



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Motor Listrik

Motor listrik termasuk kedalam kategori mesin listrik dinamis dan merupakan sebuah perangkat elektromagnetik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Pada motor listrik tenaga listrik dirubah menjadi tenaga mekanik. Perubahan ini dilakukan dengan merubah tenaga listrik menjadi magnet yang disebut sebagai elektro magnet. Sebagaimana kita ketahui bahwa kutub-kutub dari magnet yang senama akan tolak-menolak dan kutub-kutub tidak senama akan tarik-menarik. Maka kita dapat memperoleh gerakan jika kita menempatkan sebuah magnet pada sebuah poros yang dapat berputar dan magnet yang lain pada suatu kedudukan.

Motor listrik yang umum digunakan di dunia industri adalah motor listrik *asinkron*, dengan dua standar global yakni *International Electrotechnical Commission* (IEC) dan *National Electric Manufacturers Association* (NEMA). Motor *asinkron* IEC berbasis *metrik* (milimeter), sedangkan motor listrik NEMA berbasis *imperial* (inch), dalam aplikasi ada satuan daya dalam *horsepower* (hp) maupun *kiloWatt* (kW). Motor listrik

Kadangkala disebut juga dengan kuda kerjanya industri, sebab diperkirakan bahwa sekitar 70% industri menggunakan motor listrik untuk menyelesaikan pekerjaan-pekerjaan tersebut. Penggunaan motor listrik saat ini sudah menjadi kebutuhan kita sehari-hari untuk menggerakkan peralatan dan mesin yang membantu dan menyelesaikan pekerjaan manusia. Penggunaan motor listrik ini semakin berkembang karena memiliki keunggulan dibandingkan motor bakar misalnya kebisingan dan getaran lebih rendah, kecepatan putaran motor bisa diatur, lebih bersih, lebih kompak dan hemat dalam pemeliharaan.<sup>1</sup>

---

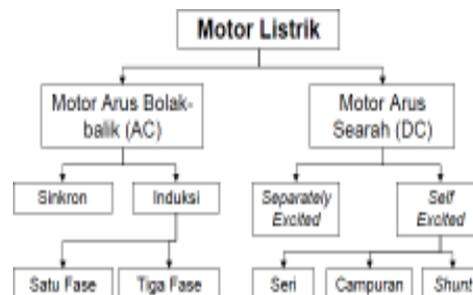
<sup>1</sup> I Nyoman Bagia & I Made Prasa, *Motor-motor listrik* (Kupang: CV. Rasi Terbit, 2018), 1-2.



### 2.1.1 Pengertian Motor Listrik

Motor listrik adalah alat untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Begitu juga dengan sebaliknya yaitu alat untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik yang biasanya disebut dengan generator atau dynamo. Pada motor listrik yang tenaga listrik diubah menjadi tenaga mekanik. Perubahan ini dilakukan dengan mengubah tenaga listrik menjadi magnet yang disebut sebagai elektro magnet. Sebagaimana yang telah kita ketahui bahwa kutub-kutub dari magnet yang senamaan tolak menolak dan kutub yang tidak senama akan tarik menarik. Dengan terjadinya proses ini maka kita dapat memperoleh gerakan jika kita menempatkan sebuah magnet pada sebuah poros yang dapat berputar dan magnet yang lain pada suatu kedudukan yang tetap.

Secara umum motor listrik ada 2 yaitu motor listrik AC dan motor listrik DC. motor listrik AC dan motor listrik DC juga terbagi lagi menjadi beberapa bagian-bagian lagi, jika digambarkan maka akan terlihat seperti pada gambar 1 di bawah ini.<sup>2</sup>



Gambar 2.1. Klasifikasi Jenis Utama Motor Listrik

### 2.1.2 Fungsi dan Kegunaan Motor Listrik

Motor listrik dapat kita temukan di peralatan rumah tangga seperti: kipas angin, mesin cuci, blender, pompa air, mixer dan penyedot debu. Adapun motor listrik yang digunakan untuk kerja (industri) atau yang digunakan dilapangan seperti: bor listrik, gerinda, blower, Pmenggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dan lain-lain.<sup>3</sup>

<sup>2</sup> Nyoman Bagia & I Made Prasa, *Motor-motor listrik* (Kupang: CV. Rasi Terbit, 2018), hlm. 2.

<sup>3</sup> Nyoman Bagia & I Made Prasa, *Motor-motor listrik* (Kupang: CV. Rasi Terbit, 2018), hlm. 3.



### 2.1.3 Jenis Jenis Motor Listrik

#### 1. Hubungan Putaran Motor dengan Frekuensi

Bila ditinjau dari hubungan putaran dan frekuensi/putaran fluks magnet stator, maka motor AC dapat dibedakan atas :

##### a. Motor Sinkron (Motor Serempak)

Disebut motor sinkron karena putaran motor sama dengan putaran fluks magnet stator, sesuai dengan persamaan :

$$n = \frac{120.f}{P} \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana:

n = Jumlah putaran per menit (rpm)

f = Frekuensi (Hz)

P = Jumlah kutub

Pada motor sinkron, motor tidak dapat berputar sendiri walaupun lilitan-lilitan stator telah dihubungkan dengan tegangan luar (dialiri arus). Agar motor sinkron dapat berputar, diperlukan penggerak permulaan. Sebagai penggerak permulaan umumnya dikerjakan oleh mesin.

