

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **1.1 Motor Induksi Tiga Fasa**

Mesin–mesin listrik digunakan untuk mengubah suatu bentuk energi ke energi yang lain, misalnya mesin yang mengubah energi mekanis ke energi listrik disebut generator, dan sebaliknya energi listrik menjadi energi mekanis disebut motor. Masing–masing mesin mempunyai bagian yang diam dan bagian yang bergerak.

Pada umumnya mesin–mesin penggerak yang digunakan di industri mempunyai daya keluaran lebih besar dari 1 HP dan menggunakan motor induksi tiga fasa. Adapun kelebihan dan kekurangan motor induksi bila dibandingkan dengan jenis motor lainnya, adalah

##### **2.1.1 Kelebihan Motor Induksi**

Motor Induksi mempunyai konstruksi yang sederhana dan harganya relatif lebih murah bila dibandingkan dengan jenis motor yang lainnya. Motor Induksi juga menghasilkan putaran yang konstan, mudah perawatannya, serta untuk pengasutan tidak memerlukan motor lain sebagai penggerak mula dan tidak membutuhkan sikat–sikat, sehingga rugi gesekan bisa dikurangi.

##### **2.1.2 Kekurangan Motor Induksi**

Motor Induksi mempunyai kekurangan yaitu putarannya sulit diatur, power faktor rendah pada beban ringan, dan arus asut yang cukup tinggi, berkisar antara 5 sampai dengan 6 kali arus nominal motor.

#### **1.2 Klasifikasi Motor AC**

Pabrik motor listrik telah mencoba dalam beberapa dekade terakhir, untuk menyempurnakan variasi tipe motor ac yang cocok untuk semua industri dan untuk suplai satu dan tiga fasa. Motor ac dapat dibagi menjadi beberapa bagian sesuai dengan kelompoknya masing–masing, diantaranya:

##### **2.2.1 Hubungan Putaran Motor dengan Frekuensi**

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

### 1. Motor Sinkron (Motor Serempak)

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

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{P} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

$N_s$  = Jumlah Putaran Per Menit

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.

### 2. 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. Jadi pada motor asinkron jumlah putaran motor dapat ditulis dengan persamaan:

$$n < \frac{120 \cdot f}{P} \dots \dots \dots (2.2)$$

#### 2.2.2 Berdasarkan cara Penerimaan Tegangan dan Arus

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

##### 1. 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. 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.

[2] Drs. Sumanto, M.A. *Motor Listrik Arus Bolak Balik*.

[5] Sumardjati, Prih, dkk. 2008. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jild 3*.

### 2.2.3 Berdasarkan Frasa yang digunakan

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

#### 1. Motor satu fasa

Disebut motor satu fasa karena untuk menghasilkan tenaga mekanik, pada motor tersebut dimasukkan tegangan satu fasa. Didalam praktek, yang sering digunakan 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.

### 1.3 Konstruksi Motor Induksi Tiga Fasa

Pada dasarnya motor induksi terdiri dari bagian yang bergerak dan diam terdiri dari inti besi, dipisahkan oleh celah udara dan membentuk rangkaian magnetic dimana fluks dihasilkan oleh aliran arus melalui kumparan atau belitan yang terletak didalam kedua bagian tersebut. Secara ringkas stator terdiri dari blek-blek dinamo yang berisolasi pada satu sisinya dan mempunyai ketebalan 0,35 – 0,5 mm, disusun menjadi sebuah paket blek yang berbentuk gelang. Disisi dalamnya dilengkapi dengan alur-alur.

Bagian motor dengan garis tengah yang besar, lamel inti besi merupakan busur inti segmen yang disambung-sambung menjadi satu lingkaran. Celah udara antara stator dan rotor pada motor yang kecil berkisar 0,25 – 0,75 mm. Pada motor

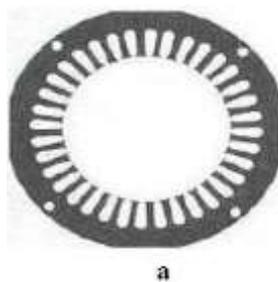
---

[6] Zuhail. 1995. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*.

yang besar bisa sampai 10 mm. Celah udara yang besar ini disediakan untuk kemungkinan terjadinya perenggangan pada sumbu atau sambungannya. Tarikan pada pita (belt) atau beban yang tergantung tersebut akan mengakibatkan sumbu motor melengkung.

Pada dasarnya inti besi stator dan belitan rotor motor asinkron ini sama dengan stator dan belitan motor sinkron. Kesamaan ini dapat ditunjukkan bahwa pada motor asinkron yang dipasang sesuai dengan stator motor asinkron akan dapat bekerja dengan baik. 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 fasa. Stator terdiri dari pelat-pelat besi yang disusun sama besar dengan rotor dan pada bagian dalam mempunyai banyak alur-alur yang diberi kumparan kawat tembaga yang berisolasi. Jika kumparan stator mendapat suplai arus tiga fasa maka pada kumparan tersebut akan muncul flux magnet putar. Dan mengakibatkan rotor berputar karena adanya induksi magnet dengan kecepatan putar rotor sinkron dengan kecepatan putar stator.

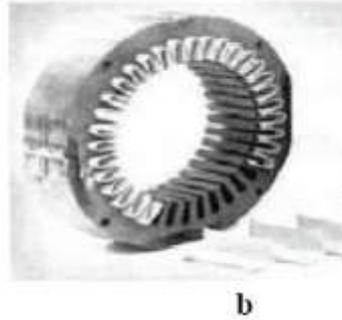
Berikut ini contoh lempengan laminasi inti, lempengan inti yang telah disatukan, belitan stator yang telah dilekatkan pada cangkang untuk motor induksi tiga fasa.



**Gambar 2.1 a Lempengan Inti**

---

<sup>[6]</sup> Zuhail. 1995. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*.



**Gambar 2.2 b Tumpukan Inti dengan Kertas Isolasi Pada Beberapa Alurnya**



**Gambar 2.3 c Tumpukan Inti dan Belitan dalam Cangkang Stator**

### 2.3.1 Stator

Pada bagian stator terdapat beberapa slot yang merupakan tempat kawat (konduktor) dari tiga fasa yang disebut kumparan stator, yang masing-masing kumparan mendapatkan suplai arus tiga fasa. Stator terdiri dari pelat-pelat besi yang disusun sama besar dengan rotor dan pada bagian dalam mempunyai banyakalur-alur yang diberi kumparan kawat tembaga yang berisolasi. Jika kumparan stator mendapat suplai arus tiga fasa maka pada kumparan tersebut akan muncul flux magnet putar. Dan mengakibatkan rotor berputar karena adanya induksi magnet dengan kecepatan putar rotor sinkron dengan kecepatan putar stator.

Dari bagian stator dapat dibagi menjadi beberapa bagian antara lain sebagai berikut: Fungsi utama dari bodi atau frame adalah sebagai tempat mengalirnya *flux* magnet yang dihasilkan oleh kutub-kutub magnet, karena itu beban motor dibuat dari bahan feromagnetik. Disamping itu badan motor ini berfungsi untuk meletakkan alat-alat tertentu dan melindungi

---

<sup>[6]</sup> Zuhail. 1995. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*.

bagian-bagian yang lainnya. Biasanya pada motor terdapat name plate yang bertuliskan spesifikasi umum dari motor.

1. Inti kutub magnet dan lilitan penguat magnet

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

2. Sikat dan pemegang sikat

Fungsi dari sikat adalah sebagai jembatan bagi aliran arus dari sumber. Selain itu, sikat berperan penting untuk terjadinya komutasi, agar gesekan antara sikat dan komutator sehingga sikat harus lebih lunak dari komutator. Biasanya sikat terbuat dari bahan arang.

3. Komutator

Komutator berfungsi sebagai penyearah mekanik yang bersama-sama dengan sikat arang membuat suatu kerja sama yang disebut komutasi. Supaya menghasilkan penyearah yang lebih baik, maka komutator yang digunakan hendaknya dalam jumlah yang besar. Setiap segmen komutator berbentuk lempengan.

