



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Umum

Motor Arus bolak-balik (motor AC) ialah suatu mesin yang berfungsi untuk mengubah tenaga listrik arus bolak-balik ( listrik AC ) menjadi tenaga gerak atau tenaga mekanik, dimana tenaga gerak itu berupa putaran dari pada rotor. (Sumanto,M.A,1993:1)

#### 2.2 Prinsip Kerja Motor Listrik

Prinsip kerja motor listrik pada dasarnya sama untuk semua jenis motor secara umum :

- Arus listrik dalam medan magnet akan memberikan gaya
- Jika kawat yang membawa arus dibengkokkan menjadi sebuah lingkaran/loop, maka kedua sisi loop, yaitu pada sudut kanan medan magnet, akan mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan.
- Pasangan gaya menghasilkan tenaga putar/ torque untuk memutar kumparan.
- Motor-motor memiliki beberapa loop pada dinamanya untuk memberikan tenaga putaran yang lebih seragam dan medan magnetnya dihasilkan oleh susunan elektromagnetik yang disebut kumparan medan.

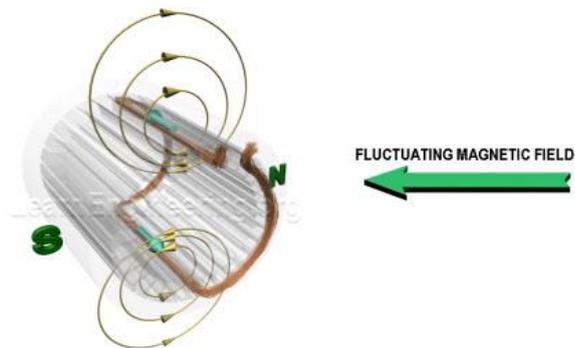
Dalam memahami sebuah motor, penting untuk mengerti apa yang dimaksud dengan beban motor listrik. Beban mengacu kepada keluaran tenaga putar/ torque sesuai dengan kecepatan yang diperlukan. Beban umumnya dapat dikategorikan kedalam tiga kelompok :

- **Beban torque konstan** adalah beban dimana permintaan keluaran energinya bervariasi dengan kecepatan operasinya namun torque nya tidak bervariasi. Contoh beban dengan torque konstan adalah conveyors, rotary kilns, dan pompa displacement konstan.



- **Beban dengan variabel torque** adalah beban dengan torque yang bervariasi dengan kecepatan operasi. Contoh beban dengan variabel torque adalah pompa sentrifugal dan fan (torque bervariasi sebagai kwadrat kecepatan).
- **Beban dengan energi konstan** adalah beban dengan permintaan torque yang berubah dan berbanding terbalik dengan kecepatan. Contoh untuk beban dengan daya konstan adalah peralatan-peralatan mesin.

Sebuah motor induksi 1 fasa disuplai oleh sumber AC 1 fasa, Ketika sumber AC diberikan pada stator winding dari motor, maka arus dapat mengalir pada stator winding. Fluks yang dihasilkan oleh sumber AC pada stator winding tersebut disebut sebagai fluks utama. Karena munculnya fluks utama ini maka fluks medan magnet dapat dihasilkan oleh stator.

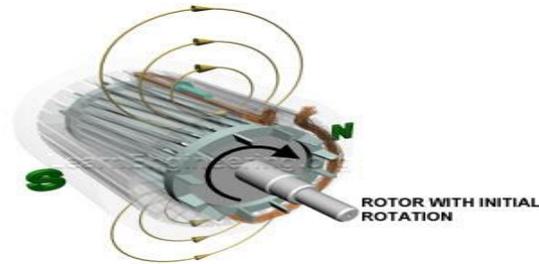


**Gambar 2.1 Gambar dampak adanya arus pada stator**  
(Sumber : Muhammad Robith,2015.)

Karena rotor berputar maka dapat dikatakan bahwa konduktor pada rotor akan bergerak melewati stator winding. Karena konduktor pada rotor bergerak relatif terhadap fluks pada stator winding, akibatnya muncul tegangan ggl (gaya gerak listrik) pada konduktor rotor sesuai dengan hukum Faraday. Karena motor terhubung dengan beban maka arus dapat mengalir pada kumparan rotor akibat adanya tegangan ggl pada rotor dan terhubungnya rotor dengan beban. Arus yang mengalir pada rotor ini disebut arus rotor. Arus rotor ini juga menghasilkan fluks yang dinamakan fluks rotor. Interaksi



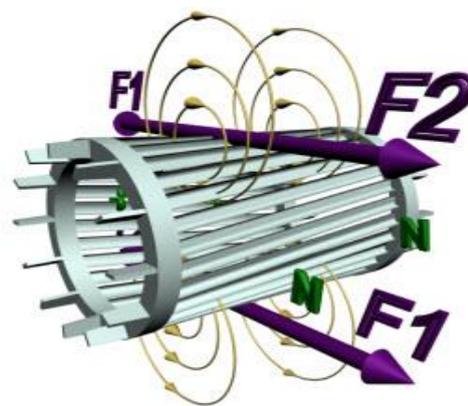
antara kedua fluks inilah yang menyebabkan rotor didalam motor dapat berputar sendiri..



**Gambar 2.2 Putaran pada rotor akibat fluks.**

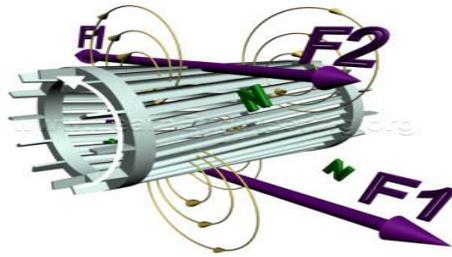
(Sumber : Muhammad Robith,2015.)

