

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Pada Pembangkit system tenaga listrik banyak sekali menggunakan motor listrik. Motor listrik didefinisikan sebagai, “Alat yang mengkonversi energi listrik menjadi energi gerak. Perubahan tenaga elektromagnetik terjadi pada saat adanya arus yang melewati kawat penghantar dalam medan magnet”. (Fitzgerald dkk.1997:123)

Motor listrik ada menggunakan arus bolak balik atau disebut arus AC (Alternative Current) dan ada yang menggunakan arus searah atau disebut arus DC (Direct current). Kedua jenis motor ini memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Penggunaan motor listrik baik arus searah maupun arus bolak-balik tergantung pada tempat dan kebutuhan, sehingga motor listrik dapat dimanfaatkan secara efektif. Motor listrik AC atau DC yang dirancang sedemikian rupa selalu dilengkapi dengan sistem perlindungan. Apabila tidak dilengkapi sistem perlindungan, maka motor listrik akan cepat rusak. Kerusakan yang terjadi sangat rugi dan berbahaya bagi pemakai ataupun lingkungannya. Motor listrik dapat terbakar karena terjadi hubungan pendek yang menyebabkan terbakarnya isolasi kabel. Jika terlambat mematikan motor maka mengakibatkan rotor hangus dan tidak dapat digunakan lagi. Pemakaian yang melebihi beban menyebabkan panas yang tinggi, sehingga terjadi kemacetan putar akibat pemuaian komponen motor yang berputar.(Djiteteng marsudi 2004:67):

#### **2.2 Landasan Teori**

##### **2.2.1 Jenis – Jenis Motor Listrik**

Berbagai macam motor listrik yang tersedia dipasaran. Untuk mempermudah pengelompokan maka motor listrik terbagi dua yaitu :

###### **Motor Arus Bolak-Balik (*Alternating Current*)**

Motor arus bolak balik (AC) terbagi menjadi :

- a. Motor sinkron
- b. Motor Induksi terbagi lagi menjadi :
  1. Motor induksi 1 fasa

## 2. Motor induksi 3 fasa

### **Motor Arus Searah (*Direct Current*)**

Motor arus searah (DC) terbagi menjadi :

- a. Motor DC *shunt*
- b. Motor DC seri
- c. Motor DC *Compound*.

#### **2.2.2 Motor Induksi Tiga Fasa**

Motor induksi adalah motor listrik arus bolak-balik (AC) yang putaran rotornya tidak sama dengan putaran medan putar pada stator, dengan kata lain putaran rotor dengan putaran medan pada stator terdapat selisih putaran yang disebut *slip*.

Motor induksi, merupakan motor yang memiliki konstruksi yang baik, harganya lebih murah dan mudah dalam pengaturan kecepatan, stabil ketika berbeban dan mempunyai efisiensi tinggi. Motor induksi adalah motor (AC) yang paling banyak digunakan dalam industri dengan skala besar maupun kecil, dan dalam rumah tangga. Motor induksi ini pada umumnya hanya memiliki satu suplai tenaga yang mengeksitasi belitan stator. Belitan rotornya tidak terhubung langsung dengan sumber tenaga listrik, melainkan belitan ini dieksitasi oleh induksi dari perubahan medan magnetik yang disebabkan oleh arus pada belitan stator.

Hampir semua motor ac yang digunakan adalah motor induksi, terutama motor induksi tiga fasa yang paling banyak dipakai di perindustrian karena banyak memiliki keuntungan, tetapi ada juga kelemahannya.