##### b. Motor Asinkron

Disebut motor asinkron karena putaran motor tidak sama dengan putaran fluks magnet stator. Dengan kata lain, bahwa antara pada rotor dan fluks magnet stator terdapat selisih perputaran yang disebut dengan slip.<sup>4</sup>

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100\% \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

S = Slip atau selisih putaran rotor dan stator pada motor induksi

N<sub>s</sub> = Kecepatan medan Putar stator (rpm)

N<sub>r</sub> = Kecepatan medan Putar rotor (rpm)

<sup>4</sup> Sumanto, *Motor Listrik Arus Bolak-Balik (yogyakarta: Andi Offseet, 1994)*, hlm. 1-2.



## **2. Berdasarkan Cara Penerimaan Tegangan dan Arus**

Ditinjau dari segi cara rotor menerima tegangan atau arus, dapat dikenal dua jenis motor, yaitu :

### **a. Motor yang rotornya menerima tegangan secara langsung**

Motor jenis ini biasanya dijumpai pada motor universal, motor DC. Jenis motor DC (motor arus searah) tidak dibahas dalam laporan akhir ini.

### **b. Motor Induksi**

Disebut motor induksi karena dalam hal penerimaan tegangan dan arus pada rotor dilakukan dengan induksi. Jadi ada rotor-rotor induksi, rotor tidak langsung menerima tegangan atau arus dari luar.<sup>5</sup>

## **3. Berdasarkan Fasa yang digunakan**

Ditinjau dari jumlah fasa tegangan yang digunakan dapat dikenal dua jenis motor, yaitu:

### **a. Motor satu fasa**

Disebut motor satu fasa karena untuk menghasilkan tenaga mekanik, pada motor tersebut dimasukkan tegangan satu fasa. Didalam praktek, yang seringdigunakan adalah motor satu fasa dengan lilitan dua fase. Dikatakan demikian, karena didalam motor satu fasa lilitan statornya terdiri dari dua jenis lilitan, yaitu lilitan pokok dan lilitan bantu. Kedua jenis lilitan tersebut dibuat sedemikian rupa sehingga walaupun arus yang mengalir pada motor adalah arus/tegangan satu fasa tetapi akan mengakibatkan arus yang mengalir pada masing-masing lilitan mempunyai perbedaan fasa. Atau dengan kata lain, bahwa arus yang mengalir pada lilitan pokok dan lilitan bantu tidak sefasa. Motor satu fasa tersebut disebut motor satu fasa.

### **2. Motor tiga fasa**

Disebut motor tiga fasa karena untuk menghasilkan tenaga mekanik tegangan yang dimasukkan pada rotor tersebut adalah tegangan tiga fasa.<sup>6</sup>

<sup>5</sup> Sumanto, *Motor Listrik Arus Bolak-Balik (yogyakarta:Andi Offseet,1994)*, hlm.2.

<sup>6</sup> Sumanto, *Motor Listrik Arus Bolak-Balik (yogyakarta:Andi Offseet,1994)*, hlm.2-3.



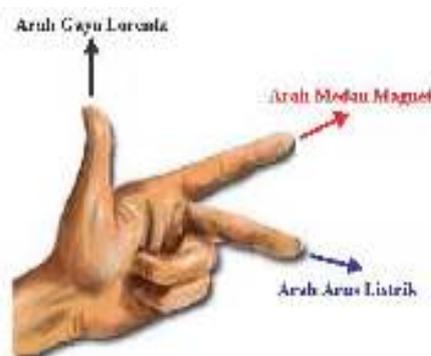
### b. Motor Listrik Arus Searah (Motor DC)

Motor listrik merupakan perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk, misalnya memutar impeller pompa, fan atau blower, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dll. Motor listrik digunakan juga di rumah (mixer, bor listrik, fan angin) dan di industri. Motor listrik kadangkala disebut “kuda kerja” nya industri sebab diperkirakan bahwa motor-motor menggunakan sekitar 70% beban listrik total di industri.

Motor arus searah adalah suatu mesin yang berfungsi mengubah tenaga listrik arus searah menjadi tenaga gerak, tenaga gerak tersebut berupa putaran dari pada rotor. Motor arus searah pada jaman dahulu (sebelum di kenal menghasilkan tenaga mekanik berupa kecepatan atau berputaran).<sup>7</sup>

Motor listrik arus searah merupakan suatu alat yang berfungsi mengubah daya listrik arus searah menjadi daya mekanik. Motor listrik arus searah mempunyai prinsip kerja berdasarkan percobaan Lorents yang menyatakan. “Jika sebatang penghantar listrik yang berarus berada di dalam medan magnet maka pada kawat penghantar tersebut akan terbentuk suatu gaya”. Gaya yang terbentuk sering dinamakan gaya Lorents.

Untuk menentukan arah gaya dapat digunakan kaidah tangan kiri Flemming atau kaidah telapak tangan kiri. Gambar 1.2. melukiskan konstruksi kaidah tangan kiri Flemming.<sup>8</sup>



Gambar 2.2. Kaidah Tangan Kiri *Flemming*

<sup>7</sup> Nyoman Bagia & I Made Prasa, *Motor-motor listrik* (Kupang: CV. Rasi Terbit, 2018), hlm. 8.

<sup>8</sup> Nyoman Bagia & I Made Prasa, *Motor-motor listrik* (Kupang: CV. Rasi Terbit, 2018), hlm. 14.