### 2.3.2 Rotor

Berdasarkan hukum Faraday tentang imbas magnet, maka medan putar yang secara relatif merupakan medan magnet yang bergerak terhadap penghantar rotor akan mengimbaskan gaya gerak listrik (ggl). Frekuensi ggl imbas ini sama dengan frekuensi jala-jala.

Besar ggl imbas ini berbanding lurus dengan kecepatan relatif antara medan putar dan penghantar rotor. Penghantar-penghantar dalam rotor yang membentuk suatu rangkaian tertutup, merupakan rangkaian pelaju bagi arus rotor dan searah dengan hukum yang berlaku yaitu hukum Lenz.

Arahnya melawan fluks yang mengimbaskan. Dalam hal ini rotor itu ditimbulkan karena adanya perbedaan kecepatan yang berada diantara fluks atau medan putar stator dengan penghantar yang diam. Rotor akan berputar dalam arah diatas.

---

<sup>[6]</sup> Zuhail. 1995. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*.

Motor induksi bila ditinjau dari rotornya terdiri atas dua tipe yaitu rotor sangkar dan rotor lilit.

### 1. Motor Rotor Sangkar

Motor induksi jenis rotor sangkar lebih banyak digunakan dari pada jenis rotor lilit, sebab rotor sangkar mempunyai bentuk yang sederhana. Belitan rotor terdiri atas batang-batang penghantar yang ditempatkan di dalam alur rotor. Batang penghantar ini terbuat dari tembaga, alloy atau aluminium. Ujung-ujung batang penghantar dihubungkan singkat oleh cincin penghubung singkat, sehingga berbentuk sangkar burung. Motor induksi yang menggunakan rotor ini disebut Motor Induksi Rotor Sangkar.

Karena batang penghantar rotor yang telah dihubungkan singkat, maka tidak dibutuhkan tahanan luar yang dihubungkan seri dengan rangkaian rotor pada saat awal berputar. Alur-alur rotor biasanya tidak dihubungkan sejajar dengansumbu (poros) tetapi sedikit miring.



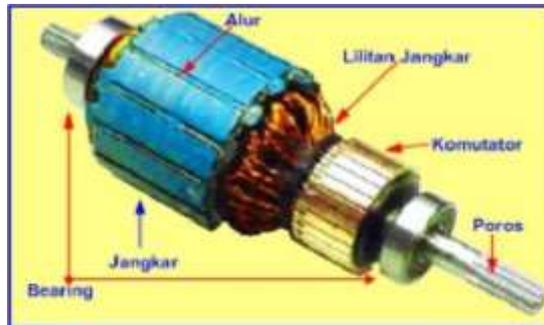
**Gambar 2.4 Rotor Sangkar**

### 2. Motor Rotor Lilit

Motor lilit terdiri atas belitan fasa banyak, belitan ini dimasukkan ke dalam alur-alur inti rotor. Belitan ini sama dengan belitan stator, tetapi belitan selalu dihubungkan secara bintang. Tiga buah ujung-ujung belitan dihubungkan ke terminal-terminal sikat/cincin seret yang terletak pada poros rotor. Pada jenis rotor lilit kita dapat mengatur kecepatan motor dengan cara mengatur tahanan belitan rotor tersebut. Pada keadaan kerja normal sikat karbon yang berhubungan dengan cincin seret tadi dihubungkan singkat.

<sup>[6]</sup> Zuhail. 1995. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*.

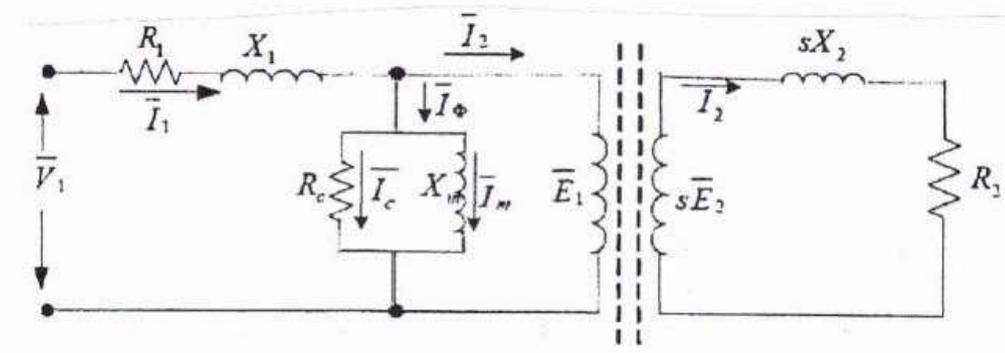
Motor induksi rotor lilit dikenal dengan sebutan Motor Induksi Slipring atau Motor Induksi Rotor Lilit.



**Gambar 2.5 Rotor Lilit**

#### 1.4 Rangkaian Ekivalen Motor Induksi 3 Fasa

Kerja motor induksi seperti juga kerja transformator adalah berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Oleh karena itu, motor induksi dapat dianggap transformator dengan rangkaian sekunder yang berputar.



**Gambar 2.6 Rangkaian Pengganti Motor Induksi**

Untuk menentukan rangkaian ekivalen dari motor 3 fasa pertama-tama perhatikan keadaan pada stator. Gelombang fluks pada celah udara yang berputar sinkron membangkitkan GGL lawan 3 fasa yang seimbang di dalam fasa-fasa stator. Besarnya tegangan terminal stator berbeda dengan GGL lawan sebesar jatuh tegangan pada Impedansi ( $Z$ ) bocor stator, sehingga dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\bar{V}_1 = \bar{E}_1 + \bar{I}_1(R_1 + jX) \text{ Vol} \dots\dots\dots(2.3)$$

[6] Zuhail. 1995. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*.

Dimana :

$\bar{V}_1$  = Tegangan Terminal Stator Volt

$\bar{E}_1$  = Ggl Lawan yang Dihasilkan Oleh Fluks Celah Udara Resultan (Volt)

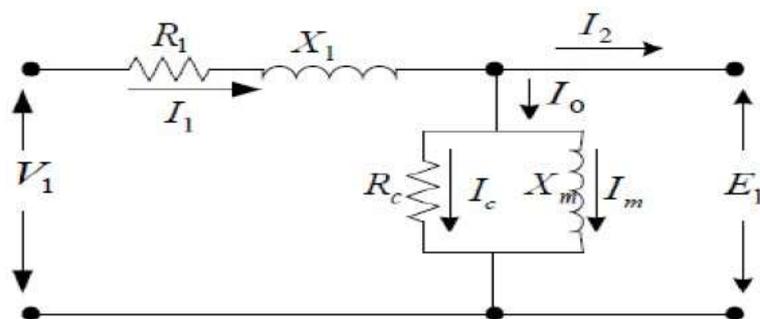
$\bar{I}_1$  = Arus Sator (Ampere)

$R_1$  = Resistendi Efektif Stator (ohm)

$X_1$  = Reaktansi Bocor Stator (ohm)

Seperti halnya transformator, arus stator dapat dipecah menjadi 2 komponen, yaitu komponen beban dan komponen peneralan. Komponen beban  $I_2$  menghasilkan suatu fluks yang akan melawan fluks yang diakibatkan arus rotor.

