

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Motor Induksi 3 Fasa**

##### **2.1.1 Pengertian Motor Induksi 3 Fasa**

Motor induksi tiga Fasa adalah salah satu motor dengan konstruksi yang baik, harganya relative lebih murah serta mudah untuk melakukan pengaturan pada kecepatan, stabil saat dibebani dan memiliki efisiensi yang tinggi. Motor induksi saat ini paling banyak digunakan dalam dunia industri baik skala besar maupun kecil, dan banyak pula digunakan dalam kebutuhan rumah tangga. Motor induksi hanya memiliki satu suplai tenaga listrik yang mengeksitasi lilitan stator. Lilitan stator yang di eksitasi oleh tenaga listrik menginduksi lilitan rotor dengan menggunakan perubahan medan magnet yang disebabkan dari arus lilitan stator hal ini dilakukan karena belitan rotor tidak terhubung langsung kepada sumber tenaga listrik.

##### **2.1.2 Klasifikasi Motor Listrik DC**

Motor listrik arus searah adalah jenis motor listrik yang beroperasi dengan sumber tahanan arus listrik searah DC ini dapat dibedakan lagi berdasarkan sumber dayanya sebagai berikut. Motor DC sumber daya terpisah/ *Separately Excited*. Adalah jenis motor DC yang bersumber arus medan *disupply* dari sumber terpisah, sehingga motor listrik DC ini disebut motor DC sumber daya terpisah (*separately excited*). Motor DC sumber daya sendiri/ *Self Excited*. Adalah jenis motor DC sumber arus medan *disupply* dari sumber yang sama dengan kumparan motor listrik, sehingga motor listrik DC ini disebut motor DC sumber daya sendiri (*self excited*).

Motor DC sumber daya sendiri/ *self excited* ini dapat dibedakan menjadi 3 jenis berdasarkan konfigurasi supply medan dengan kumparan motornya sebagai berikut:

a. Motor DC Shunt

Pada motor DC shunt gulungan medan (medan shunt) disambungkan secara paralel dengan gulungan motor listrik. Oleh karena itu total arus merupakan penjumlahan arus medan dan arus dinamo.

b. Motor DC Seri

Pada motor DC Seri, gulungan medan (medan shut) dihubungkan secara seri dengan gulungan kumparan motor (A). Oleh karena itu, arus medan sama dengan arus dinamo.

c. Motor DC Kompon/ Gabungan

Motor kompon DC gabungan motor seri dan shunt. Pada motor kompon, gulungan medan (medan shunt) dihubungkan secara paralel dan seri dengan gulungan motor listrik.

Motor arus searah, sebagaimana namanya, menggunakan arus langsung yang tidak langsung / *direct-unidirectional*. Motor DC digunakan pada penggunaan khusus dimana diperlukan penyalaan torque yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk kisaran kecepatan yang luas.

Gambar berikut memperlihatkan sebuah motor DC yang memiliki tiga komponen

1. **Kutub medan** : Secara sederhana digambarkan bahwa interaksi dua kutub magnet akan menyebabkan perputaran pada motor DC. Motor DC memiliki kutub medan yang stasioner dan dinamo yang menggerakkan *bearing* pada ruang diantara kutub medan. Motor DC sederhana memiliki dua kutub medan : kutub utara dan kutub selatan. Garis magnetik energi membesar melintasi bukaan
2. **Dinamo** : Bila arus masuk menuju dinamo, maka arus ini akan menjadi elektromagnet. Dinamo yang berbentuk silinder, dihubungkan ke as penggerak untuk menggerakkan beban. Untuk kasus motor DC yang kecil, dinamo berputar dalam medan magnet yang dibentuk oleh kutub-kutub, sampai kutub utara dan selatan magnet berganti lokasi. Jika hal ini terjadi, arusnya berbalik untuk merubah kutub-kutub utara dan selatan dinamo
3. **Commutator** : Komponen ini terutama ditemukan dalam motor DC. Kegunaannya adalah untuk membalik arah arus listrik dalam dinamo. *Commutator* juga membantu dalam transmisi arus antara dinamo dan sumber daya.



**Gambar 2.1** Sebuah motor DC (*Direct Industry, 2005*)

Keuntungan utama motor DC adalah sebagai pengendali kecepatan, yang tidak mempengaruhi kualitas pasokan daya. Motor ini dapat dikendalikan dengan mengatur :

- a. Tegangan dinamo – meningkatkan tegangan dinamo akan meningkatkan kecepatan.
- b. Arus medan – menurunkan arus medan akan meningkatkan kecepatan.

Motor DC tersedia dalam banyak ukuran, namun penggunaannya pada umumnya dibatasi untuk beberapa penggunaan berkecepatan rendah, penggunaan daya rendah hingga sedang seperti peralatan mesin dan *rolling mills*, sebab sering terjadi masalah dengan perubahan arah arus listrik mekanis pada ukuran yang lebih besar. Juaga, motor tersebut dibatasi hanya untuk penggunaan di area yang bersih dan tidak berbahaya sebab resiko percikan bunga api pada sikatnya. Motor DC juga relatif mahal dibandingkan dengan motor AC.