Masing-masing arus menghasilkan fluks yang mempengaruhi rotor. Arus stator akan menghasilkan fluks utama, sedangkan arus pada rotor menghasilkan fluks pada rotor. Masing-masing fluks ini akan mempengaruhi arah putaran rotor, hanya saja arah keduanya berlawanan. Sesuai hukum lorentz, apabila kita memiliki sebuah kabel yang dialiri arus dan terdapat fluks medan magnet disekitar kabel tersebut maka akan terjadi gaya pada kabel tersebut. Karena besarnya fluks pada stator dan rotor relatif sama maka gaya yang dihasilkan juga sama. Namun karena arah gaya yang berbeda mengakibatkan rotor tidak berputar akibat kedua gaya yang saling menghilangkan.



**Gambar 2.3 Saat rotor tidak berputar, total gaya akibat masing fluks ialah 0**

(Sumber : Muhammad Robith,2015.)

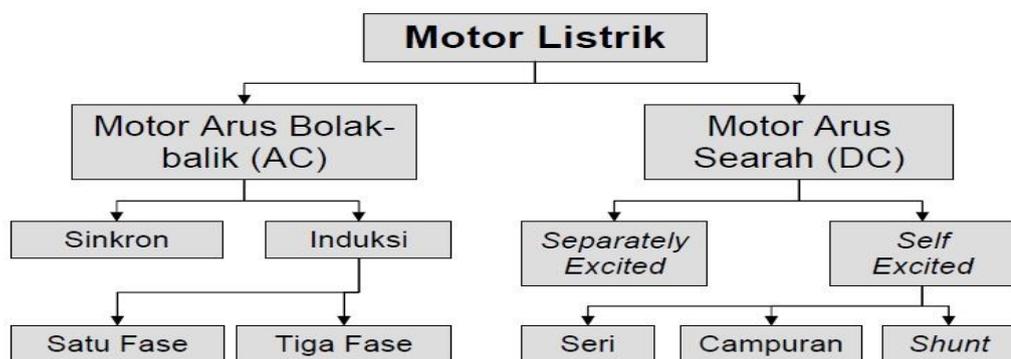


**Gambar 2.4** Saat rotor sudah berputar sedikit, total gaya akan memiliki perbedaan sehingga terjadi putaran

(Sumber : Muhammad Robith,2015.)

### 2.3 Jenis Jenis Motor Listrik

Pada dasarnya motor listrik terbagi menjadi 2 jenis yaitu motor listrik DC dan motor listrik AC. Kemudian dari jenis tersebut digolongkan menjadi beberapa klasifikasi lagi sesuai dengan karakteristiknya.



### 2.5 Jenis Jenis Motor Listrik

(Sumber : <https://www.habetec.com/news/52/jenis-motor-listrik> )

### 2.4 Motor Induksi

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.



Penggunaan motor induksi yang banyak dipakai di kalangan industri mempunyai keuntungan dan kerugian sebagai berikut: (Rijono,Y,2002:310)

Keuntungan :

1. Sangat sederhana dan daya tahan kuat (Konstruksi hampir tidak pernah mengalami kerusakan, khususnya tipe squirrel cage).
2. Harga relatif murah dan dapat diandalkan serta perawatannya mudah.
3. Efisiensi tinggi pada kondisi berputar normal, tidak dibutuhkan sikat dan karenanya rugi-rugi daya yang diakibatkannya dapat dikurangi.
4. Tidak memerlukan starting tambahan dan tidak harus sinkron.

Kerugian :

1. Kecepatan tidak dapat berubah tanpa pengorbanan efisiensi.
2. Tidak seperti motor DC atau motor shunt, Kecepatannya menurun seiring dengan tambahan beban.
3. Kopel awal mutunya rendah dibandingkan dengan motor DC shunt.

## **2.5 Klasifikasi Motor AC**

Menurut (Rijono,Y,2002:310) Motor listrik AC memiliki beberapa jenis, yang jenis ini membedakan berdasarkan beberapa faktor utama yang antara lain berdasarkan prinsip kerja, berdasarkan macam arus dan berdasarkan kecepatan.

### **2.5.1 Berdasarkan Prinsip Kerja**

1. Motor Sinkron.
  - Biasa ( tanpa slip ring )
  - Super ( dengan slip ring )
2. Motor Asinkron.
  - a. Motor Induksi
    1. Squirrel cage
      - Single
      - Double
    2. Slip ring(external resistance)
  - b. Motor komutator
    1. Seri



- Phase tunggal
  - Universal
2. Terkompensasi
    - Konduktif
    - Induktif
  3. Shunt
  4. Repulsi

### **2.5.2 Berdasarkan Macam Arus**

#### 1. Satu phasa

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

#### 2. Tiga phasa

Medan magnet yang berputar dihasilkan oleh pasokan tiga phasa yang seimbang. Motor tersebut memiliki kemampuan daya yang tinggi, dapat memiliki kandang tupai atau gulungan rotor (walaupun 90% memiliki rotor kandang tupai); dan penyalaan sendiri.

### **2.5.3 Berdasarkan Kecepatan**

1. Kecepatan konstan
2. Kecepatan berubah
3. Kecepatan diatur

## **2.6 Prinsip Kerja Motor Induksi**

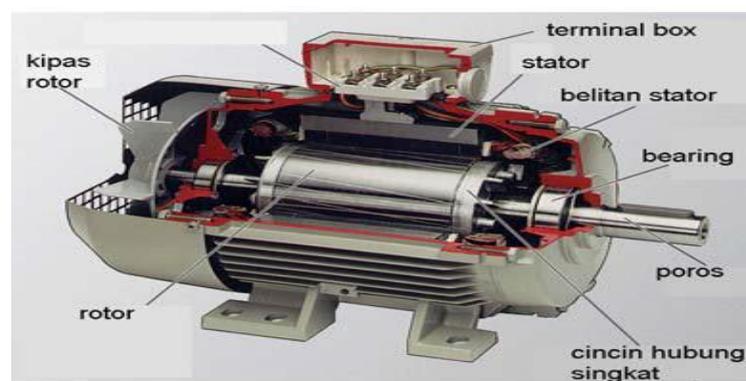
Secara umum, motor listrik berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang berupa tenaga putar. Didalam motor DC, energi listrik diambil langsung dari kumparan armatur dengan melalui sikat dan komutator, oleh karena itu motor DC disebut motor konduksi. Lain halnya pada motor AC, pada motor AC, kumparan rotor tidak menerima energi listrik langsung, tetapi



secara induksi seperti yang terjadi pada energi kumparan sekunder transformator. Oleh karena itu, motor AC dikenal dengan motor induksi. Sebenarnya motor induksi dapat diidentikkan dengan transformator yang kumparan primer sebagai kumparan stator atau armatur, sedangkan kumparan sekunder sebagai kumparan rotor (Rijono, Y, 2002:310).