## 1. Bagian-Bagian Motor DC dan Fungsinya

### a) Badan Motor Listrik

Fungsi utama dari badan motor adalah sebagai bagian tempat untuk mengalirkan fluks magnet yang dihasilkan kutub-kutub magnet, karena itu badan motor dibuat dari bahan ferromagnetik. Disamping itu badan motor ini berfungsi untuk meletakkan alat-alat tertentu dan melindungi bagian-bagian motor lainnya. Pada badan motor terdapat papan nama (*name plat*) yang bertuliskan spesifikasi umum atau data teknik dari motor. Papan nama tersebut untuk mengetahui beberapa hal pokok yang perlu diketahui dari motor tersebut. Selain papan nama badan motor juga terdapat kotak hubung yang merupakan tempat ujung-ujung penguat magnet dan lilitan jangkar.<sup>9</sup>

#### 1) Inti Kutub Magnet dan Lilitan Penguat Magnet

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

#### 2) Sikat-Sikat

Fungsi utama dari sikat-sikat adalah untuk jembatan bagi aliran arus dari lilitan jangkar dengan sumber tegangan. Disamping itu sikat-sikat memegang peranan penting untuk terjadinya komutasi. Agar gesekan antara komutator-komutator dan sikat tidak mengakibatkan ausnya komutator, maka bahan sikat lebih lunak dari komutator. Biasanya dibuat dari bahan arang (*coal*).<sup>10</sup>

#### 3) Komutator

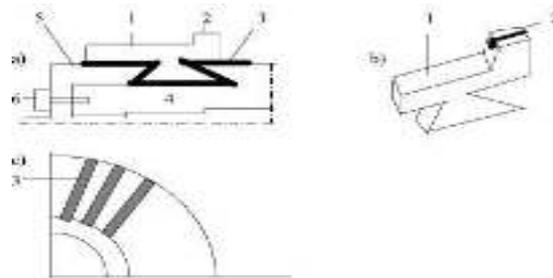
Komutator yang digunakan dalam motor arus searah pada prinsipnya mempunyai dua bagian yaitu:

<sup>9</sup> Nyoman Bagia & I Made Prasa, *Motor-motor listrik* (Kupang: CV. Rasi Terbit, 2018), hlm. 10.

<sup>10</sup> Nyoman Bagia & I Made Prasa, *Motor-motor listrik* (Kupang: CV. Rasi Terbit, 2018), hlm. 11.



- a. Komutator bar merupakan tempat terjadinya gesekan antara komutator dengan sikat-sikat.
- b. Komutator riser merupakan bagian yang menjadi tempat hubungan komutator dengan ujung dari lilitan jangkar.



Gambar 2.3. Konstruksi Sebuah Komutator Dari Motor Arus Searah

Keterangan:

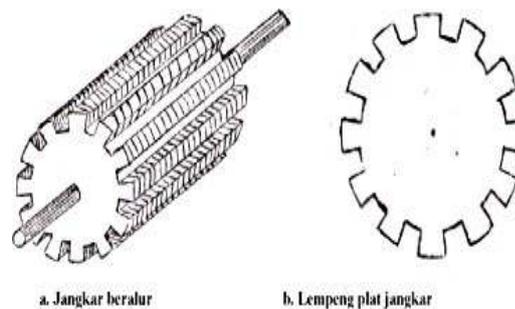
- a. Segmen Komutator
- b. Pemasangan Komutator
- c. Susunan Komutator
  1. Komutator Bar
  2. Riser
  3. Isolator
  4. Poros
  5. Ring Pengunci
  6. Baut<sup>11</sup>
- 4) Jangkar (angker)

Umumnya jangkar yang digunakan dalam motor arus searah adalah berbentuk selinder dan diberi alur-alur pada permukaannya untuk tempat melilitkan kumparan-kumparan tempat terbentuknya GGL lawan. Seperti halnya pada inti kutub magnet, maka jangkar dibuat dari bahan berlapis-lapis tipis untuk mengurangi panas yang terbentuk karena adanya arus liar

<sup>11</sup> Nyoman Bagia & I Made Prasa, *Motor-motor listrik* (Kupang: CV. Rasi Terbit, 2018), hlm. 11-12.



(Edy current). Bahan yang digunakan jangkar ini sejenis campuran baja silikon. Adapun konstruksinya dari jangkar tersebut dapat dilukiskan seperti gambar di bawah ini:

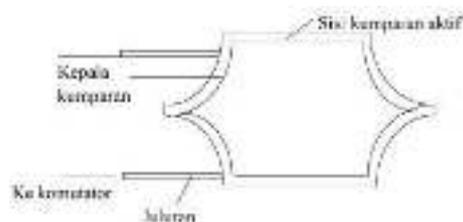


Gambar 2.4. Konstruksi Jangkar

#### 5) Lilitan Jangkar (angker)

Lilitan jangkar pada motor arus searah berfungsi sebagai tempat terbentuknya GGL lawan. Pada prinsipnya kumparan terdiri atas:

- Sisi kumparan aktif, yaitu bagian sisi kumparan yang terdapat dalam alur jangkar yang merupakan bagian yang aktif (terjadi GGL lawan sewaktu motor bekerja).
- Kepala kumparan, yaitu bagian dari kumparan yang terletak di luar alur yang berfungsi sebagai penghubung satu sisi kumparan aktif dengan sisi kumparan aktif lain dari kumparan tersebut.
- Juluran, yaitu bagian ujung kumparan yang menghubungkan sisi aktif dengan komutator.



Gambar 2.5. Kumparan Jangkar<sup>12</sup>

<sup>12</sup> Nyoman Bagia & I Made Prasa, *Motor-motor listrik* (Kupang: CV. Rasi Terbit, 2018), hlm. 13-14.



