Efisiensi

Di dalam setiap mesin daya keluaran yang tersedia adalah lebih rendah daripada daya masukannya karena terjadinya rugi-rugi didalam mesin bersangkutan. Rugi – rugi ini dapat terjadi karena adanya gesekan pada bantalan, tahanan udara dari bagian – bagian mesin yang bergerak, panas, ataupun getaran.

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

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

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

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

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

Dimana :

$\eta$  = Efisiensi (%)

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

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

### 2.12 Cooling Tower

Cooling Tower atau Menara pendingin adalah alat penghilang panas yang digunakan untuk memindahkan kalor buangan ke atmosfer. Menara pendingin

dapat menggunakan penguapan air atau menggunakan udara serta dengan fan/kipas untuk mendinginkannya. Menara pendingin umumnya digunakan untuk mendinginkan air yang dialirkan, pada kilang minyak, pabrik kimia, pusat pembangkit listrik, dan pendinginan gedung. Fungsi Cooling Tower adalah sebagai alat untuk mendinginkan air panas dari kondensor dengan cara dikontakkan langsung dengan udara secara konveksi paksa menggunakan fan/kipas. Berikut gambar Cooling tower:



Gambar 2.12 Cooling tower di PT. PLN (Persero) Keramasan Palembang

### 2.13 Fan<sup>7</sup>

Fan adalah peralatan yang menyebabkan aliran suatu fluida gas dengan cara menciptakan sebuah beda tekan melalui pertukaran momentum dari bilah fan ke partikel-partikel fluida gas. Impeller fan mengubah energi mekanik

---

<sup>7</sup> Indra, R. 2020. "Pengertian Blower dan Fan", <http://repository.unimar.amni.ac.id/2990/2/BAB%202.pdf>

rotasional menjadi energi kinetik maupun tekanan dalam fluida gas. Pembagian energy mekanik menjadi energy kinetik dan tekanan yang diciptakan serta efisiensi energi bergantung pada jenis impeller fan yang dirancang. Selain itu fan digunakan untuk memindahkan sejumlah volume udara atau gas melalui suatu saluran (duct) dan juga bisa digunakan sebagai pendinginan serta system ventilasi ruangan.

### 2.13.1 Klasifikasi Fan

Secara umum, klasifikasi fan dibagi 2 jenis yaitu :

#### A. Fan Sentrifugal

Fan sentrifugal meningkatkan kecepatan aliran udara dengan impeller berputar. Kecepatan meningkat sampai mencapai ujung blades dan kemudian diubah ke tekanan. Fan ini mampu menghasilkan tekanan yang tinggi cocok untuk kondisi operasi yang berat. Seperti dengan suhu tinggi, aliran udara yang kotor atau lembab.

Jenis-jenis dari fan sentrifugal yaitu :

#### a. Fan radial dengan bladedatar

Fan jenis ini cocok pada tekanan statis yang tinggi. Dimana rancangannya sederhana sehingga dapat dipakai khusus serta dapat beroperasi pada aliran udara yang rendah dan tanpa getaran dan tahan lama.



Gambar 2.13 Fan radial dengan blade datar

b. Fan dengan blade melengkung

Fan jenis ini dapat menggerakkan dengan volume udara yang besar terhadap tekanan udara yang relative rendah. Di desain dengan ukuran relative kecil serta tingkat kebisingannya rendah dan sangat cocok untuk pemanasan atau pendingin pada ventilasi.



Gambar 2.14 Fan dengan blade melengkung

c. Backward inclined fan

Fan jenis ini didesain dengan bentuk blades yang miring jauh dari arah putaran pada fan.



Gambar 2.15 Bacward Inclined Fan

B. Fan Axial

Fan axial dirancang untuk menangani laju aliran yang sangat tinggi dan tekanan rendah. Fan axial menggerakkan aliran udara sepanjang sumbu fan. Cara kerjanya fan ini seperti impeller pesawat terbang, blades fan menghasilkan pengangkatan aerodinamis yang menekan udara. Fan ini dirancang dengan bentuk yang kompak dan juga ringan.

Jenis- jenis dari fan axial adalah :

a. Fan propeller

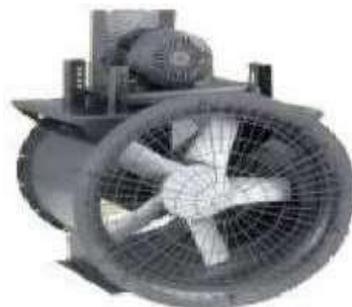
Fan dengan jenis ini menghasilkan laju udara yang tinggi pada tekanan rendah, serta tidak membutuhkan saluran kerja yang luas sebab tekanan yang dihasilkan kecil. Dimana dapat mencapai efisiensi yang maksimum hampir seperti aliran yang mengalir secara sendiri.



Gambar 2.16 Fan Propeller

b. Fan pipa axial

Fan jenis ini dengan tekanan yang lebih tinggi dan efisiensi operasinya lebih baik daripada fan propeler, sangat cocok untuk tekanan yang menengah dan penggunaan laju aliran udara yang tinggi dengan kecepatan yang tinggi.



Gambar 2.17 Fan Pipa Axial

c. Fan dengan baling baling axial

Fan jenis ini cocok pada penggunaan yang tekanannya sedang sampai tinggi, serta dapat dipercepat hingga kecepatan tertentu menghasilkan aliran pada arah berlawanan dan berguna pada berbagai penggunaan ventilasi dengan energi yang dihasilkan lebih efisien



Gambar 2.18 Fan dengan baling-baling axial