

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 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 senama akan 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.<sup>4</sup>

#### **2.2 Komponen Utama Motor Listrik**

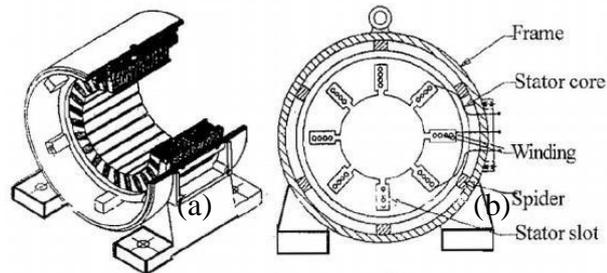
Motor listrik pada dasarnya mempunyai bagian utama sebagai berikut:

##### **2.2.1 Stator**

Pada motor listrik terdapat sebuah bidang yang disebut dengan stator. Stator pada motor listrik adalah bagian yang diam. Stator tersusun dari lilitan atau kumparan-kumparan di dalamnya.

---

<sup>4</sup> Bagia,I Nyoman. Parsa, I Made. 2018. *Motor Motor Listrik*. Kupang: CV RASITERBIT

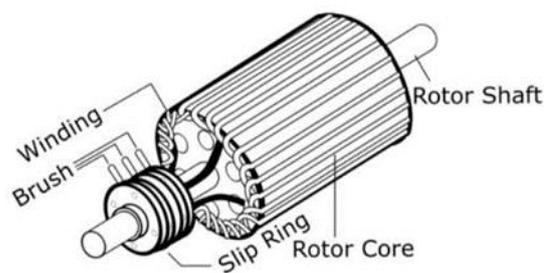


*Gambar 2.1* Konstruksi Stator

(Sumber: [https://www.brainkart.com/article/Types-and-Construction-of-Three-Phase-Induction-Motor\\_12225/](https://www.brainkart.com/article/Types-and-Construction-of-Three-Phase-Induction-Motor_12225/))

### 2.2.2 Rotor

Komponen pada motor listrik yang penting selanjutnya setelah stator adalah rotor. Rotor merupakan bagian dari motor listrik yang bergerak. Rotor berfungsi untuk menghasilkan energi mekanik sehingga motor listrik memiliki output berupa putaran.



*Gambar 2.2* Konstruksi Rotor

[https://www.brainkart.com/article/Types-and-Construction-of-Three-Phase-Induction-Motor\\_12225](https://www.brainkart.com/article/Types-and-Construction-of-Three-Phase-Induction-Motor_12225/)

## 2.3 Jenis-Jenis Motor Listrik

Terdapat berbagai jenis motor listrik yang dapat digolongkan menjadi dua kelompok, yaitu mesin arus searah dan mesin arus bolak-balik. Motor arus bolak-balik, terutama motor induksi terbanyak dipakai dalam industri, sedangkan motor arus searah dipergunakan untuk tujuan-tujuan khusus.

### 2.3.1 Motor Listrik Arus Searah (Motor DC)

Motor Listrik DC adalah suatu perangkat yang mengubah energi listrik menjadi energi kinetik atau gerakan. Motor DC ini juga dapat disebut sebagai Motor Arus Searah. Seperti namanya, DC Motor memiliki dua terminal dan memerlukan tegangan arus searah atau DC (*Direct Current*) untuk dapat menggerakannya. Motor Listrik DC ini biasanya digunakan pada perangkat-perangkat Elektronik dan listrik yang menggunakan sumber listrik DC seperti Vibrator Ponsel, Kipas DC dan Bor Listrik DC.

Jenis – jenis motor DC, yaitu :

#### 1. Motor DC Shunt

Motor DC shunt bekerja pada arus searah DC dan gulungan motor listrik ini seperti gulungan angker dinamo dan gulungan medan dihubungkan secara paralel yang dikenal sebagai shunt. Motor jenis ini juga disebut motor DC shunt wound, dimana jenis belitannya dikenal sebagai belitan shunt.

#### 2. Motor Separately Excited

Pada motor separately excited, koneksi stator dan rotor dapat dilakukan dengan menggunakan catu daya yang berbeda. Sehingga motor dapat dikontrol dari shunt dan belitan angker dinamo dapat diperkuat untuk menghasilkan fluks.

### 3. Motor DC Seri

Pada motor seri DC, belitan rotor terhubung secara seri. Prinsip operasi motor listrik ini terutama tergantung pada hukum elektromagnetik yang sederhana. Hukum ini menyatakan bahwa setiap kali medan magnet dapat dibentuk di sekitar konduktor & berinteraksi dengan medan eksternal untuk menghasilkan gerakan rotasi. Motor-motor ini terutama digunakan pada motor starter yang digunakan pada lift dan mobil.

### 4. Motor DC Magnet Permanen (PMDC)

Istilah PMDC adalah singkatan dari "Permanent Magnet Direct Current". Ini adalah salah satu jenis motor DC yang dapat dibangun dengan magnet permanen untuk membuat medan magnet yang diperlukan untuk operasi motor listrik.