Komponen peneralan  $I\Phi$  merupakan arus stator tambahan yang diperlukan untuk menghasilkan fluks celah udara resultan. Arus peneralan dapat dipecah menjadi komponen rugi-rugi inti  $I_c$  yang se-phasanya dengan  $E_1$  dan komponen magnetisasi  $I_m$  yang tertinggal dari  $E_1$  sebesar 90°. Sehingga dapat dibuat rangkaian ekivalen pada stator seperti gambar dibawah ini:



**Gambar 2.7 Rangkaian Ekivalen Stator**

Pada rotor belitan, belitan yang dililit sama banyaknya dengan jumlah kutub dan phasa stator. Jumlah lilitan efektif tiap phasa pada lilitan stator banyaknya  $x$  jumlah lilitan rotor. Bandingkan efek magnetis rotor ini dengan yang terdapat pada rotor ekivalen magnetic yang mempunyai jumlah lilitan yang sama seperti stator. Untuk kecepatan dan fluks yang sama, hubungan antara tegangan  $E_{rotor}$  yang diimbaskan pada rotor yang sebenarnya dan tegangan  $E_2$ s yang diimbaskan pada rotor ekivalen adalah sebagai berikut:

$$\bar{E}_1 = a E_{rotorf} \dots\dots\dots (2.4)$$

Bila rotor-rotor akan diganti secara magnetis, lilitan amper masing-masing harus sama dan hubungan antara arus rotor sebenarnya  $I_{rotor}$  dan arus  $I_{2s}$  pada rotor ekivalen haruslah:

$$\overline{E_1} = \frac{\overline{I_{rotor}}}{a} \dots \dots \dots (2.5)$$

Akibatnya hubungan antara Impedansi ( $Z$ ) bocor frekuensi slip  $Z_{2s}$  dari rotor ekivalen dan impedansi bocor frekuensi slip  $Z_{rotor}$  yang sebenarnya haruslah sebagai berikut:

$$Z_{2s} = \frac{E_{2s}}{I_{2s}} = \frac{a_2 E_{rotor}}{I_{rotor}} = a^2 Z_{rotor} \dots \dots \dots (2.6)$$

Karena rotor terhubung singkat, hubungan fasor antara GGL frekwensi slip  $E_{2s}$  yang dibangkitkan pada phasa patokan dari rotor patokan dan arus  $I_{2s}$  pada phasa tersebut adalah:

$$\frac{E_{2s}}{I_{2s}} = Z_{2s} = c + jsX_2 \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana:

$Z_{2s}$  = Impedansi Bocor Rotor Frekuensi Slip/Phasa (ohm)

$R_2$  = Tahanan Rotor (ohm)

$X_{2s}$  = Reaksi Bocor Patokan pada Frekwensi Slip (ohm)

Reaktansi yang didapat pada persamaan (2.10) dinyatakan dalam cara yang demikian karena sebanding dengan frekuensi rotor dan slip. Jadi  $X_2$  didefinisikan sebagai harga yang akan dimiliki oleh reaktansi bocor pada rotor dengan patokan pada frekuensi stator.

Pada stator ada gelombang fluks yang berputar pada kecepatan sinkron. Gelombang fluks ini akan mengimbangkan tegangan pada rotor dengan frekuensi Politeknik Negeri Sriwijaya slip sebesar  $E_{2s}$  dan GGL lawan stator  $E_1$ . Bila bukan karena efek kecepatan, tegangan rotor akan sama dengan tegangan stator karena lilitan rotor identik dengan lilitan stator. Kecepatan relative gelombang fluks terhadap rotor adalah  $s$  kali kecepatan stator, hubungan antara GGL efektif pada stator dan rotor adalah:

$$\overline{E_{2s}} = s\overline{E_2} \dots \dots \dots (2.8)$$

Gelombang fluks magnetik pada rotor dilawan oleh fluks magnetik yang dihasilkan komponen beban  $I_2$  dari arus stator dan karenanya untuk harga

efektifnya adalah:

$$\overline{I_{2s}} = \overline{I_2} \dots\dots\dots (2.9)$$

Membagi persamaan (2.7) dengan persamaan (2.8) didapatkan:

$$\frac{E_{2s}}{I_{2s}} = \frac{sE_2}{I_2} \dots\dots\dots (2.10)$$

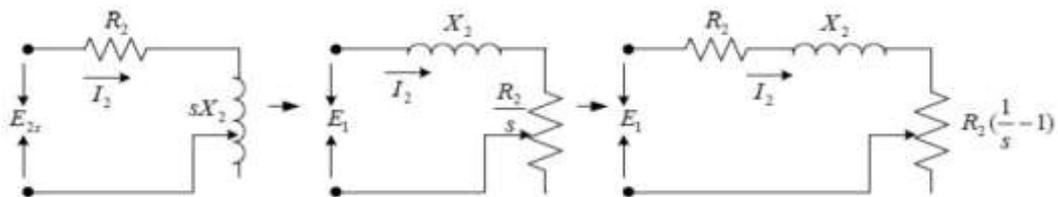
Didapat hubungan antara persamaan (2.8) dengan persamaan (2.9), yaitu:

$$\frac{E_{2s}}{I_{2s}} = \frac{sE_2}{I_2} = R_2 + jsX_2 \dots\dots\dots (2.11)$$

Dengan membagi persamaan (2.10) dengan S, maka di dapat:

$$\frac{E_{2s}}{I_{2s}} = \frac{sE_2}{I_2} = R_2 + jsX_2 \dots\dots\dots (2.12)$$

Dari persamaan (2.8), (2.9) dan (2.12) maka dapat digambarkan rangkaian ekivalen pada rotor seperti pada gambar dibawah ini:

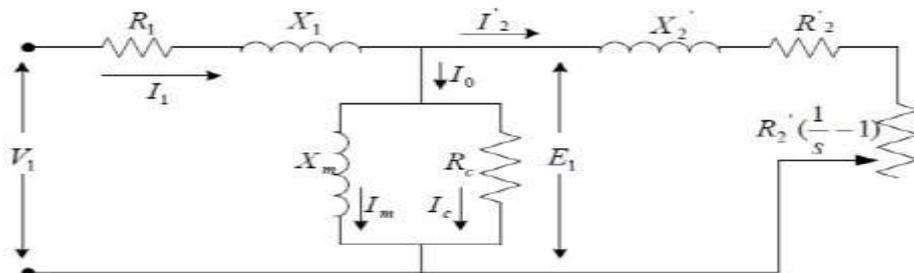


**Gambar 2.8 Rangkaian Ekivalen Rotor**

$$\frac{R_1}{s} = \frac{R_1}{s} + R_1 - R_2$$

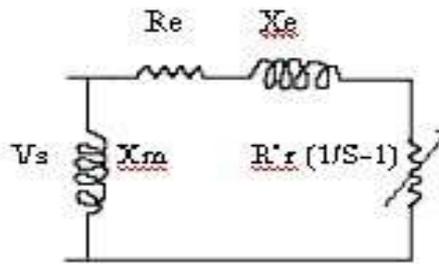
$$\frac{R_1}{s} = \frac{R_1}{s} + R(\frac{1}{s} - 1) \dots\dots\dots (2.13)$$

Dari penjelasan mengenai rangkaian ekivalen pada stator dan rotor diatas, maka dapat dibuat rangkaian ekivalen motor induksi 3 phasa pada masing-masing phasanya dan untuk mempermudah perhitungan maka rangkaian ekivalen dilihat dari sisi stator. Seperti pada gambar dibawah ini:



**Gambar 2.9 Rangkaian Ekivalen Sisi Stator**

Dari rangkaian ekuivalen tersebut, dapat di sederhanakan menjadi rangkaian ekuivalent motor induksi sebagai berikut ini:



**Gambar 2.10 Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi**

### 1.5 Prinsip Kerja Motor Induksi 3 Fasa

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

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

$$E^2s = 4,44 \cdot f^2 \cdot N^2 \cdot \phi_m \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana:

$E^2s$  = Tegangan Induksi Pada Saat Rotor Berputar (Volt)

$N^2$  = Putaran Rotor (Rpn)  $F^2$

$f^2$  = Frekuensi Rotor (Hz)

$\Phi_m$  = Fluks Motor (Wb)

- Karena kumparan rotor merupakan rangkaian tertutup maka  $E^2s$  akan menghasilkan arus ( $I$ ).
- 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)

$$s = \frac{(N_s - N_r)}{N_s} \times 100\% \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana:

S = Slip Motor (100%)

$N_s$  = Medan Putar Stator (Rpm)

$N_r$  = Medan Putar Rotor (Rpm)

- 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  $N_s$ .  $N_r < N_s$ .