Hubungan antara kecepatan, *flux* medan dan tegangan dinamo ditunjukkan dalam persamaan berikut :

$$\text{Gaya elektromagnetik : } E = K\Phi N$$

$$\text{Torque : } T = K\Phi I_a$$

Dimana :

E = gaya elektromagnetik yang dikembangkan pada terminal dinamo (volt)

$\Phi$  = flux medan yang berbanding lurus dengan arus medan

N = kecepatan dalam RPM (putaran per menit)

T =	torque elektromagnetik
$I_a$ =	arus dinamo
K =	konstanta persamaan

### 2.1.3 Bagian- Bagian Motor Induksi 3 Fasa

Motor listrik induksi terdiri dari beberapa bagian yaitu:

a. Rotor

Bagian pada motor yang berputar. Rotor umumnya berbentuk silinder dan bergerigi

b. Stator

Bagian yang diam dari motor atau bodi motor. Stator umumnya dilengkapi dengan stator winding yang bertujuan membantu putaran rotor, dimana stator winding dilengkapi dengan konduktor berupa kumparan.

c. Kipas Rotor

Kipas yang dipasangkan pada rotor, sehingga akan berputar apabila motor listrik dinyalakan. Fungsinya sebagai pendingin motor.

d. Terminal Box

Tempat sambungan antar kumparan, kabel power dan komponen lainya seperti kapasitor diletakkan.

e. Belitan Stator

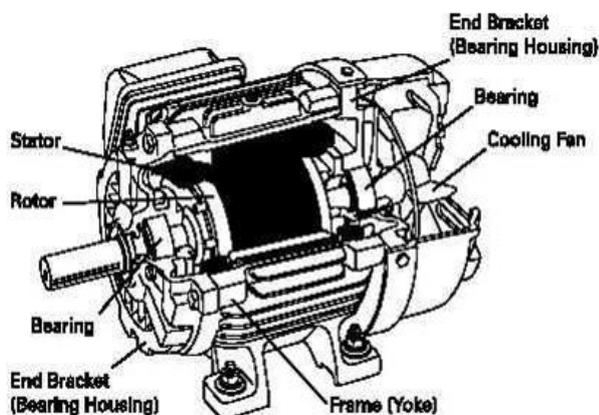
Kumparan pada stator sehingga saat dialiri listrik terjadi medan elektromagnet yang mengakibatkan adanya perbedaan 2 kutub magnet pada pada stator.

f. Bearing

Komponen yang dipasang antara rotor dan stator. Fungsinya untuk mengurangi gesekan antara rotor dan stator saat motor dinyalakan

g. Poros /shaft

Yaitu bagian dari stator, tempat dimana kipas pendingin dipasang dan tenaga dari motor akan disalurkan.



**Gambar 2.2** *Bagian stator*

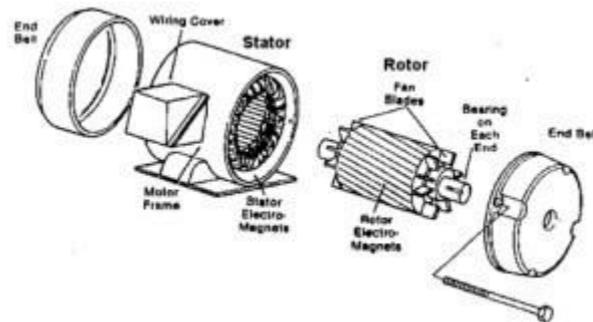
#### **2.1.4 Komponen-Komponen Motor Listrik**

Motor listrik merupakan seperangkat kombinasi yang terdiri dari berbagai jenis komponen, sehingga membentuk sistem kerja yang teratur. Semua komponen diatur sedemikian rupa sehingga bekerja sesuai dengan fungsi masing-masing. Jika salah satu komponen terganggu atau tidak berfungsi maka seluruh komponen lain ikut terganggu sehingga motor tidak bekerja secara normal.

Zuhal (1991:64/91) menyebutkan, bahwa komponen-komponen motor listrik secara umum terdiri dari:

- a. Poros utama yang dilengkapi lubang motor, komutator dan air fan.
- b. Jangkar
- c. Holder sikat, pegas dan sikat karbon
- d. Koil medan dan koil stator
- e. Frame motor

Komponen-komponen motor listrik ini tidak mutlak seperti tersebut di atas, melainkan dapat berubah sesuai jenis motor listrik, kecuali perangkat utamanya. Lebih jelasnya kita dapat melihat komponen-komponen utama tersebut berdasarkan gambar berikut:



**Gambar 2.3** *Bagian Motor Induksi*

Motor induksi memiliki dua komponen listrik utama :

- a. Rotor. Motor induksi menggunakan dua jenis rotor:
  - Rotor kandang tupai terdiri dari batang penghantar tebal yang dilekatkan dalam petak-petak slots paralel. Batang-batang tersebut diberi hubungan pendek pada kedua ujungnya dengan alat cincin hubungan pendek.
  - Lingkaran rotor yang memiliki gulungan tiga fase, lapisan ganda dan terdistribusi. Dibuat melingkar sebanyak kutub stator. Tiga fase digulungi kawat pada bagian
- b. Stator. Stator dibuat dari sejumlah stampings dengan slots untuk membawa gulungan tiga fase. Gulungan ini dilingkarkan untuk sejumlah kutub yang tertentu. Gulungan diberi spasi geometri sebesar  $120^\circ$ .