##### 1. Keuntungan motor induksi tiga fasa:

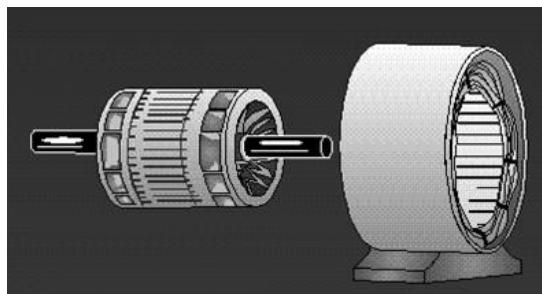
- a. Motor induksi tiga fasa sangat sederhana dan kuat.
- b. Biayanya murah dan dapat diandalkan.
- c. Motor induksi tiga fasa memiliki efisiensi yang tinggi pada kondisi kerja normal.
- d. Perawatannya mudah

##### 2. Kerugian motor induksi tiga fasa:

- a. Kecepatannya tidak bisa bervariasi tanpa merubah efisiensi.
- b. Kecepatannya tergantung beban.
- c. Pada torsi start memiliki kekurangan.

### 2.2.3 Konstruksi motor induksi tiga fasa

Motor induksi adalah motor ac yang paling banyak dipergunakan, 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



Gambar 2.1 gambar 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

### 2.2.4 Jenis Motor Induksi Tiga Fasa Dari Segi Rotor

Ada dua jenis motor induksi tiga fasa berdasarkan rotornya yaitu:

- a. Motor induksi tiga fasa rotor sangkar tupai
- b. Motor induksi tiga fasa rotor belitan

Kedua motor ini bekerja pada prinsip yang sama dan mempunyai prinsip konstruksi stator yang sama tetapi berbeda dalam konstruksi rotor.

#### a. Motor induksi tiga fasa rotor sangkar tupai

Penampang motor sangkar tupai memiliki konstruksi yang sederhana. Inti stator pada motor sangkar tupai tiga fasa terbuat dari lapisan-lapisan pelat baja beralur yang didukung dalam rangka stator yang terbuat dari besi tuang atau pelat baja yang dipabrikasi. Lilitan-lilitan kumparan stator diletakkan dalam alur stator yang terpisah 1200 derajat listrik. Lilitan fasa ini dapat tersambung dalam

hubungan delta ( $\Delta$ ) ataupun bintang (Y)

Rotor jenis sangkar ditunjukkan pada Gambar 2.2 dibawah ini



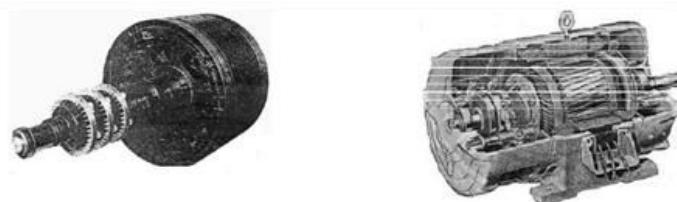
Gambar 2.2 Rotor jenis sangkar

### b. Motor induksi tiga fasa rotor belitan

Motor rotor belitan (motor cincin slip) berbeda dengan motor sangkar tupai dalam hal konstruksi rotornya. Seperti namanya, rotor dililit dengan lilitan terisolasi serupa dengan lilitan stator. Lilitan fasa rotor dihubungkan secara Y dan masing-masing fasa ujung terbuka yang dikeluarkan kecincin slip yang terpasang pada poros motor.

cincin slip yang terhubung kesebuah tahanan variabel eksternal yang berfungsi membatasi arus pengasutan dan yang bertanggung jawab terhadap pemanasan rotor. Selama pengasutan, penambahan tahanan eksternal pada rangkaian rotor belitan menghasilkan torsi pengasutan yang lebih besar dengan arus pengasutan yang lebih kecil disbanding dengan rotor sangkar.

Konstruksi motor tiga fasa rotor belitan ditunjukkan pada gambar 2.3 dibawah ini.



Gambar 2.3 Konstruksi motor tiga fasa rotor belitan

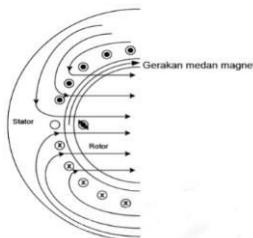
## 2.2.5 Prinsip kerja motor induksi tiga fasa

Motor induksi adalah peralatan pengubah energi listrik ke bentuk energi mekanik. Pengubahan energi ini bergantung pada keberadaan fenomena alami magnet, medan listrik, gaya mekanis dan gerak.