## 1.6 Torsi Motor Induksi

Secara umum torsi merupakan gaya yang digunakan untuk menggerakkan sesuatu dengan jarak dan arah tertentu. Dari penjelasan tersebut, maka rumusan torsi adalah sebagai berikut:

$$\tau = \frac{5252 \times hp}{N_r} \dots\dots\dots (2.16)$$

$\tau$  = Torsi (N.m)

Hp = House Power (watt)

$N_r$  = Kecepatan putaran rotor (rpm)

sedangkan hubungan torsi terhadap daya pada sebuah motor listrik adalah:

$$P_{out} = \tau \times \omega_r \dots\dots\dots (2.17)$$

$P_{out}$  = Daya Keluar

$\tau$  = Torsi (N.m)

$\omega_r$  = Kecepatan Sudut Rotor (Rad/s)

Untuk motor listrik, kecepatan sudut rotor didapatkan berdasarkan persamaan berikut:

$$\omega r = \frac{2 \times \pi \times n_r}{60} \quad (2.18)$$

Dimana:

$\omega r$  = Kecepatan Sudut Rotor (Rad/s)

$n_r$  = Kecepatan putaran rotor (rpm)

$\pi$  = 3,14 atau dapat menggunakan persamaan

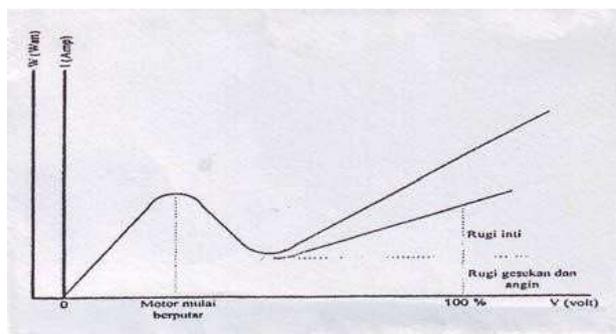
## 1.7 Karakteristik Motor Induksi

Secara umum motor induksi yang baik mempunyai standar bentuk karakteristik tertentu. Tiap - tiap motor mempunyai karakteristik sendiri-sendiri.

Dibawah ini disebutkan beberapa karakteristik yang menggambarkan hubungan antara suatu parameter dan mesin yang lain, yaitu:

### 2.7.1 Karakteristik Beban Nol

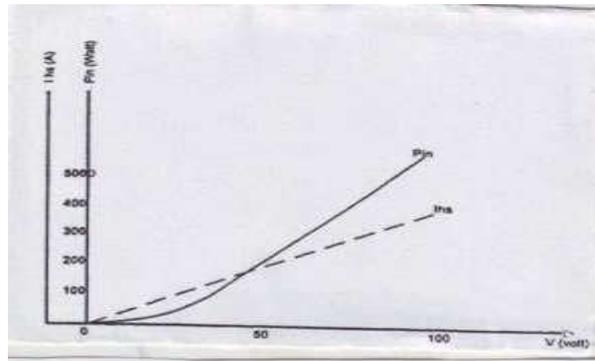
Karakteristik beban nol adalah karakteristik yang menggambarkan hubungan antara tegangan ke motor dengan arus daya  $\cos \phi$  motor pada keadaan tanpa beban, jadi putaran mendekati sinkron atau sama.



Gambar 2.11 Karakteristik Beban Nol

### 2.7.2 Karakteristik Rotor yang diblok

Karakteristik motor yang diblok adalah karakteristik yang menggambarkan hubungan antara tegangan masuk dan arus yang masuk,  $\cos \phi$ , daya masuk. Seperti yang ditampilkan pada gambar dibawah ini :

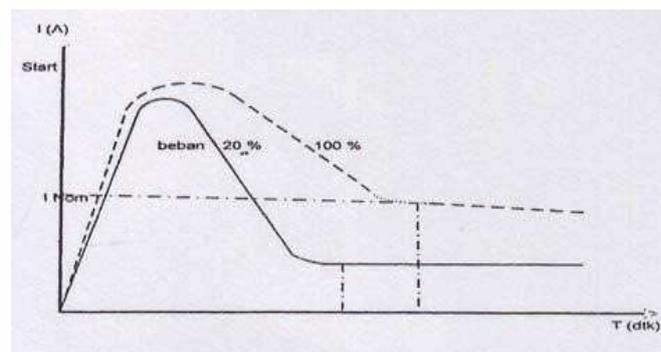


**Gambar 2.12 Karakteristik Rotor yang Diblok**

### 2.7.3 Karakteristik Start

Karakteristik start ini dipakai untuk menggambarkan hubungan antara waktu dan arus. Putaran untuk macam – macam beban pada tegangan masuk konstan. Dari gambar dibawah berikut (Gambar 2.12) dapat dijelaskan bahwa:

1. Jika waktu start dari motor induksi makin lama, maka pemanas pada belitan akan lebih besar pula pada elemen pengaman. Hal ini akan berpengaruh terhadap lifetime dari motor.
2. Arus akhir ke motor lebih tinggi.
3. Putaran akhir motor akan lebih rendah.

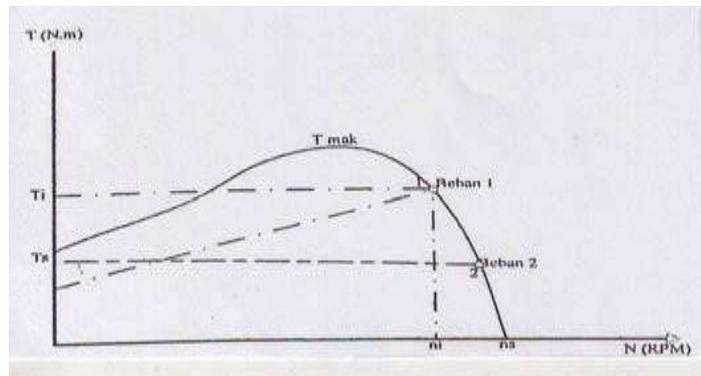


**Gambar 2.13 Karakteristik Start**

### 2.7.4 Karakteristik Kopel dan Putaran

Daerah kerja motor terletak pada daerah perputaran mendekati  $n_s$ . Kopel lawan beban 1 dan 2 pada waktu start  $< T_s$  maka motor dapat distart, masingmasing dengan titik kerja 1 (kopel kerja =  $T_1$  dan putaran kerja  $n_1$ )

dan titik kerja 2. Bila kopel lawan beban pada saat start  $> T_s$  maka motor tidak dapat distart. Selama motor belum berputar, arus motor tinggi. Seperti yang terlihat pada gambar 2.12 berikut ini:



**Gambar 2.14 Karakteristik Kopel dan Putaran**

### 1.8 Cara-cara Menentukan Rugi-rugi Pada Motor

Rugi-rugi motor listrik sebagian dapat ditemukan dengan cara konvensional yaitu dengan percobaan beban nol dan percobaan block rotor (hanya untuk motor arus bolak-balik). Percobaan beban nol dapat menentukan rugi-rugi rotasi motor. Pada keadaan beban nol, seluruh daya listrik input motor digunakan untuk mengatasi rugi-rugi inti dan rugi-rugi mekanik.

Rugi-rugi listrik motor dapat ditentukan yaitu pada tahanan DC, tahanan belitan dapat langsung diukur pada terminal belitan jangkar dan belitan penguat secara pengukuran DC, yaitu dengan mengukur tegangan dan arus dengan sumber DC pada belitan tersebut, atau dengan menggunakan ohm meter (jembatan wheatstone).

Pada motor AC, tahanan equivalen motor dapat ditentukan dengan percobaan block rotor (hubungan singkat), dimana pada keadaan ini rangkaian equivalen motor adalah sama dengan rangkaian equivalen hubung singkat dari suatu transformator. Jadi daya pada keadaan ini merupakan rugi-rugi tahanan atau belitan dan pada keadaan ini rugi-rugi inti dapat diabaikan karena tegangan hubung singkat relatif kecil dibandingkan dengan tegangan nominalnya.