### 2.1.5 Prinsip Kerja Motor Induksi 3 Fasa

Prinsip kerja motor induksi 3 fasa didapat berdasarkan pada hukum Faraday dimana tegangan induksi akan ditimbulkan oleh perubahan induksi magnet pada suatu lilitan dan hukum Lorentz dimana perubahan magnet akan menimbulkan gaya, hal ini dijelaskan sebagai berikut:

1. Jika sumber tegangan tiga phasa dihubungkan pada kumparan stator, maka akan timbul medan putar stator dengan kecepatan:

$$n_s = \frac{120.f}{p}$$

dengan:  $n_s$  = Kecepatan medan putar stator (rpm)

$f$  = Frekuensi jaringan (Hz)

$P$  = Jumlah kutub

2. Medan putar stator akan memotong batang konduktor pada rotor, sehingga akan timbul gaya gerak listrik (ggl) induksi pada kumparan stator.
3. Rangkaian rotor merupakan rangkaian tertutup, maka akan timbul arus (I) pada kumparan motor hal ini dikarenakan adanya ggl induksi yang yang dihasilkan dari kumparan stator.
4. Adanya arus (I) di dalam medan magnet akan menimbulkan gaya mekanik (F) pada rotor. Jika torsi mula ( $T_e$ ) yang dihasilkan oleh gaya rotor cukup besar untuk memikul torsi beban ( $T_L$ ), maka rotor akan berputar searah dengan medan putar stator  $n_s$  dengan kecepatan putar rotor  $n_r$ .
5. Perbedaan antara  $n_s$  dan  $n_r$  disebut dengan slip (S), dinyatakan dengan:
 
$$S = \left( \frac{n_s - n_r}{n_s} \right) \times 100\%$$
6. Apabila  $n_s = n_r$  maka tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak mengalir pada kumparan jangkar rotor, sehingga tidak akan timbul torsi ( $T_e$ ). Torsi akan timbul apabila  $n_r$  lebih kecil dari  $n_s$ .

### 2.1.6 Efisiensi pada Motor Induksi

Efisiensi motor dapat didefinisikan sebagai “perbandingan daya keluaran motor yang digunakan terhadap daya masukan pada terminalnya” yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\eta \% = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \%$$

Dengan :  $\eta$  = efisiensi motor (%)

Faktor- faktor yang memengaruhi efisiensi adalah:

1. Usia. Motor baru lebih efisien.
2. Kapasitas. Sebagaimana pada hampir kebanyakan peralatan, efisiensi motor meningkat dengan laju kapasitasnya.
3. Kecepatan. Motor dengan kecepatan yang lebih tinggi biasanya lebih efisien.
4. Jenis rotor. Sebagai contoh, bahwa motor dengan rotor sangkar biasanya lebih efisien daripada motor dengan rotor belitan/cincin geser.
5. Suhu. Motor yang didinginkan oleh fan dan tertutup total (TEFC) lebih efisien dari pada motor *screen protected drip-proof* (SPDP).
6. Penggulungan ulang motor dapat mengakibatkan penurunan efisiensi.
7. Beban. Motor akan mempunyai efisiensi yang berbeda dengan beban yang berbeda pula.

Efisiensi motor ini 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%. Tabel 2.1 memperlihatkan jenis rugi-rugi atau kehilangan pada motor induksi.

**Tabel 2.1** Jenis rugi- rugi pada motor induksi

<b>Jenis Rugi- rugi</b>	<b>Persentase Rugi- rugi total (%)</b>
Rugi- rugi tetap atau rugi- rugi inti	25
Rugi- rugi variable: rugi- rugi pada stator	34
Rugi- rugi variable: rugi- rugi pada rotor	21
Rugi- rugi gesekan dan penggulangan ulang	15
Rugi- rugi beban yang menyimpang	5

Ada beberapa upaya yang dilakukan untuk menaikkan efisiensi pada motor induksi yang dapat dijelaskan sebagai berikut :

### **1. Mengganti motor standar dengan motor yang lebih efisien**

Sebagai hasil dari modifikasi dalam meningkatkan kinerja motor, biasanya harga motor yang efisiensinya lebih tinggi akan lebih mahal dari pada harga motor standar. Harga yang lebih tinggi biasanya akan terbayar kembali dengan cepat melalui penurunan biaya operasi, terutama pada penggunaan baru atau pada pengganti motor yang masa pakainya sudah habis. Namun, untuk penggantian motor lama yang belum habis masa pakainya dengan motor yang lebih efisien tidak selalu menguntungkan secara finansial. Oleh karena itu, direkomendasikan untuk mengganti motor yang lama ini dengan motor yang efisiensinya lebih tinggi apabila motor-motor yang lama tersebut sudah rusak. Tabel 3.2 memperlihatkan peluang strategi dalam penggunaan motor induksi untuk meningkatkan efisiensi motor.