## 2.7 Konstruksi Motor Induksi

Pada dasarnya motor induksi terdiri dari suatu bagaian yang tidak berputar (stator) dan bagian yang bergerak memutar (rotor).



**Gambar 2.6 Konstruksi Motor Induksi**

(Sumber : Siswoyo, 2008)

### 2.7.1 Stator (bagian motor yang diam)

Pada bagian stator terdapat beberapa slot yang merupakan tempat kawat (konduktor) dari tiga kumparan tiga fasa yang disebut kumparan stator, yang masing-masing kumparan mendapatkan suplai arus tiga phase.

Jika kumparan stator mendapatkan suplay arus tiga phase, maka pada kumparan tersebut segera timbul flux magnet putar. Karena adanya flux magnet putar pada kumparan stator, mengakibatkan rotor berputar karena adanya induksi magnet dengan kecepatan putar rotor sinkron dengan kecepatan putar stator : (Rijono, Y, 2002 :311).

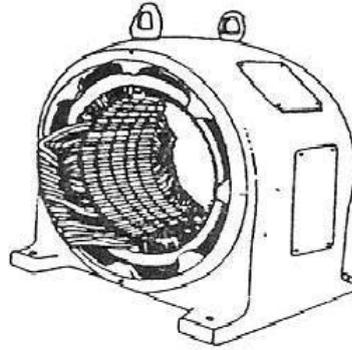
Konstruksi stator motor induksi sendiri terdiri atas beberapa bagian yaitu:

1. Bodi motor (gandar)
2. Inti kutub magnet dan lilitan penguat magnet



### 3. Slip ring

Bentuk konstruksi stator motor induksi dapat kita lihat pada gambar 2.7



**Gambar 2.7 Stator**

(Sumber : Zuhail, 1991 : 64)

#### 1. Bodi motor (gandar)

Fungsi utama dari bodi atau gandar motor adalah sebagai bagian dari tempat mengalirnya fluks magnet yang dihasilkan kutub – kutub magnet, karena itu bodi motor dibuat dari bahan ferromagnetik. Disamping itu bodi motor ini berfungsi untuk meletakkan alat – alat tertentu dan melindungi bagian – bagian mesin lainnya. Biasanya pada motor terdapat papan nama atau name plate yang bertuliskan spesifikasi umum dari motor.

#### 2. Inti Kutub Magnet dan Lilitan Penguat Magnet

Sebagaimana diketahui bahwa fluks magnet yang terdapat pada motor arus searah dihasilkan oleh kutub magnet buatan yang dibuat dengan prinsip elektromagnetis. Lilitan penguat magnet berfungsi untuk mengalirkan arus listrik agar terjadi proses elektromagnetis.

#### 3. Sikat – Sikat Dan Pemegang Sikat.

Fungsi dari sikat adalah sebagai jembatan bagi aliran arus dari sumber dan biasanya terbuat dari bahan arang.

Dibawah ini menunjukkan kelompok - kelompok tingkatan sikat, antara lain:

- a. Sikat grafit alam
- b. Sikat karbon keras



- c. Sikat elektrografit
- d. Sikat grafit logam
- e. Sikat karbon logam.

### 2.7.2 Rotor (bagian motor yang bergerak)

Bagian rotor yang merupakan tempat kumparan rotor adalah bagian yang bergerak atau berputar.

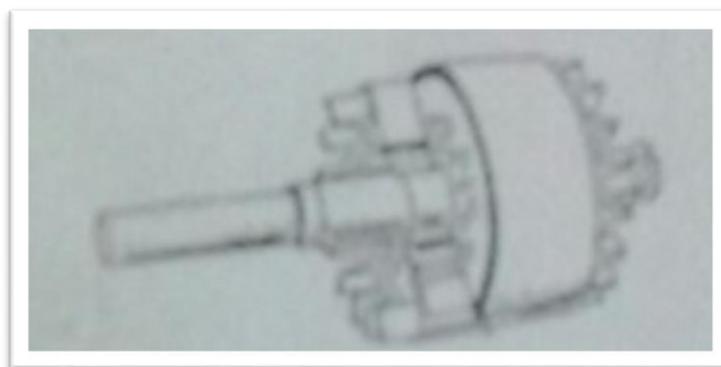
Ada dua jenis kumparan rotor yaitu *squirrel-cage* rotor dan *phase wound* rotor. Hampir 90 % kumparan rotor dari motor induksi menggunakan jenis *squirrel-cage* rotor.

Ini karena bentuk kumparannya sederhana dan tahan terhadap guncangan. Ciri khusus dari *squirrel-cage* rotor adalah ujung-ujung kumparan rotor terhubung singkat secara permanen. Lain halnya dengan jenis *phase wound* rotor yang ujung-ujung kumparan rotor akan terhubung langsung bila kecepatan putar rotor telah mencapai kecepatan normalnya secara otomatis melalui slip ring yang terpasang pada bagian rotor (Rijono, Y, 2002 : 311).

Adapun jenis- jenis rotor dalam motor induksi sebagai berikut :

#### 1. Rotor Sangkar

Motor induksi jenis ini mempunyai rotor dengan kumparan yang terdiri dari beberapa batang konduktor yang disusun sedemikian rupa hingga menyerupai sangkar tupai. Konstruksi rotor ini sangat sederhana bila dibandingkan dengan rotor mesin listrik lainnya (Zuhal, 1991 : 83 ).