### **c. Motor Listrik Arus Bolak-Balik (Motor AC)**

Motor AC adalah sebuah motor listrik yang digerakkan oleh *Alternating Current* atau arus bolak balik (AC). Umumnya, motor AC terdiri dari dua komponen utama yaitu stator dan rotor. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya pada motor DC, stator adalah bagian yang diam dan letaknya berada di luar. Stator mempunyai coil yang di aliri oleh arus listrik bolak balik dan nantinya akan menghasilkan medan magnet yang berputar. Bagian yang kedua yaitu rotor. Rotor adalah bagian yang berputar dan letaknya berada di dalam (di sebelah dalam stator). Rotor bisa bergerak karena adanya torsi yang bekerja pada poros dimana torsi tersebut dihasilkan oleh medan magnet yang berputar.<sup>13</sup>

#### **1. Prinsip Kerja Motor AC**

Adapun cara kerja motor sinkron yaitu bila kumparan stator atau armatur mendapatkan tegangan sumber bolak-balik (AC) 3 fasa, maka pada kumparan stator timbul fluks magnet putar. Fluks magnet putar ini setiap saat akan memotong kumparan stator, sehingga pada ujung-ujung kumparan stator timbul GGL armatur ( $E_{am}$ ). Fluks putar yang dihasilkan oleh arus bolak-balik tidak seluruhnya tercakup oleh kumparan stator. Dengan perkataan lain, pada kumparan stator timbul fluks bocor dan dinyatakan dengan hambatan armatur ( $R_{am}$ ) dan reaktansi armatur ( $X_{am}$ ). Kumparan rotor terletak antara kutub-kutub magnet KU dan KS yang juga mempunyai fluks magnet. Kedua fluks magnet tersebut akan saling berinteraksi dan mengakibatkan rotor berputar dengan kecepatan putar rotor sinkron dengan kecepatan putar stator.

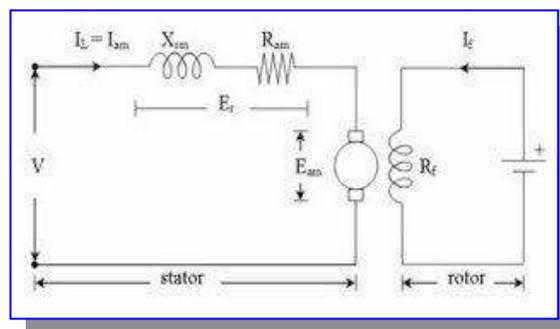
Pada motor DC, GGL armatur besarnya tergantung pada kecepatan putar rotor, sedangkan pada motor AC, GGL armatur besarnya tergantung pada faktor daya (PF) beban yang berupa kumparan stator. Untuk memperbesar kopel putar rotor (kecepatan putar rotor), kutub-kutub magnet yang terletak pada bagian rotor dililiti kumparan dan kumparan

---

<sup>13</sup> Nyoman Bagia & I Made Prasa, *Motor-motor listrik* (Kupang: CV. Rasi Terbit, 2018), hlm. 29.



tersebut dialiri arus listrik DC dan arus ini disebut penguat ( $I_f$ ). Dari kumparan rotor yang ikut berputar dengan kumparan stator (kecepatan sinkron) akan timbul fluks putar rotor yang bersifat reaktif terhadap fluks putar stator. Ini disebut reaktans pemagnet ( $X_M$ ). Reaktans pemagnet bersama- sama dengan reaktans armatur ( $X_{am}$ ) disebut reaktans motor sinkron ( $X_{sm}$ ). Dengan demikian rangkaian listrik dari motor sinkron adalah seperti tertera pada gambar 2.6. berikut:



Gambar 2.6. Rangkaian Listrik Motor Sinkron

Dari gambar di atas berlaku persamaan:

$$V_t = I_{am} \cdot X_{sm} + I_{am} \cdot R_{am} + E_{am} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

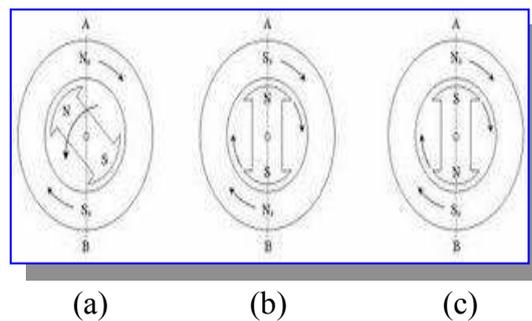
- $R_{am}$  = Hambatan armatur
- $X_{sm}$  = Reaktans sinkron
- $E_{am}$  = GGL armatur
- $I_L$  = Arus jala-jala
- $I_{am}$  = Arus armatur
- $V_t$  = Tegangan sumber bolak-balik
- $I_f$  = Arus penguat medan
- $R_f$  = Kumparan penguat medan

Proses terjadinya perputaran rotor karena kumparan stator mendapat sumber arus AC 3 phasa, maka pada kumparan stator timbul fluks putar yang mempunyai kutub utara stator ( $N_s$ ) dan kutub selatan



( $S_s$ ). Andaikan saat awal fluks berputar searah jarum jam dengan kedudukan kutub utara stator pada titik A dan kutub selatan stator pada titik B, sedangkan kedudukan kutub- kutub magnet rotor yaitu kutub utara magnet pada titik A dan kutub selatan magnet pada titik B (perhatikan gambar a), maka kedua kutub magnet tersebut

akan tolak-menolak. Kedudukan kutub-kutub fluks putar pada setengah periode berikutnya (gambar b), kutub selatan fluks putar stator pada titik A sedangkan kutub utara fliks putar pada titik B. Hal ini berlawanan dengan kedudukan kutub-kutub magnet rotor, yaitu kutub utara rotor pada titik A sedangkan kutub selatan rotor pada titik B. Hal ini membuat magnet rotor akan tertarik oleh arah fluks putar stator karena saling berlawanan tanda.