Rugi-rugi stray load adalah rugi-rugi yang paling sulit ditukur dan berubah terhadap beban motor. Rugi-rugi ini ditentukan sebagai rugi-rugi sisa (rugi-rugi

pengujian dikurangi rugi-rugi konvensional). Rugi-rugi pengujian adalah daya input dikurangi daya output. Rugi-rugi konvensional adalah jumlah dari rugi-rugi inti, rugi-rugi mekanik, rugi-rugi belitan. Rugi-rugi stray load juga dapat ditentukan dengan anggapan kira-kira 1% dari daya output dengan kapasitas daya 150 Kw atau lebih. Dan untuk motor-motor yang lebih kecil dari itu dapat diabaikan.

### 1.9 Rugi-Rugi Pada Motor Induksi

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

$$P_{out} = P_{in} - P_{Rugi-rugi} \dots \dots \dots (2.20)$$

Dimana

$P_{Out}$  = Daya Yang Diterima Motor Untuk Melakukan Kerja

$P_{In}$  = Total Daya yang Diterima Motor

$P_{Rugi-Rugi}$  = Total Kerugian Daya yang Dihasilkan Oleh Motor

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.21)$$

$$= \frac{P_{in} - P_{Rugi-rugi}}{P_{in}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.22)$$

Dimana:

$\eta$  = Efisiensi (%)

$P_{in}$  = Total Daya yang Diterima Motor

$P_{out}$  = Daya yang Diterima Motor Untuk Melakukan Kerja

$P_{Rugi-rugi}$  = Total Kerugian Daya yang Dihasilkan Oleh Motor

Dari persamaan diatas, perlu dipelajari faktor-faktor yang menyebabkan efisiensi selalu dibawah 100%. Untuk itu perlu diketahui kerugian daya apa saja yang timbul selama motor beroperasi.

1. Belitan dalam motor yang dinamakan rugi-rugi listrik (Rugi-rugi belitan).
2. Kerugian daya yang timbul langsung karena putaran motor, yang dinamakan rugi-rugi rotasi. Rugi-rugi rotasi ini terbagi menjadi dua jenis yaitu rugi-rugi mekanis akibat putaran dan rugi-rugi inti besi akibat kecepatan putaran dan fluks medan.

**Tabel 2.1 Jenis Rugi Motor Induksi 3 Fasa**

Jenis Rugi-rugi	Persentase rugi-rugi total
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	15
Rugi-rugi beban menyimpang ( <i>stray load</i> )	5

### 2.9.1 Rugi-rugi Inti

Rugi-rugi inti diperoleh pada besi magnetis didalam stator dan rotor akibat timbulnya efek histeris dan arus pusar (eddy current). Timbulnya rugi-rugi inti, ketika besi jangkar atau struktur rotor mengalami perubahan fluks terhadap waktu. Rugi-Rugi ini tidak tergantung pada beban, tetapi merupakan fungsi dari pada fluks dan kecepatan motor. Pada umumnya rugi-rugi inti berkisar antara 20–25% dari total kerugian daya motor pada keadaan nominal.

Rugi-rugi arus eddy tergantung pada kuadrat dari kerapatan fluks, frekuensi dan ketebalan dari lapisan. Pada keadaan mesin normal besarnya dapat didekati dengan:

$$P_c = K_c(B_{maks} \cdot F \cdot T)^2 \dots\dots\dots (2.23)$$

Dimana:

- T = Tebal Lapisan  
 $B_{maks}$  = Kerapatan Fluks Maksimum  
 F = Frekuensi  
 $K_c$  = Ketetapan Pembanding

Harga  $K_c$  tergantung pada satuan yang digunakan, volume besi dan resistensi vitas besi. Ragam dari rugi-rugi histerisis dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan secara empiris saja.

Pada mesin induksi, rugi-rugi intinya terdapat di stator dan rotor hampir boleh diabaikan karena frekuensi di rotor relatif kecil. Jadi total rugi-rugi inti sesuai tabel adalah sebagai berikut:

$$P_i = P_{\text{rugi-rugi}} \times 0,25 \dots\dots\dots (2.24)$$

Dimana:

- $P_i$  = Rugi-rugi Inti  
 $P_{\text{rugi-rugi}}$  = Rugi-rugi Total

### 2.9.2 Rugi-rugi Mekanik

Rugi-rugi gesekan dan angin adalah energi mekanik yang dipakai dalam motor listrik untuk menanggulangi gesekan bantal poros, gesekan sikat melawan komutator atau slip ring, gesekan dari bagain yang berputar terhadap angin, terutama pada daun kipas pendingin. Kerugian energi ini selalu berubah menjadi panas berubah menjadi panas seperti pada semua rugi – rugi lainnya.

Rugi-rugi mekanik dianggap konstan dari beban nol hingga beban penuh dan ini adalah masuk akal tetapi tidak sepenuhnya tepat seperti halnya pada rugi-rugi inti. Macam-macam ketidak tepatan ini dapat dihitung dalam rugi-rugi stray load. Rugi-rugi mekanik biasanya berkisar antara 10 – 15% dari total rugi-rugi daya motor pada keadaan beban nominal.

$$P_m = P_{\text{rugi-rugi}} \times 0,15 \dots\dots\dots (2.25)$$

Dimana:

- $P_m$  = Rugi-rugi Mekanik  
 $P_{\text{rugi-rugi}}$  = Rugi-rugi Total

### 2.9.3 Rugi-rugi Belitan

Rugi-rugi belitan sering disebut rugi-rugi tembaga tetapi pada saat sekarang sudah tidak begitu. Banyak motor listrik, terutama motor ukuran sangat kecil diatas 750 W, mempunyai belitan stator dari kawat alumunium yang lebih tepat disebut rugi-rugi  $I^2R$  yang menunjukkan besarnya daya yang berubah menjadi panas oleh tahanan dari konduktor tembaga atau aluminium. Total kerugian  $I^2R$  adalah jumlah dari rugi-rugi  $I^2R$  primer (stator) dan rugi-rugi  $I^2R$  sekunder (rotor), termasuk rugi-rugi kontak sikat pada motor AC belitan dan motor DC.

Rugi-rugi  $I^2R$  dalam belitan sebenarnya tidak hanya tergantung pada arus, tetapi juga pada tahanan belitan di bawah kondisi operasi. Sedang tahanan efektif dari belitan selalu berubah dengan perubahan temperatur, skin effect dan sebagainya. Sangat sulit untuk menentukan nilai yang sebenarnya dari tahanan belitan dibawah kondisi operasi. Kesalahan pengukuran kerugian belitan dapat dimasukkan ke dalam kerugian stray load. Pada umumnya rugi – rugi belitan ini berkisar antara 55 - 60% dari total kerugian motor pada keadaan beban nominal.

$$P_{\text{rugi-rugi belitan}} = I^2R \dots\dots\dots (2.26)$$

Dimana:

I = Arus yang Mengalir Pada Belitan

R = Resistansi Belitan

$$P_b = P_{\text{rugi-rugi}} \times 0,55 \dots\dots\dots (2.27)$$

Dimana:

$P_b$  = Rugi-rugi Belitan

$P_{\text{rugi-rugi}}$  = Rugi-rugi Total

### 2.9.4 Rugi-Rugi *Stary Load*

Kita telah melihat bahwa beberapa macam kerugian selalu dianggap konstan dari keadaan beban nol hingga beban penuh walaupun kita tahu bahwa rugi-rugi tersebut sebenarnya berubah, secara kecil terhadap beban.

Sebagai tambahan, kita tidak dapat menghitung berapa besar kerugian ini seperti yang diakibatkan oleh perubahan fluks terhadap beban, skin effect, geometri konduktor sehingga arus terbagi sedikit tidak merata dalam konduktor bertambah, mengakibatkan penambahan tahanan konduktor dan karena itu rugi-rugi konduktor harus bertambah. Dari semua kerugian yang relatif kecil ini, baik dari sumber yang di ketahui maupun yang tidak diketahui, disatukan menjadi rugi-rugi stray load yang cenderung bertambah besar apabila beban meningkat (berbanding kuadrat dengan arus beban).