Jika pada belitan stator diberi tegangan tiga fasa, maka pada belitan stator akan mengalir arus tiga fasa, arus ini menghasilkan medan magnet yang berputar dengan kecepatan sinkron ( $n_s$ ). medan magnet ini akan memotong belitan rotor,

sehingga pada belitan rotor akan diinduksikan tegangan seperti halnya tegangan yang diinduksikan dalam lilitan sekunder transformator oleh fluksi yang dihasilkan arus pada belitan primer. Rangkaian rotor merupakan rangkaian tertutup, baik melalui cincin ujung atau tahanan luar. Tegangan induksi pada rotor akan menghasilkan arus yang mengalir pada belitan rotor. Arus yang mengalir pada belitan rotor berada dalam medan magnet yang dihasilkan stator, sehingga pada belitan rotor akan dihasilkan gaya ( $F$ ). gaya ini akan menghasilkan torsi ( $\tau$ ) dan jika torsi yang dihasilkan lebih besar dari torsi beban, maka rotor akan berputar dengan kecepatan  $n_r$  yang searah dengan medan putar stator.

Gambar dibawah ini menggambarkan penampang stator dan rotor motor induksi, dengan medan magnet diumpamakan berputar searah jarum jam



Gambar 2.4 penampang rotor dan stator yang memperlihatkan medan magnet dalam celah udara

Untuk arah fluksi dan gerak yang ditunjukkan gambar 2.4 diatas, penggunaan aturan tangan kanan Fleming bahwa arah arus induksi dalam

konduktor rotor menuju pembaca. Pada kondisi seperti itu, dengan konduktor yang mengalirkan arus berada dalam medan magnet seperti yang ditunjukkan, gaya pada konduktor mengarah keatas karena medan magnet di bawah konduktor lebih akurat dari pada medan diatasnya. Agar sederhana, hanya satu konduktor rotor yang diperlihatkan. Tetapi konduktor-konduktor rotor yang berdekatan lainnya dalam medan stator juga mengalirkan arus dalam arah seperti pada konduktor yang ditunjukkan, dan juga mempunyai suatu gaya kearah atas yang dikerahkan pada mereka. Pada setengah siklus berikutnya, arah medan stator akan dibalik, tetapi arus rotor juga akan dibalik, sehingga gaya pada rotor tetap keatas. Demikian pula konduktor rotor dibawah kutub-kutub medan stator lain akan mempunyai gaya yang semuanya cenderung memutarkan rotor searah jarum jam. Jika kopel yang dihasilkan cukup besar untuk mengatasi kopel beban yang menahan, motor akan melakukan percepatan searah jarum jam atau dalam arah yang sama dengan perputaran medan magnet stator.

Untuk memperjelas prinsip kerja motor induksi tiga fasa, maka dapat dijabarkan dalam langkah-langkah sebagai berikut:

1. Ketika tegangan tiga fasa yang seimbang diberikan pada belitan stator, maka belitan stator akan menghasilkan arus yang mengalir pada tiap-tiap fasanya.
2. Arus pada setiap fasa stator akan menghasilkan fluksi yang berubah terhadap waktu.
3. Amplitudo fluksi yang dihasilkan pada fasa stator berubah secara sinusoidal dan arahnya tegak lurus terhadap belitan.
4. Penjumlahan dari ketiga fluksi pada belitan stator disebut medan putar yang berputar dengan kecepatan sinkron ( $n_s$ ), besarnya nilai  $n_s$  ditentukan oleh jumlah kutub  $p$  dan frekuensi  $f$  yang dirumuskan dengan

5. Akibat fluksi yang berputar tersebut maka timbul tegangan induksi pada belitan stator yang besarnya dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

Fluksi yang berputar tersebut juga memotong belitan rotor. Akibatnya pada belitan rotor akan dihasilkan tegangan induksi (ggl) sebesar  $E_2$  yang besarnya dapat dinyatakan dengan persamaan berikut

Dimana:

$E_2$  = tegangan induksi pada rotor saat rotor dalam keadaan diam (volt)

$N_2$  = jumlah lilitan kumparan rotor

$$\emptyset_{\max} = \text{fluksi maksimum (Wb)}$$

7. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian tertutup, maka tegangan induksi tersebut akan menghasilkan arus  $I_2$ .