**Tabel 2.2** Area perbaikan efisiensi yang digunakan pada motor induksi

<b>Area Rugi-Rugi Energi</b>	<b>Peningkatan Efisiensi</b>
1. Besi	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Digunakan <i>gauge</i> yang lebih tipis sebab rugi-rugi inti baja yang lebih rendah menurunkan rugi-rugi arus eddy.</li> <li>2. Inti lebih panjang yang dirancang menggunakan baja akan mengurangi rugi-rugi daya karena masa jenis <i>flux</i> operasi yang lebih mudah.</li> </ol>
2. Pada stator	Menggunakan lebih banyak tembaga dan konduktor yang lebih besar meningkatkan luas lintang penggulangan stator. Hal ini akan menurunkan tahanan ( R ) dari penggulangan dan mengurangi rugi-rugi daya karena aliran arus ( I ).
3. Pada rotor	Penggunaan batang konduktor rotor yang lebih besar meningkatkan potongan lintang. Dengan demikian, merendahkan tahanan konduktor ( R ) dan rugi-rugi daya yang diakibatkan oleh aliran arus ( I ).
4. Gesekan & Penggulangan	Menggunakan rancangan fan/kipas dengan rugi-rugi daya diakibatkan oleh pergerakan udara.
5. Rugi-rugi daya beban yang menyimpang	Menggunakan rancangan yang sudah dioptimalkan dan prosedur pengendalian kualitas yang ketat akan meminimalkan rugi-rugi daya beban yang menyimpang.

## 2. Mengoptimalkan pembebanan motor

Beban yang kurang akan meningkatkan rugi-rugi daya motor dan menurunkan efisiensi motor dan faktor daya. Beban yang kurang mungkin merupakan penyebab yang paling umum ketidakefisiensi dengan beberapa alasan sebagai berikut:

- a. Pembuat peralatan cenderung menggunakan faktor keamanan yang besar bila memilih motor.
- b. Peralatan kadang kala digunakan dibawah kemampuan yang semestinya. Sebagai contoh, pembuat peralatan mesin memberikan nilai motor untuk kapasitas alat dengan beban penuh.
- c. Dipilih motor besar agar mampu mencapai keluaran pada tingkat yang dikehendaki, bahkan jika tegangan masuk rendah dalam keadaan tidak normal.

- d. Dipilih motor besar untuk penggunaan yang memerlukan *torque* awal yang tinggi, akan tetapi lebih baik bila digunakan motor lebih kecil yang dirancang dengan *torque* tinggi.

### 3. Ukuran motor untuk beban yang bervariasi

Motor industri seringkali beroperasi pada kondisi beban yang bervariasi karena permintaan proses. Praktek yang umum dilakukan dalam situasi seperti ini adalah memilih motor berdasarkan beban antisipasi tertinggi. Alternatifnya adalah memilih motor berdasarkan kurva lama waktu pembebanan untuk penggunaan khusus. Hal ini berarti bahwa nilai motor yang dipilih sedikit lebih rendah dari pada beban antisipasi tertinggi dan sekali- kali terjadi beban berlebih untuk jangka waktu yang pendek. Risiko terbesar adalah pemanasan berlebih pada motor yang berpengaruh merugikan pada umur motor, efisiensi, serta meningkatkan biaya operasi.

Pemanasan berlebih pada motor dapat terjadi sebagai berikut :

- a. Perubahan beban yang ekstrim, seperti seringnya jalan dan berhenti secara berulang atau tingginya beban awal.
- b. Beban berlebih yang sering dan dalam jangka waktu yang lama.
- c. Terbatasnya kemampuan motor dalam mendinginkan, contoh pada lokasi yang tinggi, dalam lingkungan yang panas atau jika motor tertutupi atau kotor.

Jika beban bervariasi terhadap waktu, metode pengendalian kecepatan dapat diterapkan sebagai tambahan terhadap ukuran motor yang tepat.

### 4. Memperbaiki kualitas daya

Kinerja motor dipengaruhi oleh kualitas daya yang masuk yang ditentukan oleh tegangan dan frekuensi aktual dibandingkan dengan nilai dasar. Ketidakseimbangan tegangan bahkan dapat lebih merugikan kinerja motor dan terjadi apabila tegangan 3-fasa dari motor induksi 3fasa tidak sama. Hal ini biasanya disebabkan oleh perbedaan pasokan tegangan untuk setiap fasa pada 3-fasa. Dapat juga diakibatkan dari penggunaan kabel dengan ukuran yang berbeda pada sistem distribusinya.