**Gambar 2.8 Rotor Sangkar**  
(Sumber : Zuhal, 1991 : 64)



## 2. Rotor Belitan

Motor induksi jenis ini mempunyai rotor dengan belitan kumparan tiga fasa sama seperti kumparan stator. Kumparan stator dan rotor juga mempunyai jumlah kutub yang sama. Penambahan tahanan luar sampai harga tertentu, dapat membuat kopel mula mencapai harga kopel maksimumnya. Motor induksi dengan rotor belitan 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. Disamping itu dengan mengubah-ubah tahanan luar, kecepatan motor dapat diatur (Zuhal, 1991 : 82 ).

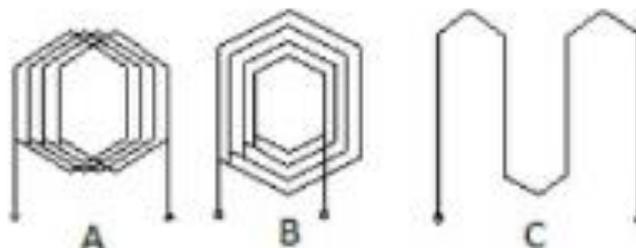


**Gambar 2.9 Rotor Belitan**

(Sumber : Zuhal,1991 : 64)

## 2.8 Bentuk kumparan stator

Bentuk kumparan stator dari motor induksi 1 fasa dapat dibagi menjadi 3 macam. Hal semacam ini tergantung dari cara melilitkan kedalam alur alur stator.



**Gambar 2.10 Prinsip Penghasilan Medan Putar Motor Induksi 1 Fasa.**

(Sumber : [www.slideshare.net/mobile/ayinhey/analisa-kumparan-pada-motor-induksi](http://www.slideshare.net/mobile/ayinhey/analisa-kumparan-pada-motor-induksi))



A. Kumparan Jerat

B. Kumparan Sepusat

C. Kumparan Gelombang

Fungsi dari ketiga jenis kumparan tersebut adalah sebagai berikut :

a. Kumparan jerat (spiral) banyak digunakan untuk motor – motor (generator) dengan kapasitas yang relatif besar.

b. Kumparan sepusat (concentric) pada umumnya sistem ini banyak digunakan untuk motor dan generator dengan kapasitas kecil. Walaupun ada juga secara khusus motor-motor dengan kapasitas kecil menggunakan kumparan dengan tipe spiral.

c. Kumparan gelombang/wave winding untuk motor dengan belitan sistem ini banyak digunakan kapasitor besar.

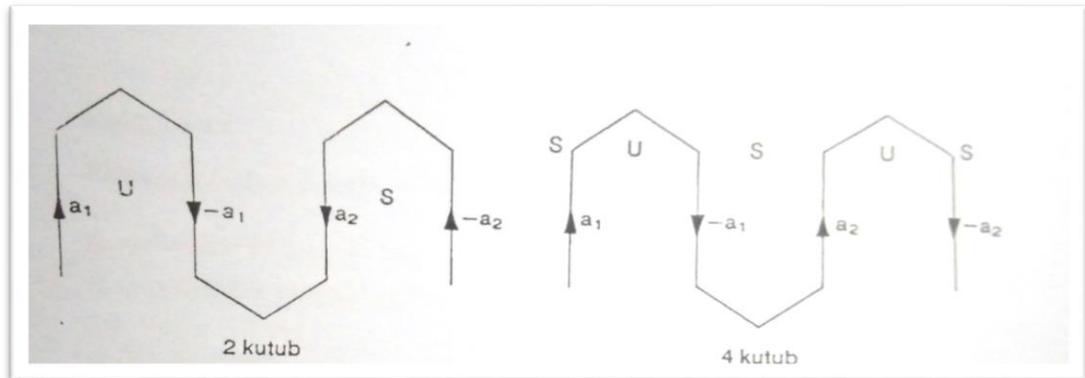
## **2.9 Pengaturan Putaran Motor Induksi**

Motor induksi pada umumnya berputar dengan kecepatan konstan, mendekati kecepatan sinkronnya. Meskipun demikian pada penggunaan tertentu dikehendaki juga adanya pengaturan putaran. Pengaturan putaran motor induksi memerlukan biaya yang agak tinggi. Biasanya pengaturan ini dapat dilakukan dengan beberapa cara : (Zuhal, 1991 : 84) .

1. Mengubah jumlah kutub motor

Karena  $N_s = \frac{120 \cdot f}{p}$ , Perubahan jumlah kutub ( $p$ ) atau frekuensi ( $f$ ) akan mempengaruhi putaran.

Jumlah kutub dapat diubah dengan merencanakan kumparan stator sedemikian rupa sehingga dapat menerima tegangan masuk pada posisi kumparan yang berbeda – beda. Biasanya diperoleh dua perubahan kecepatan sinkron dengan mengubah jumlah kutub dari 2 menjadi 4, seperti terlihat pada gambar berikut .



**Gambar 2.11 Mengatur putaran motor dengan mengubah jumlah kutub**

(Sumber : Zuhail, 1991 : 85 )

## 2. Mengubah frekuensi jala-jala

Pengaturan putaran motor induksi dapat dilakukan dengan mengubah – ubah harga frekuensi jala. Hanya saja untuk menjaga kesetimbangan kerapatan fluks, pengubahan tegangan harus dilakukan dengan pengubahan frekuensi.

Cara pengaturan frekuensi dengan menggunakan *solid state frequency converter*.

### 2.10 Bearing Pada Motor Listrik

Bearing atau juga yang sering dikenal istilah bantalan laher merupakan bagian atau komponen yang memiliki fungsi untuk menahan atau mendukung suatu poros untuk tetap padaudukannya. Selain itu bearing juga berfungsi untuk mengurangi gesekan yang terjadi antara poros yang berputar dengan tumpuannya (bagian komponen yang diam yang menopang poros).