Gambar 2.7. Proses Terjadinya Perputaran Motor

Pada setengah periode berikutnya (gambar c), kutub utara stator pada titik A sedangkan kutub selatan stator pada titik B, demikian juga kutub utara rotor pada titik A dan kutub selatan rotor pada titik B. Sehingga pada periode berikutnya, rotor akan berputar sinkron dengan arah perputaran fluks stator. Berdasarkan karakteristik dari arus listrik yang mengalir, motor AC (*Alternating Current*) terdiri dari 2 jenis, yaitu:<sup>14</sup>

<sup>14</sup> Nyoman Bagia & I Made Prasa, *Motor-motor listrik* (Kupang: CV. Rasi Terbit, 2018), hlm. 29-31.



## **2. Motor Listrik Sinkron**

Motor sinkron adalah motor AC yang bekerja pada kecepatan tetap pada sistem frekuensi tertentu. Motor ini memerlukan arus searah (DC) untuk pembangkitan daya dan memiliki torque awal yang rendah, dan oleh karena itu motor sinkron cocok untuk penggunaan awal dengan beban rendah, seperti kompresor udara, perubahan frekuensi dan generator motor. Motor sinkron mampu untuk memperbaiki faktor daya sistim, sehingga sering digunakan pada sistim yang menggunakan banyak listrik.

Komponen utama motor sinkron adalah:

### **1. Rotor**

Perbedaan utama antara motor sinkron dengan motor induksi adalah bahwa rotor mesin sinkron berjalan pada kecepatan yang sama dengan perputaran medan magnet. Hal ini memungkinkan sebab medan magnet rotor tidak lagi terinduksi. Rotor memiliki magnet permanen atau arus DC-excited, yang dipaksa untuk mengunci pada posisi tertentu bila dihadapkan dengan medan magnet lainnya.

### **2. Stator**

Stator menghasilkan medan magnet berputar yang sebanding dengan frekwensi yang dipasok.

## **1. Prinsip Kerja Motor AC Sinkron**

Motor sinkron serupa dengan motor induksi pada mana keduanya mempunyai belitan stator yang menghasilkan medan putar. Tidak seperti motor induksi, motor sinkron dieksitasi oleh sebuah sumber tegangan dc di luar mesin dan karenanya membutuhkan *slip ring* dan sikat (*brush*) untuk memberikan arus kepada rotor. Pada motor sinkron, rotor terkunci dengan medan putar dan berputar dengan kecepatan sinkron. Jika motor sinkron dibebani ke titik dimana rotor ditarik keluar dari keserempakannya dengan medan putar, maka tidak ada torque yang dihasilkan, dan motor akan berhenti.



Motor sinkron bukanlah *self-starting* motor karena torque hanya akan muncul ketika motor bekerja pada kecepatan sinkron; karenanya motor memerlukan peralatan untuk membawanya kepada kecepatan sinkron. Motor sinkron menggunakan rotor belitan. Jenis ini mempunyai kumparan ditempatkan pada *slot* rotor. *Slipring* dan sikat digunakan mensuplai arus kepada rotor.

Prinsip Motor Sinkron secara umum :

1. Belitan medan terdapat pada rotor
2. Belitan jangkar pada stator
3. Pada motor sinkron, suplai listrik bolak-balik (AC ) membangkitkan fluksi medan putar stator ( $B_s$ ) dan suplai listrik searah (DC) membangkitkan medan rotor ( $B_r$ ). Rotor berputar karena terjadi interaksi tarik-menarik antara medan putar stator dan medan rotor. Namun dikarenakan tidak adanya torca-start pada rotor, maka motor sinkron membutuhkan prime-mover yang memutar rotor hingga kecepatan sinkron agar terjadi coupling antara medan putar stator ( $B_s$ ) dan medan rotor ( $B_r$ ).

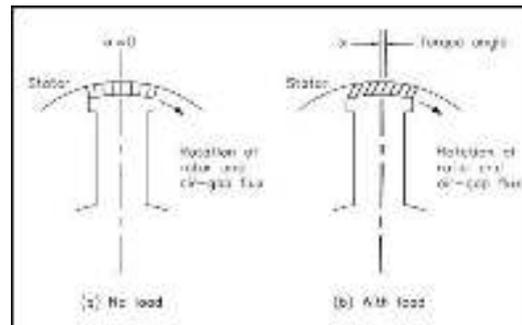
## **2. Penyalaan Motor Sinkron**

Sebuah motor sinkron dapat dinyalakan oleh sebuah motor DC pada satu sumbu. Ketika motor mencapai kecepatan sinkron, arus AC diberikan kepada belitan stator. Motor dc saat ini berfungsi sebagai generator DC dan memberikan eksitasi medan DC kepada rotor. Beban sekarang boleh diberikan kepada motor sinkron. Motor sinkron seringkali dinyalakan dengan menggunakan belitan sangkar tupai (*squirrel-cage*) yang dipasang di hadapan kutub rotor. Motor kemudian dinyalakan seperti halnya motor induksi hingga mencapai  $\sim 95\%$  kecepatan sinkron, saat mana arus searah diberikan, dan motor mencapai sinkronisasi. *Torque* yang diperlukan untuk menarik motor hingga mencapai sinkronisasi disebut *pull-in torque*.

Seperti diketahui, rotor motor sinkron terkunci dengan medan putar dan harus terus beroperasi pada kecepatan sinkron untuk semua keadaan beban.