Ketidakseimbangan tegangan dapat diminimalisir dengan cara sebagai berikut :

- a. Menyeimbangkan setiap beban fasa tunggal diantara seluru 3-fasa.
- b. Memisahkan setiap beban fasa tunggal yang mengganggu keseimbangan beban dan umpankan dari jalur trafo terpisah.

### 5. Penggulungan Ulang Kumparan

Penggulungan ulang untuk motor yang terbakar sudah umum dilakukan oleh industri. Jumlah motor yang sudah digulung ulang di beberapa industri lebih dari 50% dari jumlah total motor. Penggulungan ulang dapat memengaruhi sejumlah faktor

yang berkontribusi terhadap memburuknya efisiensi motor seperti desain *slot* dan gulungan, bahan gulungan, kinerja pengisolasi, dan suhu operasi. Sebagai contoh, bila panas diterapkan pada pita gulungan lama maka pengisolasi diantara laminasinya dapat rusak sehingga meningkatkan rugi-rugi arus eddy.

Dampak dari penggulangan ulang pada efisiensi motor dan faktor daya dapat dikaji dengan mudah jika rugi-rugi motor tanpa beban diketahui sebelum dan sesudah penggulangan ulang. Informasi rugi-rugi tanpa beban dapat ditemukan pada dokumentasi motor yang diperoleh pada saat pembelian. Indikator keberhasilan penggulangan ulang adalah perbandingan arus dan tahanan stator tanpa beban per fasa motor yang digulung ulang dengan arus dan tahanan stator orisinil tanpa beban pada tegangan yang sama. Pada saat menggulung ulang motor perlu mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut :

- a. Gunakan perusahaan yang bersertifikasi ISO 9000 atau anggota dari Asosiasi Layanan Peralatan Listrik.
- b. Ukuran motor kurang dari 40 HP dan usianya lebih dari 15 tahun (terutama motor yang sebelumnya sudah digulung ulang) sering memiliki efisiensi yang lebih rendah dari pada model yang tersedia saat ini. Cara yang terbaik adalah menggantinya ( dapat juga mengganti motor biasa dengan beban dibawah 15 HP ).
- c. Jika biaya penggulangan ulang melebihi 50% hingga 60% dari harga motor baru yang lebih efisien, lebih baik membeli motor baru karena meningkatnya kehandalan dan efisien akan dengan cepat menutupi pembayaran harga motor.

## **6. Koreksi faktor daya dengan memasang kapasitor**

Karakteristik motor induksi mempunyai faktor daya yang kurang dari satu sehingga menyebabkan efisiensi motor secara keseluruhan lebih rendah dengan biaya operasi keseluruhan yang lebih tinggi. Kapasitor yang disambung secara paralel (*shunt*) dengan motor sering digunakan untuk memperbaiki faktor daya. Manfaat dari koreksi faktor daya meliputi penurunan kebutuhan KVA (mengurangi biaya kebutuhan utilitas), penurunan rugi-rugi daya  $I^2R$  pada kabel di bagian hulu kapasitor (mengurangi biaya energi), berkurangnya penurunan tegangan pada kabel (mengakibatkan pengaturan tegangan meningkat), dan menaikkan efisiensi sistem listrik pengguna secara keseluruhan.

## 7. Meningkatkan perawatan

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

- a. Pemeriksaan motor secara teratur untuk pemakaian *bearing* dan rumahnya (untuk mengurangi rugi-rugi daya karena gesekan) dan untuk kotoran/debu pada saluran ventilasi motor (untuk menjamin pendinginan motor).
- b. Pemeriksaan kondisi beban untuk menyakinkan bahwa motor tidak kelebihan atau kekurangan beban.
- c. Pemberian pelumas secara teratur.
- d. Pemeriksaan secara berkala untuk sambungan motor yang benar dan peralatan yang digerakkan.
- e. Dipastikan bahwa kawat pemasok dan ukuran kotak terminal dan pemasangannya benar.
- f. Penyediaan ventilasi yang cukup dan menjaga agar saluran pendingin motor bersih agar membantu penghilangan panas untuk mengurangi rugi-rugi daya yang berlebihan.

### 2.1.7 Kecepatan Motor Induksi

Motor induksi bekerja sebagai berikut. Listrik dipasok ke stator yang akan menghasilkan medan magnet. Medan magnet ini bergerak dengan kecepatan sinkron disekitar rotor. Arus rotor menghasilkan medan magnet kedua, yang berusaha untuk melawan medan magnet stator, yang menyebabkan rotor berputar.