**Tabel 2.2 Persentasi Rugi-rugi Load**

<i>Machine Rating KW</i>	<i>Stray Load Loss Percent of Rated Load</i>
1 – 90	1,8%
91 – 375	1,5 %
376 – 1850	1,2%
1851 and greater	0,9%

Pada umumnya kerugian ini berkisar 1 – 5 % dari total kerugian daya motor pada keadaan beban nominal.

$$P_s = P_{\text{rugi-rugi}} \times 0,55 \dots\dots\dots (2.27)$$

Dimana:

$$P_s = \text{Rugi-rugi Star Load}$$

$$P_{\text{rugi-rugi}} = \text{Rugi-rugi Total}$$

## 1.10 Kompresor

Kompresor adalah suatu peralatan mekanik yang digunakan untuk menaikkan tekanan kepada fluida compressible (gas atau udara). Kenaikkan tekanan udara/gas yang dihasilkan kompresor disebabkan adanya proses pemampatan yang dapat berlangsung secara intermitten (berselang) dan kontinyu. Gas atau udara yang masuk ke dalam kompresor akan memperoleh tambahan energi tekanan dan kecepatan dari kompresor yang digerakkan oleh penggerak mula (primover).

Pemanfaatan udara atau gas dari kompresor sangat bermacam-macam sesuai kebutuhan dan penggunaannya, sehingga jenis dan ukurannya juga bervariasi.

Kompresor secara umum digunakan untuk keperluan proses, transportasi dan distribusi.

### 1.11 Klasifikasi Kompresor

Kompresor diklasifikasikan untuk memudahkan dalam memilih jenis dan ukuran peralatan tersebut sesuai kebutuhan operasi di lapangan. Berdasarkan cara kerjanya, kompresor dapat dikelompokkan dalam dua jenis, yaitu:

1. Kompresor Pemindah Positip (*Positive Displacement Compressor*).
2. Kompresor Dinamik (*Dinamic Compressor*).

#### 2.11.1 Kompresor Pemindah Positip (*Positive Displacement Compressor*)

Kompresor pemindah positip adalah kompresor dengan prinsip kerja menaikkan tekanan udara atau gas dengan merubah volume udara atau gas dari besar ke kecil di dalam ruang tertutup.

Kompresor ini menggunakan prinsip Jika suatu gas di dalam ruangan diperkecil volumenya atau dipersempit ruangnya, maka gas tersebut akan mengalami penambahan tekanan.

Menurut gerakan komponen pemindah energinya, kompresor pemindah positip terdiri dari 2 (dua) kelompok, yaitu:

1. Kompresor *Reciprocating*

Yaitu kompresor dimana komponen pemampatannya terdiri dari piston atau torak yang bergerak translasi (bolak-balik) di dalam silinder. Gerakan ini diperoleh dengan menggunakan poros engkol yang bergerak berputar dan batang penggerak yang merubah gerakan putar poros engkol gerak bolak-balik pada torak. Gerakan torak inilah yang menghisap udara masuk kedalam silinder dan memampatkannya, sehingga terjadi penambahan energi pada udara berupa tekanan. Contoh: Kompresor Torak.

2. Kompresor Putar (*Rotary Compressor*)

Kompresor Rotary yaitu kompresor dimana untuk memperoleh tekanan udara menggunakan elemen yang berputar (rotor) terhadap stator, kompresor jenis rotary yang umum digunakan, yaitu kompresor

sudu luncur dan kompresor screw (kompresor sekrup).

- A. Kompresor sudut luncur mempunyai sebuah rotor bersudu dan berputar didalam stator berbentuk silinder. Rotor dipasang secara eksentrik terhadap silinder, sudu-sudu dipasang pada alur di sekeliling rotor dan ditekan ke dinding silinder oleh pegas dalam alur. Jika rotor berputar maka sudu akan ikut berputar sambil meluncur di permukaan dalam dinding silinder untuk menekan udara.
- B. Kompresor sekrup mempunyai sepasang rotor berbentuk sekrup. Dimana salah satu poros dari rotor kompresor dihubungkan langsung dengan motor penggerak yang disebut driver, dan yang satunya lagi adalah driven. Pasangan ini berputar serempak dalam arah yang berlawanan dan saling mengait seperti roda gigi dan memberikan tekanan pada gas/udara.

### **2.11.2 Kompresor Dinamik**

Kompresor dinamik yaitu kompresor dengan prinsip kerja merubah kecepatan udara atau gas yang digerakkan oleh impeller ke dalam tekanan. Kompresor ini terdiri dari:

1. Kompresor sentrifugal

Kompresor udara sentrifugal merupakan kompresor dinamis, yang tergantung pada transfer energi dari impeller berputar ke udara. Rotor melakukan pekerjaan ini dengan mengubah momen dan tekanan udara. Ketika sebuah objek benda diputar dalam gerak melingkar, benda tersebut akan cenderung terlempar keluar dari pusat lingkaran.

Satu cara untuk menambah energi kepada fluida adalah dengan memutar fluida tersebut dalam arah melingkar. Gaya yang mengakibatkan sebuah objek terlempar keluar dalam gerak melingkar disebut gaya sentrifugal. Momen ini dirubah menjadi tekanan tertentu dengan penurunan udara secara perlahan dalam difuser statis.

Kompresor udara sentrifugal adalah kompresor yang dirancang

bebas minyak pelumas. Gir yang dilumasi minyak pelumas terletak terpisah dari udara dengan pemisah yang menggunakan sil pada poros dan ventilasi atmosferis. Sentrifugal merupakan kompresor yang bekerja kontinyu dengan sedikit bagian yang bergerak, lebih sesuai digunakan pada volume yang besar dimana dibutuhkan bebas minyak pada udaranya.

## 2. Kompresor aksial

Kompresor ini memiliki prinsip kerja seperti jenis rotari yaitu system udara alir dan cocok sebagai penghantar udara yang besar. Kompresor aliran ada yang dibuat arah masukannya udara secara aksial dan ada yang radial. Keadaan udara dirubah dalam satu roda turbin atau untuk lebih mengalirkan kecepatan udara.

Energi kinetik yang ditimbulkan diubah ke energi yang berbentuk tekanan. Pada kompresor aliran aksial, udara mendapatkan percepatan oleh sudut yang terdapat pada rotor alirannya ke arah aksial. Percepatan yang ditimbulkan oleh kompresor aliran radial berasal dari ruangan ke ruangan berikutnya secara radial.

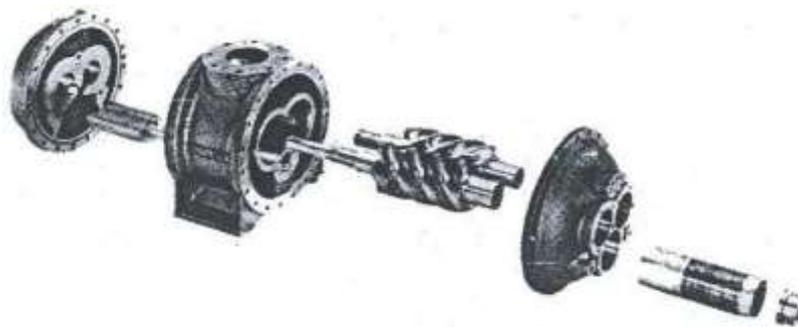
Pada lubang masukan pertama udara dilemparkan keluar menjauhi sumbu dan oleh dinding ruangan dipantulkan dan kembali mendekati sumbu. Dari tingkat pertama masuk lagi ketinggian berikutnya, sampai beberapa tingkat yang dibutuhkan. Disini nosel masuk berfungsi mengarahkan dan mempercepat aliran gas atau udara ke dalam sudu pengarah. Dari sudu pengarah, gas akan masuk ke sudu putar yang akan menambahkan energi ke dalam gas. Sudu tetap berfungsi sebagai difuser dan pembelok arah aliran ke deretan sudu gerak pada tingkat berikutnya. Kompresor ini umumnya dipakai untuk kapasitas yang besar tetapi dengan tekanan yang tidak terlalu tinggi.