8. Arus I<sub>2</sub> ini berada pada medan magnet yang dihasilkan oleh stator, sehingga pada belitan rotor akan dihasilkan gaya (F).

9. Gaya (F) ini akan menghasilkan torsi ( $\tau$ ), jika torsi yang dihasilkan ini lebih besar dari torsi beban, maka rotor akan berputar dengan kecepatan  $n_s$  yang searah dengan medan putar stator.

10. Ada perbedaan kecepatan medan putar pada stator ( $n_s$ ) dengan kecepatan putaran rotor ( $n_r$ ), perbedaan ini disebut slip ( $s$ ) yang dapat dinyatakan dengan persamaan berikut

$$s = \frac{ns - nr}{ns} \times 100\% \quad \dots \dots \dots \quad (2.5)$$

11. Setelah rotor dalam keadaan berputar, besarnya tegangan yang diinduksikan pada belitan rotor akan dipengaruhi atau tergantung terhadap slip(s). tegangan induksi pada rotor dalam keadaan ini dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

Dimana

E<sub>2s</sub> = tegangan pada rotor dalam keadaan berputar (volt)

$f_2 = s.f$  = frekuensi rotor (frekuensi tegangan induksi pada rotor dalam keadaan berputar)

12. Akibat adanya slip ( $s$ ), maka nilai frekuensi pada rotor ( $f_2$ ) dan reaktansi rotor ( $x_2$ ) akan dipengaruhi oleh slip, yang dapat dinyatakan dengan  $s f$  dan  $s x_2$ .

13. Jika kecepatan putaran rotor (nr) sama dengan kecepatan medan putar stator (ns), maka slip bernilai nol, tidak ada fluks yang memotong belitan rotor sehingga pada belitan rotor tidak diinduksikan tegangan, maka tidak ada arus yang mengalir pada belitan rotor, sehingga rotor tidak berputar, karena tidak ada gaya yang terjadi pada rotor.

## 2.2.6 Efisiensi

Efisiensi motor induksi adalah ukuran kefektifan motor induksi untuk mengubah energy listrik menjadi energi mekanis yang dinyatakan sebagai perbandingan antara masukan dan keluaran atau dalam bentuk energi listrik berupa perbandingan watt keluaran dan watt masukan. Definisi NEMA terhadap efisiensi energy adalah bahwa efisiensi merupakan perbandingan atau rasio dari daya keluaran yang berguna terhadap daya input total dan biasanya dinyatakan dalam persen juga sering dinyatakan dengan perbandingan antara keluaran dengan keluaran ditambah rugi-rugi, yang dirumuskan dalam persamaan berikut:

$$\eta = \frac{p_{out}}{p_{in}} = \frac{p_{in} - p_{loss}}{p_{in}} = \frac{p_{out}}{p_{out} + p_{loss}} \times 100\% \quad \dots \dots \dots \quad (2.8)$$

Dari persamaan terlihat efisiensi motor bergantung pada besar rugi-ruginya.

Rugi-rugi pada persamaan tersebut adalah penjumlahan keseluruhan komponen

rugi-rugi yang dibahas sebelumnya. Pada motor induksi pengukuran efisiensi

motor induksi ini sering dilakukan dengan beberapa cara seperti:

1. Mengukur langsung daya elektris masukan dan daya mekanis keluaran
2. Mengukur langsung seluruh rugi-rugi dan daya masukan
3. Mengukur setiap komponen rugi-rugi dan daya masukan,

Dimana pengukuran daya masukan tetap dibutuhkan pada ketiga cara diatas. Umumnya, daya elektris dapat diukur dengan sangat tepat, keberadaan daya mekanis yang lebih sulit untuk diukur. Saat ini sudah dimungkinkan untuk mengukur torsi dan kecepatan dengan cukup akurat yang bertujuan untuk mengetahui harga efisiensi yang tepat. Pengukuran pada keseluruhan rugi-rugi ada yang berdasarkan teknik kalorimeter. Walaupun pengukuran dengan metode ini relatif sulit dilakukan, keakuratan yang dihasilkan dapat disanding dengan hasil yang didapat dengan pengukuran langsung pada daya keluarannya.