Walaupun begitu, didalam prakteknya 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 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”. Persamaan berikut dapat digunakan untuk menghitung presentase slip/geseran (Parekh, 2003) :

$$\% Slip = \frac{N_s - N_b}{N_s} \times 100$$

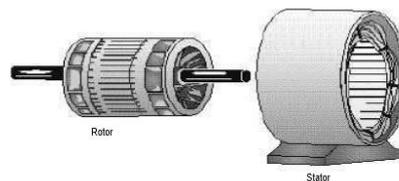
Dimana :

$N_s$  = kecepatan sinkron dalam RPM

$N_b$  = kecepatan dasar dalam RPM

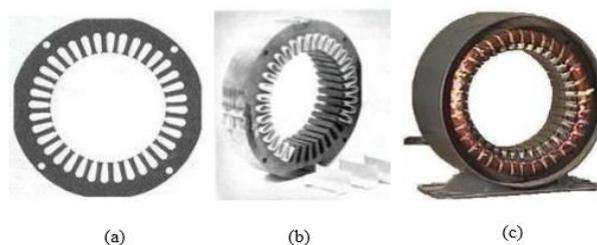
### 2.1.8 Kontruksi Motor Induksi

Motor induksi merupakan motor listrik arus searah (dc) yang paling luas digunakan, karena konstruksinya yang kuat dan karakteristik kerjanya yang baik. Secara umum motor induksi terdiri dari rotor dan stator. Rotor merupakan bagian yang bergerak, sedangkan stator bagian yang diam. Diantara stator dengan rotor ada celah udara yang jaraknya sangat kecil. Konstruksi motor induksi dapat diperlihatkan pada Gambar 2.4.



**Gambar 2.4** Konstruksi motor induksi

Komponen stator adalah bagian terluar dari motor yang merupakan bagian yang diam dan mengalirkan arus fasa. Stator terdiri atas tumpukan laminasi inti yang memiliki alur yang menjadi tempat kumparan dililitkan yang berbentuk silindris. Alur pada tumpukan laminasi inti diisolasi dengan kertas (Gambar 2.5.(b)). Tiap elemen laminasi inti dibentuk dari lembaran besi (Gambar 2.5 (a)). Tiap lembaran besi tersebut memiliki beberapa alur dan beberapa lubang pengikat untuk menyatukan inti. Tiap kumparan tersebar dalam alur yang disebut belitan fasa dimana untuk motor 3 fasa, belitan tersebut terpisah secara listrik sebesar  $120^\circ$ . Kawat kumparan yang digunakan terbuat dari tembaga yang dilapis dengan isolasi tipis. Kemudian tumpukan inti dan belitan stator diletakkan dalam cangkang silindris (Gambar 2.5.(c)). Berikut ini contoh lempengan laminasi inti, lempengan inti yang telah disatukan, belitan stator yang telah dilekatkan pada cangkang luar untuk motor induksi 3 fasa.



**Gambar 2.5** Komponen Stator Motor Induksi Tiga Fasa

(a) Lempengan inti, (b) Tumpukan inti dengan kertas isolasi pada beberapa alurnya, (c) Tumpukan inti dan kumparan dalam cangkang stator.

Diantara stator dan rotor terdapat celah udara yang merupakan ruangan antara stator dan rotor. Pada celah udara ini lewat fluks induksi stator yang memotong kumparan rotor sehingga menyebabkan rotor berputar. Celah udara yang terdapat antara stator dan rotor diatur sedemikian rupa sehingga didapatkan hasil kerja motor yang optimum. Bila celah udara antara stator dan rotor terlalu besar akan mengakibatkan efisiensi motor induksi rendah, sebaliknya bila jarak antara celah terlalu kecil/sempit akan menimbulkan kesukaran mekanis pada mesin. Adapun tipe-tipe motor induksi tiga fasa berdasarkan konstruksi rotornya yaitu motor induksi 3 fasa rotor sangkar tupai ( squirrel-cage rotor) dan motor induksi 3 fasa rotor belitan ( wound rotor). Kedua motor ini bekerja pada prinsip yang sama dan mempunyai konstruksi stator yang sama tetapi berbeda dalam konstruksi rotor.

Pertimbangan terhadap rugi-rugi motor listrik merupakan hal yang penting berdasarkan ketiga alasan berikut:

- a. Rugi-rugi menentukan efisiensi motor dan cukup berpengaruh terhadap biaya pemakaiannya;
- b. Rugi-rugi menentukan pemanasan motor sehingga menentukan pula keluaran daya atau ukuran yang diperbolehkan tanpa mempercepat keausan;
- c. Rugi-rugi mempengaruhi daya tahan motor.