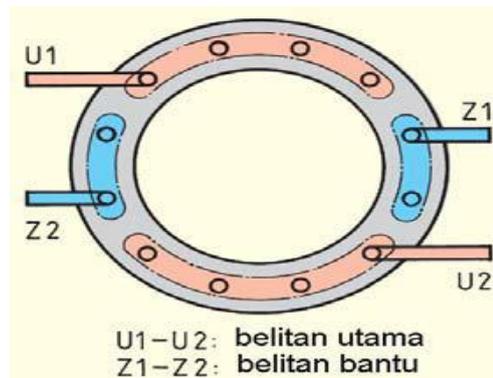
**Gambar 2.12 Bearing**

(Sumber: <https://www.amazon.com/R14-2RS-Sealed-Bearing-Bearings-vxb/dp/B002BBI6NO>)



## 2.11 Pengenalan Motor AC 1 Fasa

Motor AC satu fasa berbeda cara kerjanya dengan motor AC tiga fasa. Pada motor AC tiga fasa, belitan stator terdapat tiga belitan yang menghasilkan medan putar dan pada rotor sangkar terjadi induksi dan interaksi torsi yang menghasilkan putaran. Pada motor satu fasa memiliki dua belitan stator, yaitu belitan fasa utama (belitan U1-U2) dan belitan fasa bantu (belitan Z1-Z2)

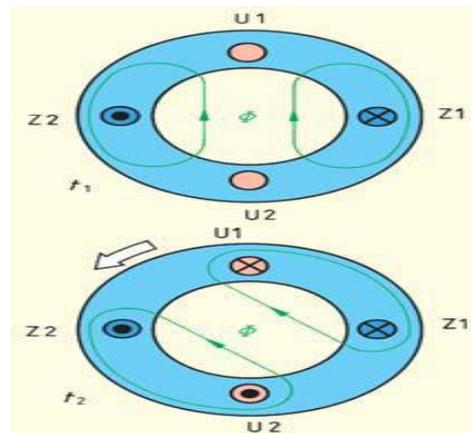


**Gambar 2.13 Prinsip Medan Magnet Utama dan Medan magnet Bantu Motor Satu Fasa**

(Sumber : Siswoyo,2008 :5.38 )

Belitan utama menggunakan penampang kawat tembaga lebih besar sehingga memiliki impedansi lebih kecil. Sedangkan belitan bantu dibuat dari tembaga berpenampang kecil dan jumlah belitannya lebih banyak, sehingga impedansinya lebih besar dibanding impedansi belitan utama. hal ini disebabkan karena perbedaan besarnya impedansi kedua belitan tersebut.

Perbedaan arus beda fasa ini menyebabkan arus total, merupakan penjumlahan vektor arus utama dan arus bantu. Medan magnet utama yang dihasilkan belitan utama juga berbeda fasa sebesar  $\phi$  dengan medan magnet bantu. Belitan bantu Z1-Z2 pertama dialiri arus ( $I_{bantu}$ ) menghasilkan fluk magnet  $\phi$  tegak lurus, beberapa saat kemudian belitan utama U1- U2 dialiri arus utama ( $I_{utama}$ ). yang bernilai positif. Hasilnya adalah medan magnet yang bergeser sebesar  $45^\circ$  dengan arah berlawanan jarum jam (Siswoyo,2008 : 5.16).

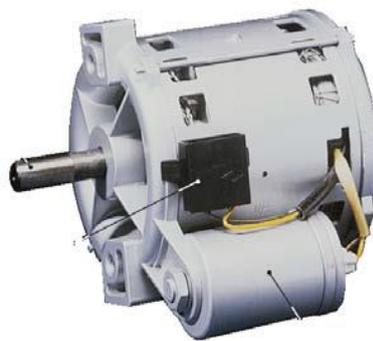


**Gambar 2.14 Medan magnet pada stator motor satu fasa**  
(Sumber : Siswoyo,2008 : 5.40)

Adapun jenis-jenis motor listrik satu fasa ialah sebagai berikut :

### 1. Motor kapasitor

Motor kapasitor satu fasa banyak digunakan dalam peralatan rumah tangga seperti motor pompa air, motor mesin cuci, motor lemari es, motor air conditioning. Konstruksinya sederhana dengan daya kecil dan bekerja dengan suplay PLN 220 V menjadikan motor kapasitor banyak dipakai pada peralatan rumah tangga.



**Gambar 2.15 Bentuk fisik Motor Kapasitor**

(Sumber : Siswoyo,2008 : 5.42)

Belitan stator terdiri atas belitan utama dengan notasi terminal  $U1-U2$ , dan belitan bantu dengan notasi terminal  $Z1-Z2$ . Jala-jala L1 terhubung dengan terminal U1, dan kawat netral N terhubung dengan terminal U2. Kondensator

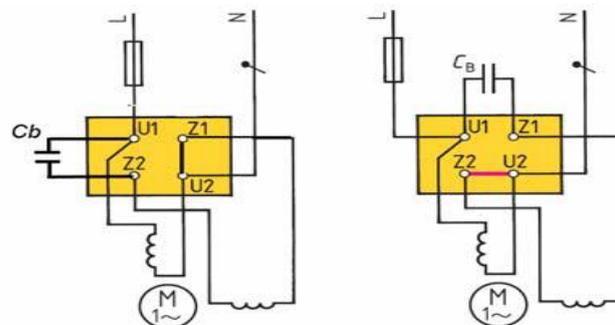


kerja berfungsi agar perbedaan sudut fasa belitan utama dengan belitan bantu mendekati 90 derajat.

Untuk menghasilkan putaran ke kiri (*berlawanan jarum jam*) kondensator kerja CB disambungkan ke terminal U1 dan Z2 dan terminal Z1 dikopel dengan terminal U2). Putaran ke kanan (*searah jarum jam*) kondensator kerja disambungkan ke terminal Z1 dan U1 dan terminal Z2 dikopel dengan terminal U1.

Motor kapasitor dengan daya diatas 1 KW di lengkapi dengan dua buah kondensator dan satu buah saklar sentrifugal. Belitan utama *U1-U2* dihubungkan dengan jala-jala L1 dan Netral N. Belitan bantu *Z1-Z2* disambungkan seri dengan kondensator kerja *CB*, dan sebuah kondensator starting *CA* diseri dengan kontak normally close dari saklar sentrifugal.