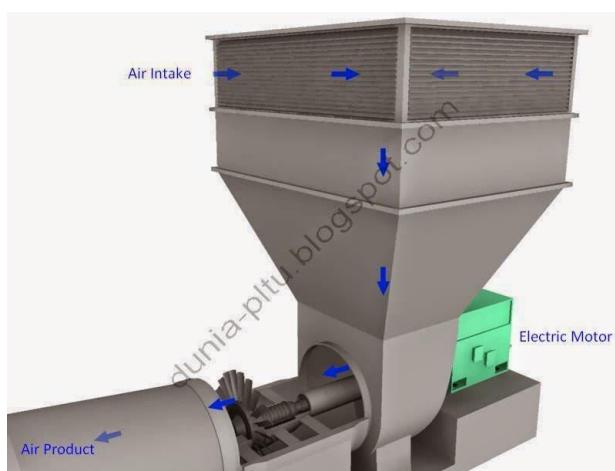
Kebanyakan pabrikan lebih memilih melakukan pengukuran komponen rugi-rugi secara individual, karena dalam teorinya metode ini tidak memerlukan pembebanan pada motor, dan ini adalah suatu keuntungan bagi pabrikan. Keuntungan lainnya yang sering disebut-sebut adalah bahwa memang benar error pada komponen rugi-rugi secara individual tidak begitu mempengaruhi keseluruhan efisiensi. Keuntungannya terutama adalah fakta bahwa ada kemungkinan koreksi untuk temperature lingkungan yang berbeda. Biasanya data efisiensi yang disediakan oleh pembuat diukur atau dihitung berdasarkan standar tertentu.

### **2.2.7 Forced Draft Fan**

Force Draft (FD) Fan berfungsi menghasilkan Secondary Air untuk mencampur udara dan bahan bakar di Burner sebagai udara pembakaran didalam Furnace. Satu unit *FD fan* mempunyai kapasitas 50%, jadi dalam satu unit PLTU terdiri dari dua unit *FD fan*. Dalam Proses pembakaran bahan bakar baik cair , padat , gas Selalu membutuhkan udara untuk pembakaran . udara dangas sisabuang pada unit 4 PLTU muara karang di kendalikan oleh 2 Forced Draft Fan(FDF) Dan satu uni GR Fan

*FD fan* terletak pada bagian ujung saluran air intake boiler dan digerakkan oleh motor listrik. Fan ini bekerja pada tekanan tinggi dan berfungsi menghasilkan udara sekunder (Secondary Air) yang akan dialirkan ke dalam boiler untuk mencampur udara dan bahan bakar dan selanjutnya digunakan sebagai udara pembakaran pada furnace boiler. Udara yang diproduksi oleh Force Draft Fan (*FD fan*) diambil dari udara luar. Dalam perjalannya menuju boiler, udara tersebut dinaikkan suhunya oleh secondary air heater (pemanas udara sekunder) agar proses pembakaran bisa terjadi di boiler. Berikut adalah hal yang harus diperhatikan untuk *FD fan* :

- a. *FD fan* akan beroperasi hingga dua tahun non – stop, sehingga konstruksinya harus dapat diandalkan dan bebas perawatan selama masa pakai.
- b. Mempunyai efisiensi yang tinggi, karena boiler selalu bekerja dalam kondisi yang bervariasi maka kinerja *FD fan* juga disesuaikan dengan kondisi kerja boiler.
- c. *FD fan* harus stabil karena keadaan tekanan yang bervariasi dan masa pakai *FD fan* tersebut sehingga *FD fan* harus tetap dapat mengontrol aliran udara ke boiler selama masa kerjanya.
- d. *FD fan* harus mempunyai proteksi terhadap dirinya sendiri, dalam hal ini berarti *FD fan* harus dapat memutuskan arus saat kerja lebih dan mengatur kinerja motor *FD fan* tersebut.