Bila motor listrik tidak diproteksi maka tidak nyaman dan tidak aman digunakan. Motor listrik yang rusak harus diperbaiki dan membutuhkan biaya, semakin sering rusak semakin sering mengeluarkan biaya, ini sangat merugikan pemiliknya. Selama perbaikan akan mengalami kerugian waktu akibat tidak bisa bekerja dengan motor listrik. Secara langsung kerusakan peralatan motor listrik akan mengganggu ekonomi masyarakat. Motor listrik dapat juga menimbulkan bahaya kebakaran. Penggunaan tanpa kendali mengakibatkan panas yang berlebihan dan motor terbakar. Kebakaran motor dapat menjalar ketempat lain melalui jaringan listrik, tanpa pengamanan akan menyebabkan kebakaran rumah dan lingkungan sekitarnya. Selain itu tanpa proteksi motor listrik juga dapat menimbulkan kebisingan dari bunyi yang dihasilkannya. Untuk mengatasimasalah ini dibutuhkan proteksi yang mampu memberikan kenyamanan dan keamanan dalam menggunakan motor listrik.

Pengetahuan mengenai arus-arus yang timbul dari berbagai tipe gangguan pada suatu lokasi merupakan hal yang sangat esensial bagi pengoperasian sistem proteksi secara efektif. Jika terjadi gangguan pada sistem, para operator yang merasakan adanya gangguan tersebut diharapkan segera dapat mengoperasikan circuit-circuit yang tepat untuk mengeluarkan sistem

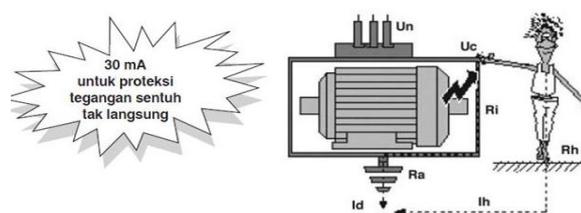
yang terganggu atau memisahkan pembangkit dari jaringan yang terganggu. Sangat sulit bagi seorang operator untuk mengawasi gangguan-gangguan yang mungkin terjadi dan menentukan CB mana yang diperoperasikan untuk mengisolir gangguan tersebut secara manual.

## 2.2. Gangguan Hubung Singkat

Hubung singkat merupakan suatu hubungan abnormal (termasuk busur api) pada impedansi yang relatif rendah terjadi secara kebetulan atau disengaja antara dua titik yang mempunyai potensial yang berbeda. Hubung singkat terjadi akibat dari faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal dari gangguan adalah rusaknya peralatan listrik. Faktor eksternal adalah antara lain cuaca buruk, seperti badai, hujan, dingin; bencana, seperti gempa bumi, angin ribut, kecelakaan kendaraan; runtuhnya pohon; petir; aktivitas konstruksi, ulah manusia, dan lain-lain. Sebagian besar gangguan terjadi karena cuaca buruk, yaitu hujan atau badai, dan pohon. Untuk mengatasi gangguan tersebut, maka dipasang suatu komponen proteksi yang berfungsi sebagai pemutus saat terjadi hubung singkat.

## 2.3. Gangguan Arus Bocor

Arus dikatakan bocor jika arus mengalir diluar konduktor (kabel misalnya). Bisa saja ada isolasi kabel yang terkelupas sehingga menempel pada body atau benda lainnya. Arus pun akan mengalir. Dengan adanya grounding maka arus tersebut yang berpotensi mengancam manusia dapat dibuang ke bumi



**Gambar 2.6** Tegangan tak langsung.

Sekring atau *fuse* adalah alat yang dapat memutuskan arus listrik pada saat terjadi hubung singkat (*short*) atau arus berlebih (*overcurrent*). Kelebihan arus tersebut dapat disebabkan karena adanya hubung singkat atau karena kelebihan beban output.

Spesifikasi *Fuse* :

Manufacture : Siemens  
 Tag Number : 3 NA1 332  
 Current : 400 A  
 Voltage : 600 AC/ 300 DC



**Gambar 2.7** *Fuse* pada motor FDF

Ketika pada rangkaian listrik motor FDF yang digunakan hubung singkat/konslet, maka arus listrik yang mengalir pada rangkaian akan membesar, sehingga menyebabkan panas padakabel penghantar, jika keadaan ini berlangsung lama, maka kabel akan terbakar dan membakar material yang ada disekitarnya yang mudah terbakar seperti kayu, kertas, plastik dll. Dengan dipasang sekring pada rangkaian listrik, maka kebakaran akan dapat dihindari karena ketika terjadi hubung singkat pada rangkaian listrik, maka dalam waktuseper sekian detik arus listrik akan terputus dengan cepat, sehingga pada kabel penghantar tidak terjadi panas yang berlebihan dan kebakaran pun dapat dihindari. Besarnya arus yang dapat meleburkan suatu pengaman lebur disebut faktor lebur.

Besarnya faktor lebur antara 1 hingga 1,5 berdasarkan daerah pemakaian, atau dinyatakan sbb:

$$K = \frac{I}{I_n} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

I = Arus kerja (A)

K = Faktor indikasi (1,1<K<1,5)

I<sub>n</sub> = Arus nominal (A)

$$I_{sc} = k \times I_{start} \dots\dots\dots (2.2)$$

*Thermal Overload Relay* ( TOR ) yaitu alat proteksi beban lebih, dimaksudkan untuk melindungi motor terhadap pemanasan berlebihan yang diakibatkan oleh beban lebih atau diakibatkan oleh motor yang tidak dapat diasut.