### 1.12 Kompresor Screw (*Secrew Compressor*)

Kompresor screw termasuk jenis kompresor pemindah positif yang tergolong dalam kompresor putar (*Rotary Compressor*).

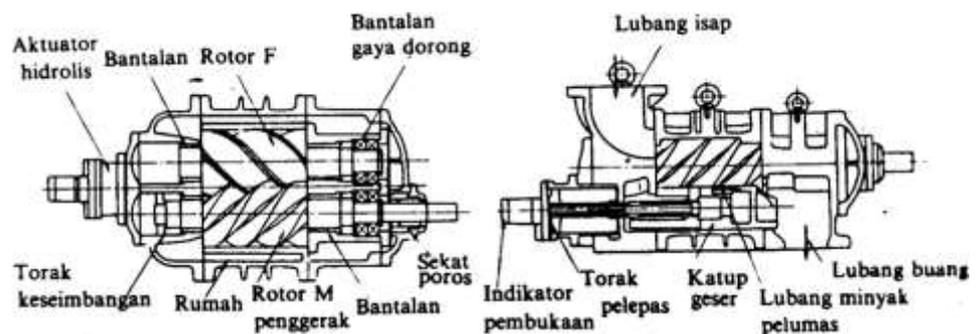
Kompresor ini memampatkan (menambahkan energi) udara atau gasnya dengan putaran serempak kaitan gigi-gigi rotor atau roda gigi yang berputar dengan arah yang berlawanan dan saling berkaitan. Rotor tersebut yang satu mempunyai alur cembung (*male rotor*) dan yang satunya mempunyai alur cekung (*female rotor*) yang saling mengait satu sama lain, kedua rotor tersebut ditumpu kedua ujungnya oleh bantalan yang salah satu ujungnya diberi bantalan aksial untuk menahan gaya aksial yang timbul dari perbedaan tekanan udara yang bekerja pada kedua ujung rotor.

Putaran serempak dan berlawanan inilah yang memindahkan dan memberikan tekanan kepada udara sepanjang alur rotor dari sisi masuk ke sisi keluar.



Gambar 2.15 Penampang *Compressor Screw*

### 2.12.1 Bagian-bagian *Compressor Screw*



Gambar 2.16 Komponen Utama *Compressor Screw*

### Komponen-Komponen Utama kompresor screw:

#### 1. Frame

Berfungsi untuk mendukung bagian kompresor diatas pondasi. Frame harus kuat menahan seluruh beban dan getaran yang ditimbulkan oleh kompresor.

#### 2. Casing

Casing adalah bagian paling luar dari kompresor yang berfungsi sebagai pelindung bagian-bagian di dalamnya, juga sebagai tempat kedudukan rotor.

#### 3. Rotor



**Gambar 2.17 Male dan Female Rotor**

Rotor merupakan elemen utama dari kompresor screw, terdiri dari dua buah rotor yaitu: Rotor Cembung (Rotor Male) sebagai driver dan Rotor Female sebagai driven, fungsi rotor sendiri adalah sebagai media untuk memampatkan udara.

#### 4. Bantalan Poros (*bearing*)

*Bearing* berfungsi untuk menahan gaya aksial karena perbedaan tekanan antara discharge dan *suction* kompresor selain itu bearing juga berfungsi sebagai peredam getaran karena putaran tinggi dan juga untuk mengurangi keausan poros akibat gesekan putaran. Kompresor ini menggunakan *tapered roller bearing* di ujung discharge untuk menahan gaya aksial rotor.

5. *Mechanical Seal*

*Mechanical seal* berfungsi mencegah kebocoran diantara sela-sela poros yang keluar dari casing (poros yang dihubungkan dengan penggerak).

6. Poros (*Shaft*)

Merupakan tempat atau kedudukan dari rotor (ulir) sehingga rotor dapat berputar.

7. Katup geser (*slide valve*)

Berfungsi mengatur kapasitas kompresor dari 0 % - 100 % atau sebaliknya. Katup ini digerakkan oleh *unloader valve*.

8. *Unloader valve*

Berfungsi menggerakkan katup pengatur kapasitas, Unloader piston bergerak otomatis setelah tekanan *discharge* mencapai  $\pm 5.9$  bar, tekanan akan turun sampai 4.4 Bar dan kemudian setelah  $\pm 7$  detik kompresor akan load kembali secara otomatis. Katup ini digerakkan secara hidrolis.

9. Piston Keseimbangan

Berfungsi menahan gaya aksial dari rotor (mengurangi beban dari *thrust bearing*).

10. Lubang Minyak Pelumas

Berfungsi sebagai tempat masuknya minyak pelumas ke dalam kompresor. Minyak pelumas digunakan untuk melumasi rotor, *bearing, balance piston dan Unloader valve*.

11. Katup hisap

Berfungsi untuk mengatur udara masuk ke dalam kompresor.

12. Sisi keluar

Berfungsi sebagai saluran keluar udara setelah proses kompresi.

### 2.12.2 Peralatan Pembantu Kompresor *Scw*

Peralatan Pembantu Kompresor Screw terdiri dari:

1. Batt Intake

Berfungsi untuk menangkap debu atau partikel-partikel kecil

yang lain yang terikut bersama udara bebas sebelum masuk ke inlet air filter kemudian ke kompresor.

2. *Inlet Air Filter*

Berfungsi untuk menyaring partikel-partikel yang terikut dalam udara sebelum masuk ke kompresor.

3. *Tangki Pemisah Minyak*

Berfungsi memisahkan minyak dengan udara hasil kompresi dan sebagai penampung minyak pelumas hasil pemisahan, kemudian minyak ini diinjeksikan kembali ke kompresor untuk melumasi rotor-rotor nya.

4. *Oil temperature bypass*

Berfungsi untuk mengatur jumlah aliran pelumas yang dibutuhkan oleh kompresor untuk menyediakan temperatur injeksi yang sesuai. Setelah dari tangki pemisah minyak kemudian minyak akan mengalir melewati bypass terlebih dahulu, ketika suhu minyak dingin bypass valve akan tertutup dan minyak langsung diteruskan ke oil filter, jika temperatur minyak naik di atas pengaturan *valve* maka bypass valve akan terbuka dan minyak dialirkan ke pendingin dahulu sebelum diteruskan ke oil filter.

5. *Aftercooler*

Untuk mendinginkan udara dan minyak yang telah mengalami kompresi dan terpisah didalam separator supaya temperaturnya turun. Sistem aftercooler terdiri dari heat exchanger, pemisah kondensat, dan automatic drain trap.

6. *Oil filter*

Berfungsi untuk memisahkan kotoran-kotoran dari minyak setelah melewati pendinginan ataupun setelah dari tangki pemisah minyak.

7. *Moisture Separator/drain trap*

Untuk memisahkan udara dengan air dari hasil pengembunan

karena perbedaan tekanan.

8. *Vessel*

Untuk menyimpan udara bertekanan dari kompresor sebelum diteruskan ke unit pemanfaatan baik instrumentasi ataupun bckwash, udara bertekanan dari kompresor akan turun suhunya ketika ditampung di vessel, karena memungkinkan ada uap air maka vessel dilengkapi dengan drain.

9. *Selang (Hoses)*

Berfungsi sebagai penyalur udara bertekanan dan minyak pelumas agar dapat bersirkulasi.

10. *Air Dryer*

Untuk mengeringkan udara bertekanan dari kompresor. Hal ini dimaksudkan untuk menghasilkan udara bertekanan yang benar-benar kering, bebas dari kandungan uap air yang dapat merusak peralatan. Sebagai media pengeringannya menggunakan refrigerant. Air dryer ini akan menguras air secara otomatis bila air sudah terkumpul dengan ketinggian tertentu, kemudian air tersebut secara otomatis akan dikeluarkan melalui automatic water drain yang terletak dibawah.

11. *Oil Catcher*

Berfungsi untuk menangkap oli atau partikel-partikel halus dari udara sebelum masuk ke air dryer.

12. *System Intellysis Control*

Berfungsi untuk mengatur kompresor dan juga peralatan pembantu agar bekerja secara otomatis.