Gambar 2.5 skema *FD fan*

## 2.2.8. Switch Gear

Switchgear adalah panel distribusi yang mendistribusikan beban ke panel-panel yang lebih kecil kapasitasnya. Dalam bahasa Indonesia artinya Panel Tegangan Menengah (PTM) atau juga disebut MVMDB (Medium Voltage Main distribution Board) dan sedangkan untuk tegangan rendah disebut LVMDB (Low Voltage Main Distribution Board). Switchgear adalah komponen-komponen hubung/pemutus dan pendukung-pendukungnya dalam satu kesatuan (unit) terintegrasi, sehingga dapat difungsikan sebagai penghubung, pemutus, dan pelindung terhadap dua sisi rangkaian tersebut

FUNGSI SWITCHGEAR ADALAH:

1. Menghubungkan dan memutuskan sisi sumber tenaga listrik dengan sisi beban
2. Menghubungkan dan memutuskan sumber tenaga listrik dengan peralatan listrik yang lain
3. Menghubungkan jaringan listrik utama dengan jaringan listrik cabang



Gambar 2.6 Switchgear

## 2.2.5. Proteksi Motor Listrik

Jenis dari proteksi motor listrik adalah sebagai berikut :

1. Thermal Overload
  - a. Beban lebih
  - b. Kondisi suhu lingkungan tinggi (Panas, Ventilasi tertutup)
  - c. Masalah Power suplai (*Voltage/Current Unbalance, Harmonics*)
2. *Phase Fault*
3. *Ground Fault*
4. Kondisi Operasi Tidak normal
  - a. *Over & Under Voltage*
  - b. *Underfrequency*
  - c. *Voltage and Current Unbalance*
  - d. *Load Loss*
  - e. *Jamming*
  - f. *Jogging*

Tabel 2.1 Macam – Macam Relai Proteksi Motor Tegangan Menengah

No	Macam Gangguan	Akibat	Alternatif jenis proteksi yang dipasang
1	Beban lebih	Terjadi kenaikan suhu yang berakibat <ol style="list-style-type: none"><li>1. Umur belitan menjadi pendek</li><li>2. Kerusakan Isolasi</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Over load</li><li>2. Relai beban lebih termis</li><li>3. Relai arus lebih</li><li>4. MCB dengan kumparan masuk dan keluar</li></ol>
2	Hubung singkat antar phasa dan phasa	<ol style="list-style-type: none"><li>1. kerusakan isolasi</li><li>2. kerusakan inti besi akibat busur api antara</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. pengaman lebur</li><li>2. relai arus lebih</li><li>3. pengaman differensial</li></ol>

		lilitan dengan inti besi	
3	Tegangan Kurang/lebih	1.kerusakan isolasi akibat panas yang berlebih 2.tebusnya desain isolasi	1.Relai tegangan kurang 2.Relai tegangan lebih
4.	Tegangan tidak seimbang	1,kerusakan motor akibat timbulnya arus urutan negative pada stator	1.Relai arus urutan phasa negative 2.Relai tegangan urutan phasa negative
5	Urutan phasa terbalik	1.kerusakan pada beban motor	1.pengaman urutan phasa terbalik
6	Satu phasa terbuka	1.kerusakan material isolasi dan belitan akibat panas yang berlebih	1.Relai beban lebih termis
7	Motor tidak berputar akibat beban lebih	1.kerusakan berat akibat material isolasi dan belitan	1.relati termis 2.relati arus lebih seketika
8	Gangguan/hubung singkat di rotor	1.kerusakan rotor akibat panas berlebih	1.relati arus lebih seketika