Spesifikasi TOR :

Manufacture : Fuji Electric  
 Tag Number : TR- N10H/3  
 Setting Range : 125-185 A  
 Frekuensi : 50/60 Hz



**Gambar 2.8** TOR pada motor FDF

Arus yang terlalu besar yang timbul pada beban motor FDF akan mengalir pada belitan Motor listrik yang dapat menyebabkan kerusakan dan terbakarnya belitan motor listrik untuk menghindari hal itu dipasang termal beban lebih pada alat pengontrol. Prinsip kerja termal beban lebih berdasarkan panas (temperature) yang ditimbulkan oleh arus yang mengalir melalui elemen–elemen pemanas bimetal. Dan sifatnya pelengkungan bimetal akibat panas yang ditimbulkan, bimetal akan menggerakkan kontak-kontak mekanis pemutus rangkaian listrik (Kontak 95-96 membuka).

TOR bekerja berdasarkan prinsip pemuaian dan benda bimetal. Apabila benda terkena arus yang tinggi, maka benda akan memuai sehingga akan melengkung dan memutuskan arus. Arus yang berlebih akan menimbulkan panas, sehingga dapat membengkokkan benda bimetal. Untuk mengatur besarnya arus maksimum yang dapat melewati TOR, dapat diatur dengan memutar penentu arus dengan menggunakan obeng sampai didapat harga yang diinginkan. Pada rangkaian motor FDF menggunakan thermal overload yang bekerja lambat, sebab waktu motor start arus dapat mencapai 6 kali nominal, sehingga apabila digunakan pengaman yang bekerja cepat, maka pengamannya akan putus setiap motor dijalankan. Pengaman beban lebih ini bisa di pasang langsung dengan kontaktornya maupun terpisah sehingga sangat fleksibel untuk pemasangannya di dalam panel. Pada motor FDF arus yang

mengalir normal adalah 138 Ampere ,sedangkan pada TOR arus disetting sebesar 139 Ampere, karena menurut aturannya  $I\text{-setting} = I\text{ nominal} \times 110\%$  .

$$I - \text{Setting} = 138 A \times 110\% \dots\dots\dots ( 2.3 )$$

*Earth Leakage Relay* di PT. PLN ( Persero ) UPRD Sektor Keramasan digunakan untuk mengamankan body panel dari arus bocor, agar apabila saat terjadi kebocoran arus dan ada pekerja disekitar panel yang menyentuh body panel tersebut maka pekerja tersebut akan aman. Arus dikatakan bocor jika arus mengalir diluar konduktor (kabel misalnya). Bisa saja ada isolasi kabel yang terkelupas sehingga menempel pada body atau benda lainnya. Arus pun akan mengalir. Dengan adanya grounding maka arus tersebut yang berpotensi mengancam manusia dapat dibuang ke bumi. ELR yang dipasang pada mesin *Forced Draft Fan* ( FDF ) disetting dengan arus 200mA-500mA.

Maksudnya apabila terjadi arus bocor yang melebihi nilai penettingan pada ERL seperti 310mA, maka ERL akan bekerja dan rangkaian akan trip. Untuk memutuskan arus bocor yang terjadi ke body, trafo ukur akan mendeteksi arus yang bocor dan membangkitkan fluksi magnet. Fluksi magnet tersebut menggerakkan kontak-kontak *Earth Leakage Relay* sehingga amanlah body panel.

Spesifikasi ELR :

Manufacture : Fuji Elektric

Tripping Current : 200-500 mA



**Gambar 2.9** ELR pada motor FDF

ELR dilengkapi dengan tombol pengujian ( *test* ) dan tombol penyetelan ulang ( *reset* ) .Menekan tombol pengujian ( *test* ) memungkinkan kesalahan yang akan disimulasikan dan relay output beroperasi sesuai. Menekan tombol penyetelan ulang ( *reset* ) setelah terjadi kesalahan akan mengembalikan unit kembali ke operasi normal. Lampu LED merah akan menyala setelah satuan berjalan karena kesalahan arus yang berlebihan .

Terjadinya kebocoran arus pada panel bisa saja terjadi karena isolasi yang sudah tidak memenuhi standar nya lagi, untuk standar tahanan pada isolasi yang layak digunakan adalah :

$$R_{isolasi} = 1000\Omega \cdot v \dots\dots\dots ( 2.4)$$

Dimana :

V = Tegangan pada motor

Untuk menghitung penyetelan arus bocor digunakan rumus sebagai berikut :

$$I_{bocor} = \frac{V}{R_{isolasi}} \dots\dots\dots ( 2.5)$$

Dimana :

$R_{isolasi}$  = Tahanan yang berlaku pada alat