Selama kondisi tanpa beban (*no-load*), garis tengah kutub medan putar dan kutub medan dc berada dalam satu garis (gambar dibawah bagian a). Seiring dengan pembebanan, ada pergeseran kutub rotor ke belakang, relative terhadap kutub stator (gambar bagian b). Tidak ada perubahan kecepatan. Sudut antara kutub rotor dan stator disebut sudut torque.



Gambar 2.8. Sudut *Torque* (*Torque Angle*)

Jika beban mekanis pada motor dinaikkan ke titik dimana rotor ditarik keluar dari sinkronisasi  $\epsilon = 90^\circ$ , maka motor akan berhenti. Harga maksimum torque sehingga motor tetap bekerja tanpa kehilangan sinkronisasi disebut *pull-out torque*.<sup>15</sup>

### 3. Motor Listrik Induksi

Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak balik (AC) yang paling luasdigunakan Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa motor ini bekerja berdasarkan induksi medan magnet stator ke statornya, dimana arus rotor motor ini bukandiperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (*rotating magneticfield*) yang dihasilkan oleh arus stator.Motor induksi sangat banyak digunakan di dalam kehidupan sehari-hari baik diindustri maupun di rumah tangga.

Motor induksi yang umum dipakai adalah motorinduksi 3-fase dan motor induksi 1-fase. Motor induksi 3- fase dioperasikan padasistem tenaga 3-fase dan banyak digunakan di dalam berbagai bidang industri dengan kapasitas yang besar. Motor induksi 1-fasa dioperasikan pada sistem

<sup>15</sup> Nyoman Bagia & I Made Prasa, *Motor-motor listrik* (Kupang: CV. Rasi Terbit, 2018), hlm. 31-34.



tenaga 1-fasa dan banyak digunakan terutama untuk peralatan rumah tangga seperti kipas angin, lemari es, pompa air, mesin cuci dan sebagainya karena motor induksi 1-fase mempunyai daya stator.

Motor induksi sangat banyak digunakan di dalam kehidupan sehari-hari baik di industri maupun di rumah tangga. Motor induksi yang umum dipakai adalah motor induksi 3-fase dan motor induksi 1-fase. Motor induksi 3-fase dioperasikan pada sistem tenaga 3-fase dan banyak digunakan di dalam berbagai bidang industri dengan kapasitas yang besar. Motor induksi 1-fase dioperasikan pada sistem tenaga 1-fase dan banyak digunakan terutama untuk peralatan rumah tangga seperti kipas angin, lemari es, pompa air, mesin cuci dan sebagainya karena motor induksi 1-fase mempunyai daya keluaran yang rendah. Bentuk gambaran motor induksi 3-fase diperlihatkan pada gambar 2.9.



Gambar 2.9. Motor Listrik Induksi<sup>16</sup>

### **1. Prinsip Kerja Motor Induksi**

Adapun prinsip kerja motor induksi (tiga fasa) mengikuti langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Apabila catu daya arus bolak-balik tiga fasa dihubungkan pada kumparan stator (jangkar) maka akan timbul medan putar
- b. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor
- c. Akibatnya pada kumparan rotor akan timbul tegangan induksi (GGL) sebesar :

<sup>16</sup> Nyoman Bagia & I Made Prasa, *Motor-motor listrik* (Kupang: CV. Rasi Terbit, 2018), hlm. 34-35.



$$E^2_s = 4,44 \cdot f^2 \cdot N^2 \cdot \varphi_m \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

$E^2_s$  = Tegangan induksi pada saat rotor berputar (Volt)

$N^2$  = Putaran rotor (Rpm)

$f^2$  = Frekuensi rotor (Hz)

$\varphi_m$  = Fluks motor (Wb)

- d. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian tertutup maka  $E^2_s$  akan menghasilkan arus (I).
- e. Adanya arus (I) dalam medan magnet akan menimbulkan gaya F pada rotor.
- f. Bila kopel awal yang dihasilkan oleh gaya F pada rotor cukup besar untuk menggerakkan beban, maka rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.
- g. Tegangan induksi terjadi karena terpotongnya konduktor rotor oleh medan putar, artinya agar terjadi tegangan induksi maka diperlukan adanya perbedaan kecepatan medan putar stator ( $N_s$ ) dengan kecepatan medan putar rotor ( $N_r$ ).
- h. Perbedaan kecepatan antara  $N_s$  dan  $N_r$  disebut Slip (S)
- i. Bila  $N_r = N_s$  maka tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak akan mengalir, dengan demikian kopel tidak akan ada dan motor tidak berputar, kopel motor akan ada kalau ada perbedaan antara  $N_r$  dengan  $N_s$ .  $N_r < N_s$ .<sup>17</sup>

## 2. Konstruksi Motor Induksi

Motor induksi pada dasarnya mempunyai 3 bagian penting seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.10. sebagai berikut:

- a. Stator: Merupakan bagian yang diam dan mempunyai kumparan yang dapat menginduksikan medan elektromagnetik kepada kumparan rotornya.
- b. Celah: Merupakan celah udara: Tempat berpindahnya energi dari startor

<sup>17</sup> Mochtar Wijaya, *Dasar-Dasar Mesin Listrik* (jakarta:Djambatan, 2001), hlm. 157-160.



kerotor.

- c. Rotor: Merupakan bagian yang bergerak akibat adanya induksi magnet dari kumparan stator yang diinduksikan kepada kumparan rotor.



Gambar 2.10. Rotor Dan Stator Motor Induksi

Bentuk konstruksi rotor sangkar motor induksi secara lebih rinci diperlihatkan pada gambar 2.11.