Awalnya belitan utama dan belitan bantu mendapat suply dari jala-jala L1 dan Netral. Dua buah kondensator *CB* dan *CA* kedua membentuk loop tertutup, rotor mulai berputar ketika putaran mendekati 70% putaran nominalnya saklar sentrifugal akan membuka dan kontak normally close memutuskan kondensator bantu *CA*. (Siswoyo,2008:5.17)



**Gambar 2.16 Pengawatan Motor Kapasitor Pembalikan Putaran**

(Sumber : Siswoyo,2008 : 5.43)

## 2. Motor Fasa Belah atau *Shaded Pole*

Motor *shaded pole* atau motor fasa terbelah termasuk motor satu fasa daya kecil, banyak digunakan untuk peralatan rumah tangga sebagai motor penggerak kipas angin, blender. Konstruksinya sangat sederhana, pada kedua



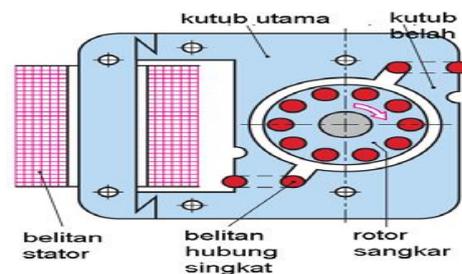
ujung stator ada dua kawat yang terpasang dan dihubung singkatkan fungsinya sebagai pembelah fasa. Rotornya berbetuk sangkar tupai dan porosnya ditempatkan pada rumah stator ditopang dua buah bearing.



**Gambar 2.17 Fisik motor shaded pole**

(Sumber : Siswoyo,2008 :5.46)

Irisan penampang motor shaded pole memperlihatkan dua bagian, yaitu bagian stator dengan belitan stator dan dua kawat shaded pole. Bagian rotor sangkar ditempatkan di tenggahstator. Torsi putar dihasilkan oleh adanya pembelahan fasa oleh kawat shaded pole Konstruksi yang sederhana, daya yang kecil, handal, mudah dioperasikan, bebas perawatan dan cukup di supply dengan AC 220 V jenis motor shaded pole banyak digunakan untuk peralatan rumah tangga kecil.



**Gambar 2.18 : Penampang Motor Shaded Pole**

(Sumber : Siswoyo,2008 :5.47)

### 3. Motor Universal

Motor Universal termasuk motor satu fasa dengan menggunakan belitan stator dan belitan rotor. Motor universal dipakai pada mesin jahit, motor bor tangan. Perawatan rutin dilakukan dengan mengganti sikat arang yang memendek



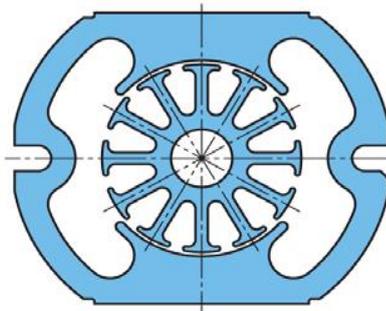
atau peas sikat arang yang lembek. Kontruksinya yang sederhana, handal, mudah dioperasikan, daya yang kecil, torsinya yang cukup besar motor universal dipakai untuk peralatan rumah tangga.



**Gambar 2.19 Komutator pada Motor Universal**

(Sumber : Siswoyo,2008 :4.48)

Bentuk stator dari motor universal terdiri dari dua kutub stator. Belitan rotor memiliki dua belas alur belitan ,dilengkapi komutator dan sikat arang yang menghubungkan secara seri antara belitan stator dengan belitan rotornya. Motor universal memiliki kecepatan tinggi sekitar 3000 rpm. Aplikasi motor universal untuk mesin jahit, untuk mengatur kecepatan dihubungkan dengan tahanan geser dalam bentuk pedal yang ditekan dan dilepaskan.



**Gambar 2.20 Stator dan Rotor Motor Universal**

(Sumber : Siswoyo,2008 :4.49)

## 2.12 Gangguan Pada Motor Listrik

Gangguan listrik adalah kejadian yang tidak diinginkan dan mengganggu kerja alat listrik. Akibat gangguan, peralatan listrik tidak berfungsi dan sangat merugikan. Bahkan gangguan yang luas dapat mengganggu keseluruhan kerja sistem produksi dan akan merugikan perusahaan sekaligus pelanggan. Jenis



gangguan listrik terjadi karena berbagai penyebab, salah satunya kerusakan isolasi kabel.

Tipe-tipe gangguan elektrik dalam motor-motor adalah serupa dengan tipe-tipe gangguan elektrik dari generator-generator. Oleh karena itu, motor-motor secara umum diproteksi dari gangguan-gangguan berikut:

- a. Gangguan-gangguan stator.
- b. Gangguan-gangguan rotor.
- c. Beban lebih (*Overload*).
- d. Tegangan-tegangan suplai yang tidak seimbang termasuk memfasa tunggal (*single phasing*).
- e. Tegangan kurang (*under voltage*).
- f. Starting fasa terbuka atau terbalik.
- g. Kehilangan sinkronisme (dalam kasus motor sinkron saja).

**Penyebab Gangguan pada bearing ialah sbb:**

- a. Bearing aus / Pelumasan yang kurang tepat : proses regreasing yang kurang baik akan membuat bearing mengalami kendala atau kerusakan.
- b. Kelebihan beban : Mesin yang beroperasi dengan beban berlebih akan memperpendek usia pakai bearing.
- c. Teknik pemasangan yang kurang tepat : Kerusakan dini bearing yang disebabkan oleh faktor pemasangan yang kurang tepat dikarenakan peralatan kerja yang kurang memadai.
- d. Kontaminasi : Bearing adalah komponen penting dalam suatu mesin. Mesin tidak bisa beroperasi secara efektif apabila terdapat kontaminasi benda asing seperti debu, kotoran dan sebagainya.

### **2.13 Tahapan Menggulung Ulang Kumparan**

Tahapan untuk menggulung ulang kumparan pada setiap tipe motor listrik satu fasa bias sama, namun bisa juga berbeda, tergantung pada bentuk dan sistem kumparan yang digunakan. Karena bentuk dan sistem untuk motor satu fasa terpisah sama dengan semua tipe motor kapasitor, semua tahapan menggulung ulang kumparannya juga sama.