13. *Pengukur Suhu (thermometer)*

Berfungsi untuk mengukur suhu (*temperature*) udara yang masuk maupun yang keluar dari keluar kompresor. Selain itu, juga mengukur suhu minyak pelumas yang masuk ke kompresor.

#### 14. Pengukur tekanan (*Pressure gauge*)

Berfungsi untuk mengukur tekanan udara yang masuk maupun yang telah mengalami proses kompresi di dalam kompresor. Alat ini juga berfungsi mengukur tekanan minyak pelumas yang masuk ke kompresor.

#### 15. Regulator

Berfungsi untuk menurunkan tekanan sebelum masuk ke alat instrumentasi agar tekanan tidak terlalu tinggi.

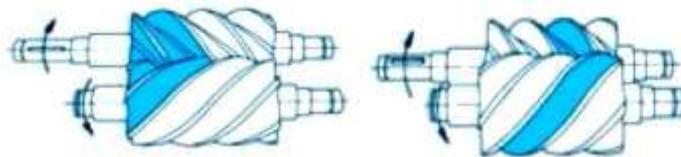
### 2.12.3 Cara Kerja *Compressor Screw*

Pada kompresor ini, udara atau gas dipindahkan oleh sepasang rotor yang berbentuk sekrup (*screw*). Pasangan rotor ini berputar serempak dan arah putarannya berlawanan di dalam rumah (*casing*) yang tingginya tetap. Salah satu rotor tersebut sebagai *driver* (dihubungkan langsung dengan motor penggerak) yang dikenal dengan male rotor dan yang satunya sebagai driven (digerakkan oleh *rotor male*) yang dikenal dengan nama female rotor yang kedua ujungnya ditumpu oleh bantalan.

Saat udara atau gas memasuki kompresor melalui sisi isap, udara atau gas isapan ini dengan segera akan ditutup/disekat oleh putaran sekrup.

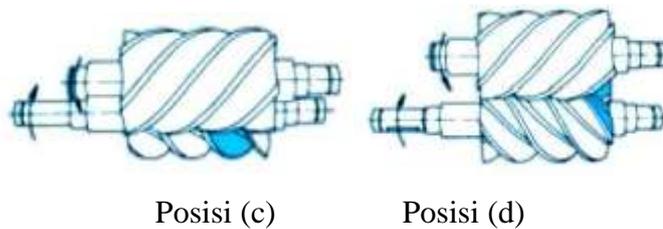
Setiap pemasukan udara atau gas ditangkap diantara celah rotor dan rumah (*casing*), kemudian udara atau gas dipindahkan sepanjang alur rotor dari sisi masuk ke sisi

keluar. Dalam *compressor screw* volume udara atau gas berkurang pada saat udara atau gas didorong atau dipindahkan ke arah sisi keluar. Pengurangan volume ini menyebabkan tekanan udara atau gas naik.



Posisi (a)

Posisi (b)



Pada gambar 3.2 dijelaskan langkah pemampatan pada kompresor screw. Pada posisi (a) udara diisap sepenuhnya melalui lubang isap masuk ke dalam ruang alur. Isapan akan selesai setelah ruang alur tertutup seluruhnya oleh dinding rumah (casing) langkah ini disebut langkah akhir hisapan.

Pada posisi (b) menunjukkan pertengahan proses kompresi dimana volume udara atau gas di dalam ruang alur sudah ada di tengah, langkah ini disebut langkah awal kompresi. Pada posisi (c) memperlihatkan akhir kompresi dimana udara atau gas yang terkurung sudah mencapai lubang keluar, langkah ini disebut langkah akhir kompresi.

Pada posisi (d) udara atau gas yang terkurung dalam alur tadi telah dikeluarkan sebagian hingga tinggal sebagian yang akan diselesaikan, langkah ini disebut langkah pengeluaran. Karena proses pengisapan, kompresi, dan pengeluaran dilakukan secara kontinyu, dengan begitu alirannya lebih stabil dibanding kompresor torak.

### 1.13 Pengertian Daya Listrik

Daya dalam tegangan AC pada setiap saat sama dengan perkalian dari harga arus dan tegangan pada saat itu. Jika arus dan tegangan bolak-balik satu fasa, maka daya dalam satu periode sama dengan perkalian dari arus dan tegangan efektif. Tetapi jika ada reaktansi dalam rangkaian arus dan tegangan tidak satu fasa sehingga selama siklusnya biasa terjadi arus negatif dan tegangan positif.

Secara teoritis daya terdiri dari tiga yaitu daya efektif, daya reaktif dan daya semu yang pengertiannya adalah sebagai berikut:

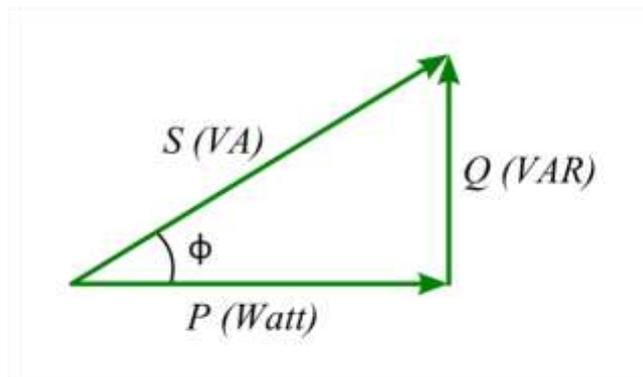
1. Daya aktif (P) adalah daya yang diubah menjadi energi, persatuan waktu atau dengan kata lain daya aktif adalah daya yang benar – benar terpakai yang dihasilkan oleh komponen resistif, satuannya adalah watt (W).
2. Daya reaktif (Q) adalah daya yang ditimbulkan oleh komponen reaktansi,

daya reaktif ditentukan dari reaktansi yang menimbulkannya, dapat berupa reaktansi induktif (XL) atau reaktansi kapasitif (XC), satuannya adalah volt ampere reaktif (VAR).

3. Daya semu (S) adalah jumlah secara vektoris daya aktif dan daya reaktif yang memiliki satuan volt ampere (VA).

Perkalian tegangan (V) dengan arus ( $I^*$ ) dalam kedua besaran ini dalam bentuk bilangan kompleks adalah  $V.I^*$  yang dinamakan daya kompleks dengan simbol S, dalam satuan Volt Ampere (VA). Arus ( $I^*$ ) adalah konjugate dari I.

Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar sistem segi tiga daya berikut ini:



**Gambar 2.18 Sistem Segitiga Daya**

Dimana:

$$S = V.I^* \dots\dots\dots(2.38)$$

$$P = S.\cos\phi = V.I^*.\cos\phi \dots\dots\dots (2.39)$$

$$Q = S.\sin\phi = V.I^*.\sin\phi \dots\dots\dots (2.40)$$

Daya memiliki hubungan dengan usaha yaitu daya merupakan usaha yang dilakukan dalam satuan waktu, atau dengan kata lain daya berbanding terbalik dengan waktu sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P = \frac{W}{t} \dots\dots\dots(2.41)$$

Dimana:

P = Daya (W)

W = Usaha (Joule)

t = Waktu (s)

### 1.14 Sifat-sifat Beban Listrik

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

Pada motor induksi terjadi perubahan energi listrik menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran rotor. Pada motor industri daya mekanik yang dihasilkan digunakan untuk berbagai keperluan sesuai dengan yang diinginkan.

Daya pada motor listrik dapat dihitung menggunakan perhitungan perfasa maupun perhitungan tiga fasa dan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_{10} = V_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots (2.42)$$

Atau

$$P_{30} = \sqrt{3} \cdot P_{10} \dots\dots\dots (2.43)$$

$$P_{30} = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots (2.44)$$

Dimana:

$P_{10}$  = Daya aktif satu fasa (W)

$P_{30}$  = Daya aktif tiga fasa (W)

$V_L$  = Tegangan fasa (V)

$I_L$  = Arus fasa (V)

$\cos \varphi$  = Faktor daya