Gambar 2.11. konstruksi rotor sangkar motor induksi

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 baja silikon.
3. Alur, bahannya sama dengan inti, dimana alur ini merupakan tempat meletakkan belitan (kumparan stator).
4. Belitan (kumparan) stator dari tembaga.



Rangka stator motor induksi ini didisain dengan baik dengan empat tujuan yaitu:

1. Menutupi inti dan kumparannya.
2. Melindungi bagian-bagian mesin yang bergerak dari kontak langsung dengan manusia dan dari goresan yang disebabkan oleh gangguan objek atau gangguan udara terbuka (cuaca luar).
3. Menyalurkan torsi ke bagian peralatan pendukung mesin dan oleh karena itu stator didisain untuk tahan terhadap gaya putar dan guncangan.
4. Berguna sebagai sarana rumah ventilasi udara sehingga pendinginan lebih efektif.

Berdasarkan bentuk konstruksi rotornya, maka motor induksi dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu sebagai berikut:

1. Motor induksi dengan rotor sangkar (*squirrel cage*).
2. Motor induksi dengan rotor belitan (*wound rotor*)

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

1. Inti rotor, bahannya dari besi lunak atau baja silikon sama dengan inti stator.
2. Alur, bahannya dari besi lunak atau baja silikon sama dengan inti. Alur merupakan tempat meletakkan belitan (kumparan) rotor.
3. Belitan rotor, bahannya dari tembaga.
4. Poros atau as.

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.<sup>18</sup>

---

<sup>18</sup> Nyoman Bagia & I Made Prasa, *Motor-motor listrik* (Kupang: CV. Rasi Terbit, 2018), hlm. 35-37.



#### 2.1.4. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi

Kerja motor induksi seperti juga kerja transformator adalah berdasarkan prinsip induksi elektromagnet. Kerja motor induksi tergantung pada tegangan dan arus induksi pada rangkaian rotor dari rangkaian stator. Rangkaian ekuivalen motor induksi mirip dengan rangkaian ekuivalen trafo. Rangkaian tersebut dapat dilihat pada gambar 2.8. dibawah ini :



Gambar 2.12. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi

Dimana :

$X_2$  : Reaktansi kumparan rotor

$R_c$  : Tahanan inti besi

$X_m$  : Reaktansi rangkaian penguat

$I$  : Arus yang mengalir pada kumparan stator bila motor tidak berbeban ( beban nol )

$I_2$  : Arus rotor yang berpatokan pada stator

$E_1$  : Tegangan induksi pada kumparan stator<sup>19</sup>

#### 2.1.5. Medan Putar

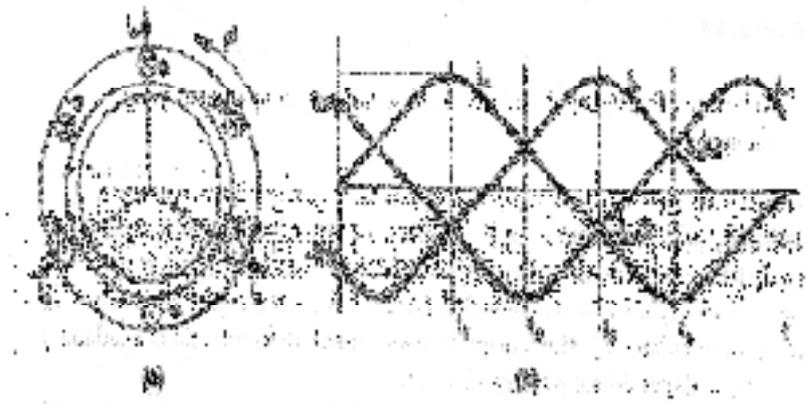
Menurut (Zuhal:1991:687) Perputaran motor pada mesin arus bolak-balik ditimbulkan oleh adanya medan putar (fluks yang berputar) yang dihasilkan dalam kumparan statornya. Medan putar ini terjadi apabila kumparan stator dihubungkan dalam fasa banyak, umumnya fasa 3. Hubungan dapat berupa hubungan bintang atau delta. Misalkan kumparan  $a$  - $a$ ;  $b$  - $b$ ;  $c$  - $c$  dihubungkan 3 fasa, dengan beda fasa masing – masing  $120^0$  (gambar 2.9a) dan di aliri arus sinusoid. Distribusi arus  $i_a$ ,  $i_b$ ,  $i_c$  sebagai fungsi waktu adalah seperti gambar 2.9 b. Pada keadaan  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,

<sup>6</sup> PT Gramedia Pustaka Utama.2004."Prinsip Dasar Elektronik".hal.692

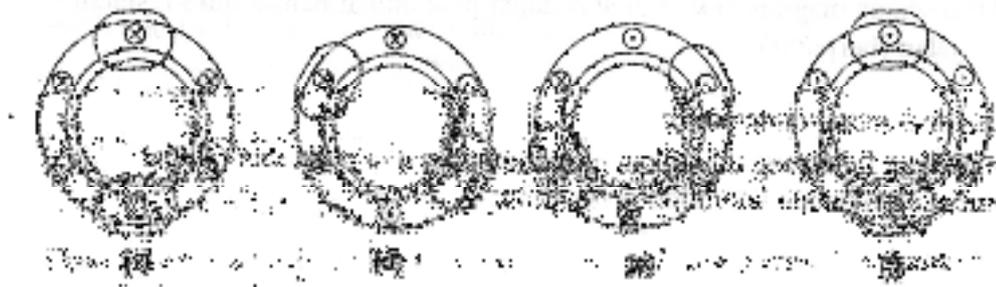


dan  $t_4$ , fluks resultan yang ditimbulkan oleh kumparan tersebut masing-masing adalah seperti gambar *c*, *d*, *e*, dan *f*.