Berikut adalah beberapa tahapan utama untuk menggulung ulang kumparan motor fasa terpisah dan motor kapasitor (Gunawan, I,2013 : 19)

1. Mengeluarkan stator
2. Meneliti dan mencatat skema kumparan yang asli
3. Memasang kertas isolasi
4. Membuat cetakan
5. Membuat mesin penggulung cetakan
6. Menggulung kumparan
7. Memasukkan kumparan
8. Mengerjakan tahapan terakhir untuk menggulung kumparan

#### **2.14 Hal – hal yang harus diperhitungkan dalam menggulung ulang (*Rewinding*) Belitan motor listrik satu fasa (Pompa air shimizu PS 135 e)**

##### **2.14.1 Daya**

Daya adalah sebagai laju hantaran energi listrik dalam rangkaian listrik. Satuan SI daya listrik adalah *watt* yang menyatakan banyaknya tenaga listrik yang mengalir per satuan waktu (*joule/detik*). (Zuhal, 1988:31)

Arus listrik yang mengalir dalam rangkaian dengan hambatan listrik menimbulkan kerja. Peranti mengkonversi kerja ini ke dalam berbagai bentuk yang berguna, seperti panas (seperti pada pemanas listrik), cahaya (seperti pada bola lampu), energi kinetik (motor listrik), dan suara (*loudspeaker*). Listrik dapat diperoleh dari pembangkit listrik atau menyimpan energi seperti baterai. Daya input dapat dihitung dengan persamaan 2.1 berikut ini :

$$P_i = V \cdot I \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots (2.1)$$

Daya output dapat dihitung dengan persamaan 2.2 berikut ini :  
(Trikueni,2013)

$$P_o = V \cdot I \cdot \text{Eff} \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots (2.2)$$

Effisiensi motor dapat dihitung dengan persamaan 2.3 berikut :



$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100\% \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

$P_i$  = Daya input (Watt)

$P_o$  = Daya output (Watt)

$\eta$  = Effisiensi (%)

$V$  = Tegangan nominal motor (Volt )

$I$  = Arus nominal motor (Ampere)

$\tau$  = Torsi (Nm)

$n$  = Kecepatan putaran (Rpm)

### 2.14.2 Kumbaran Stator

Yang dimaksud dengan langkah kumbaran adalah sudut kisar yang dibentuk antara kedua sisi kumbaran dan diberi dengan tanda huruf  $Y_g$ . Untuk mendapatkan kopel putar yang maksimal, maka langkah kumbaran harus sama dengan satu jarak kutub. Satu jarak kutub adalah kisar sudut antara kutub utara (U) dan kutub selatan (S) yang paling berdekatan.

Sedangkan jarak kutub diberi tanda  $\Theta$  ( $\sigma$ ) dan satu jarak kutub adalah  $180^\circ$  listrik. Apabila jumlah pasang kutub suatu motor adalah  $p$ , maka jumlah kutubnya adalah  $2p$  dan perbandingan antara derajat lingkaran (derajat busur =  $^\circ$ bs) dan derajat listrik ( $^\circ$ el) . (Alkula,F ,2011: 8)

Apabila jumlah alur pada stator motor induksi 1 fasa ada  $G$  alur, maka kisar sudut satu kali keliling stator atau  $G$  alur adalah  $360^\circ$  bs. Apabila sebuah motor mempunyai sebanyak  $G$  alur adalah  $= p.360^\circ$ el. satu keliling stator =  $2p$  jarak kutub atau  $G$  alur =  $2p$  jarak kutub.

Jadi , satu jarak kutub =  $1E = 180^\circ$  eL =  $\frac{G}{2p \text{ Alur}}$  , karena langkah kumbaran

$Y_g = 1E$ , maka langkah kumbaran menjadi:  $Y_g = \frac{G}{2p \text{ Alur}}$



Untuk motor satu fasa yang mempunyai satu pasang kutub dengan satu buah kumparan akan mempunyai :

$$Y_g = \frac{G}{2p} \dots\dots\dots(2.4)$$

Untuk menentukan kumparan tiap kelompok pada motor induksi satu fasa sebagai berikut :

$$q = \frac{G}{2p.m} \dots\dots\dots(2.5)$$

Untuk mengetahui jumlah kutub atau pasang kutub magnet digunakan rumus :

$$\text{Jumlah pasang kutub} = \frac{60.f}{n} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

$Y_g$  = Langkah Kumparan

$G$  = Jumlah Alur

$2p$  = Jumlah kutub

$P$  = Jumlah pasang kutub

$q$  = Banyaknya kumparan tiap kelompok

$m$  = Jumlah fasa

### 2.14.3 Kecepatan Putaran

Kecepatan perputaran medan magnetik motor (perputaran sinkron)  $N_s$ , dimana besarnya ditentukan oleh jumlah kutub frekuensi (2 kutub, 4 kutub, 6 kutub, dan 8 kutub). Perputaran sinkron ini biasanya lebih besar dari pada perputaran nominal motor (perputaran beban penuh,  $n$ ) yang ada pada lembar data (*name plate*). Prinsip perputaran medan magnetik perputaran sinkron ( $N_s$ ) diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.7 berikut ini : (Lister, 1993:213)

Dalam lilitan dua kutub medan membuat satu putaran penuh dalam satu siklus arus. Dalam lilitan empat kutub yang mana setiap fasa



mempunyai dua grup kumparan terpisah yang dihubungkan seri, dapat ditunjukkan bahwa medan magnet putar membuat satu putaran dalam dua siklus arus. Dalam lilitan enam kutub, medan membuat satu putaran dalam tiga siklus arus. Secara umum medan membuat satu putaran dalam  $P/2$  siklus atau

Siklus  $\frac{P}{2}$  x putaran

Atau

Siklus per detik  $\frac{P}{2}$  x putaran per detik

Oleh karena putaran per detik sama dengan putaran per menit, putaran ( $n$ ) dibagi 60 dan banyaknya siklus per detik adalah frekuensi ( $f$ ), maka :

$$f = \frac{P}{2} \times \frac{n}{60} = \frac{Ns.p}{120}$$

$$Ns = \frac{120xf}{p} \dots\dots\dots(2.7)$$

Kecepatan putar dari medan magnet putar disebut kecepatan sinkron atau kecepatan stator dari motor.