Pada  $t_1$  fluks resultan mempunyai arah sama dengan arah fluks yang dihasilkan oleh kumparan *a* -*a*; sedangkan pada  $t_2$ , fluks resultannya mempunyai arah sama dengan arah fluks yang dihasilkan oleh kumparan *c* -*c*; dan untuk  $t_3$  fluks resultan mempunyai arah sama dengan fluks yang dihasilkan oleh kumparan *b* -*b*. Untuk  $t_4$ , fluks resultannya berlawanan arah dengan fluks resultan yang dihasilkan pada saat  $t_1$  keterangan ini akan lebih jelas pada analisa vektor.



Gambar 2.13. (a) Diagram Phasor Fluksi Tiga Fasa; (b) Arus Tiga Fasa Setimbang

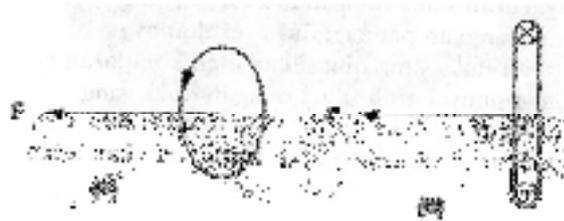


Gambar 2.14. Medan Putar Pada Motor Induksi Tiga Fasa

Dari gambar 2.10. *c*, *d*, *e*, dan *f* tersebut terlihat fluks resultan ini akan berputar satu kali.

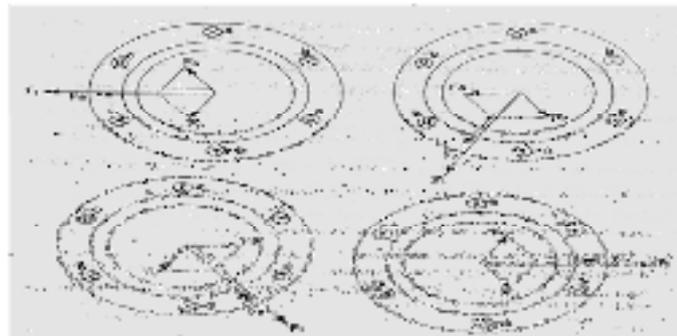
Analisis secara vector di dapatkan atas dasar :

1. Arah fluks yang ditimbulkan oleh arus yang mengalir dalam suatu lingkaran sesuai dengan perputaran sekrup lihat pada gambar 2.15. dibawah ini.



Gambar 2.15. Arah Fluks Yang Ditimbulkan Oleh Arus Yang Mengalir Dalam Suatu Lingkaran

2. Kebesaran fluks yang ditimbulkan ini sebanding dengan arus yang mengalir. Notasi yang dipakai untuk menyatakan positif atau negatifnya arus yang mengalir pada kumparan  $a - a$ ,  $b - b$ , dan  $c - c$  yaitu: harga positif, apabila tanda silang (x) terletak pada pangkal konduktor tersebut (titik  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ), sedangkan negatif apabila tanda titik (.) terletak pada pangkal konduktor tersebut (gambar 2.14). Maka diagram vektor untuk fluks total pada keadaan  $t1$ ,  $t2$ ,  $t3$ ,  $t4$ , dapat dilihat pada gambar 2.16. dibawah ini.. :



Gambar 2.16. Diagram Vektor Untuk Fluks Total Pada Keadaan  $t1$ ,  $t2$ ,  $t3$ ,  $t4$

Dari semua diagram vektor di atas dapat pula dilihat bahwa fluks resultan berjalan (berputar).

### 2.1.6. Slip

Motor induksi tidak dapat berputar pada kecepatan sinkron. Seandainya hal ini terjadi, maka rotor akan tetap diam relatif terhadap fluksi yang berputar.



Maka tidak akan ada ggl yang diinduksikan dalam rotor, tidak ada arus yang mengalir pada rotor dan karenanya tidak akan menghasilkan kopel. Kecepatan rotor sekalipun tanpa beban, harus lebih kecil sedikit dari kecepatan sinkron agar adanya tegangan induksi pada rotor dan akan menghasilkan arus di rotor, arus induksi ini akan berinteraksi dengan fluks listrik sehingga menghasilkan kopel. Selisih antara kecepatan rotor dengan kecepatan sinkron disebut slip ( $s$ ).

$$\text{Slip } (s) = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\%$$

Dimana,  $S$  = Slip

$n_s$  = Kecepatan Medan Putar Stator

$n_r$  = Kecepatan Putar Rotor

Persamaan diatas memberikan informasi yaitu:

1. saat  $s = 1$  dimana  $n_r = 0$ , ini berarti rotor masih dalam keadaan diam atau akan berputar.
2.  $s = 0$  menyatakan bahwa  $n_s = n_r$ , ini berarti rotor berputar sampai kecepatan sinkron. Hal ini dapat terjadi jika ada arus dc yang diinjeksikan ke belitan rotor, atau rotor digerakkan secara mekanik.
3.  $0 < s < 1$ , ini berarti kecepatan rotor diantara keadaan diam dengan kecepatan sinkron. Kecepatan rotor dalam keadaan inilah dikatakan kecepatan tidak sinkron. Biasanya slip untuk mendapatkan efisiensi yang tinggi pada saat beban penuh adalah 0,04.<sup>20</sup>

<sup>7</sup> Armico.1979."Teknik Tenaga Listrik".hal.277