Dimana :

$Ns$  = perputaran sinkron (*Rpm*)

$f$  = frekuensi (*Hz*)

$p$  = jumlah kutub (*2 kutub, 4 kutub, 6 kutub, dan 8 kutub*)

#### **2.14.4 Reaktansi**

Reaktansi induktif menyebabkan arus tertinggal di belakang tegangan yang digunakan, sedangkan rangkaian kapasitif menyebabkan arus mendahului tegangan. Oleh sebab itu, jika reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif dihubungkan secara seri, pengaruhnya saling menetralkan dan pengaruh gabungannya adalah selisihnya. Pengaruh gabungan antara reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif disebut reaktansi dan ditentukan dengan menggunakan reaktansi kapasitif dari reaktansi induktif, atau dalam persamaan sebagai berikut : (Lister, 1993:140)

$$X = X_L - X_C \dots\dots\dots(2.8)$$



Dimana :

$X$  = Reaktansi ( $\Omega$ )

$X_L$  = Reaktansi induktif ( $\Omega$ )

$X_C$  = Reaktansi kapasitif ( $\Omega$ )

### 2.14.5 Impedansi

Impedansi adalah total perlawanan yang diberikan oleh rangkaian terhadap aliran arus. Ini merupakan pengaruh gabungan tahanan dan reaktansi dari suatu rangkaian. Simbol impedansi adalah  $Z$ , dan diukur dalam satuan ohm. Impedansi rangkaian ac sama dengan tegangan efektif yang dikenakan dibagi dengan arus efektif yang mengalir, atau (Lister,1993:140).

$$Z = \frac{V}{I} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

$Z$  = Impedansi ( $\Omega$ )

$V$  = Tegangan ( $V$ )

$I$  = Arus ( $A$ )

Dalam rangkaian yang hanya mengandung tahanan, penurunan  $IR$  sefase dengan arus. Dalam rangkaian yang mengandung reaktansi induktif saja, penurunan  $IX_L$  mendahului arus  $90^\circ$ , yang tentu saja ekuivalen dengan mengatakan arus tertinggal  $90^\circ$  dari penurunan  $IX_L$ . Demikian juga halnya dalam rangkaian kapasitif penurunan  $IX_C$  tertinggal  $90^\circ$  dari arus. Dalam rangkaian yang mengandung baik tahanan maupun reaktansi, penurunan tegangan totalnya, atau penurunan  $IZ$  adalah sama dengan jumlah dari penurunan  $IR$  dan  $IX$ . Oleh karena penurunan  $IR$  dan  $IX$  berbeda fasa  $90^\circ$ , maka perbedaan fasa ini harus diperhitungkan jika keduanya dijumlah. Jumlah dari dua besara fasor seperti  $IR$  dan  $IX$  yang berbeda fasa  $90^\circ$  adalah

$\sqrt{(IR)^2 + (IX)^2}$ , maka :

$$IZ = \sqrt{(IR)^2 + (IX)^2} \dots\dots\dots(2.10)$$

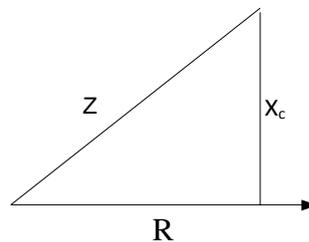


Dan dengan membagi kedua belah sisi dengan  $I$ , hasilnya :

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \dots\dots\dots(2.11)$$

Karena pengaruhnya berbeda, maka tahanan dan reaktansi tidak dapat dijumlahkan secara aritmatik tetapi harus digabungkan sesuai dengan hubungan yang diberikan dalam persamaan (2.10).

Oleh karena reaktansi telah didefinisikan sebagai  $X_L - X_C$ , pernyataan lengkap untuk impedansi dari suatu rangkaian seri adalah :



**Gambar 2.21 Segitiga impedansi : tahanan dan reaktansi induktif dalam hubungan seri**

(Sumber : Lister, 1993 :141)

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \dots\dots\dots(2.12)$$

Jika rangkaian mengandung  $X_C$  yang dapat diabaikan dibandingkan dengan  $R$  dan  $X_L$ , pernyataan diatas menjadi :

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - 0)^2} = \sqrt{R^2 + X_L^2} \dots\dots\dots(2.13)$$

Demikian juga, jika rangkaian mengandung  $X_L$  yang dapat diabaikan, impedansi menjadi :

$$Z = \sqrt{R^2 + (0 - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + (-X_C)^2} \dots\dots\dots(2.14)$$

Tanda minus tidak mempengaruhi besarnya harga  $Z$ , karena kuadrat dari minus sama dengan bilangan positif.



### 2.14.6 Tahanan Kawat

Besarnya arus yang mengalir sesuai dengan hukum ohm, berbanding lurus dengan tegangan, makin besar tegangan makin besar arus. Jika rangkaian hanya terdiri dari tahanan saja, maka arus efektif yang mengalir dalam rangkaian sama dengan tegangan efektif yang dikenakan bagi tahanan rangkaian, atau (Lister, 1993 : 133).

$$I = \frac{V}{R} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana :

$R$  = Hambatan kawat tembaga ( $\Omega$ )

$V$  = Tegangan nominal motor (*Volt*)

$I$  = Arus nominal motor (*Ampere*)

### 2.14.7 Slip

Perbedaan kecepatan putar antara kecepatan putar stator dan rotor disebut slip dan ditulis dengan persamaan : (Rijono, Y, 2002 : 322 )

$$S = \frac{(N_s - N_r)}{N_s} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana :

$S$  = Slip motor (%)

$N_s$  = Perputaran sinkron (Rpm)

$N_r$  = Perputaran beban penuh (Rpm)