### 5. Motor Compound DC

Secara umum, motor kompon DC adalah komponen hibrida DC seri dan motor shunt. Pada motor jenis ini, bidang seperti seri dan shunt hadir. Pada motor listrik jenis ini, stator dan rotor dapat dihubungkan satu sama lain melalui rangkaian belitan seri & shunt. Gulungan seri dapat dirancang dengan beberapa gulungan kabel tembaga lebar, yang memberikan jalur resistansi kecil. Belitan shunt dapat dirancang dengan beberapa belitan kawat tembaga untuk mendapatkan tegangan input daya penuh.

Kegunaan Motor DC Dalam kehidupan sehari-hari di gunakan pada:

- a. Motor Stator Mobil
- b. Tape Recorder
- c. Pada Mainan Anak-Anak

Dalam bidang industry dan pabrik, digunakan pada:

- a. Traksi.
- b. Elevator.

- c. Conveyer.
- d. Tram listrik
- e. Untuk menggerakkan mesin-mesin produksi di pabrik.

Komponen motor DC adalah :

1. Rotor.

Bagian motor DC yang pertama adalah rotor. Dimana komponen bernama rotor inilah yang menjadi alat gerak secara dinamik. Terutama ketika ada tegangan yang mengalir pada rangkaian. Adapun komponen-komponen yang menjadi penyusun rotor antara lain adalah Poros (shaft), Inti jangkar (armatur core), Sikat komutator (brush), Belitan armature.

2. Stator.

stator merupakan komponen motor DC yang tidak bergerak. Meskipun demikian, stator berperan penting untuk membuat rotor agar tetap berputar. Caranya yaitu dengan menghasilkan medan magnet disekitar rotor, agar rotor tersebut dapat bergerak ketika tegangan dialirkan pada rangkaian. Adapun bagian-bagian yang menyusun stator diantaranya adalah Pole atau kutub, Belitan medan, Frame atau yoke.

3. Brush.

Komponen yang satu ini letaknya berada di dalam comutator. Brush merupakan salah satu komponen elektronika yang disusun dari meterial graphite atau karbon. Fungsi utama dari brush adalah untuk menghantarkan arus listrik menuju rotor.

#### 4. Belitan armature.

Belitan armature merupakan komponen yang fungsinya untuk menghasilkan medan magnet yang bersifat statis. Jadi, energi statis yang mengalir pada rotor justru dihasilkan oleh belitan armature yang satu ini.

#### 5. Commutator.

Komponen yang satu ini sebenarnya berasal dari slip ring. Yang perlu diketahui bahwa slip ring akan dipotong menjadi beberapa bagian. Kemudian bagian dari potongan tersebut nantinya akan dibuat tersambung dengan belitan armature. Komutator adalah komponen yang berfungsi untuk mengalirkan energi arus listrik menuju belitan armature. Nah komponen tersebut pada umumnya terbuat dari bahan atau material tembaga. Ketika terjadi perubahan arus pada belitan armature, maka komutator menjadi bagian terpenting yang membantu melakukan perubahan arus pada rangkaian tersebut.

#### 6. Frame atau yoke.

Komponen motor DC bernama frame atau yoke ini nantinya akan difungsikan sebagai pelindung komponen lain. Yakni pelindung rotor yang terdapat pada motor DC. Jadi bisa disimpulkan bahwa frame ini memang komponen yang didesain untuk melindungi semua komponen rotor. Misalnya saja mulai dari armature, pole, belitan medan, kutub magnet dan lain sebagainya.

#### 7. Belitan medan.

Belitan medan ini menjadi salah satu komponen penyusun motor DC yang perannya juga penting. Belitan medan disebut juga sebagai istilah field winding. Komponen yang satu ini mempunyai fungsi utama dalam proses menghasilkan medan statis pada stator pada motor DC.

## 8. Pole

Pole juga terdapat pada komponen di dalam stator. Jadi, pole ini merupakan alat yang fungsinya untuk menghasilkan medan magnet. Selain itu, pole juga difungsikan untuk memastikan rotor untuk tetap berputar sebagai mana mestinya. Pole terletak di bagian dalam frame atau yoke. Jadi, pole ini berfungsi untuk menghasilkan fluks magnet. Kemudian fluks magnet akan menyebar diantara stator dan rotor. Hingga kemudian akan menghasilkan medan magnet yang membantu rotor untuk tetap berputar.

### **2.3.2 Motor Listrik Arus Bolak-Balik (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.

Motor AC dapat dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu:

#### 1. Motor sinkron

Pada motor sinkron terdapat 2 sumber tegangan dari luar yaitu arus bolak balik (AC) yang dialirkan ke belitan jangkar dan arus searah (DC) yang dialirkan ke belitan medannya. Perputaran rotor diakibatkan karena adanya kopel magnetik antara medan magnet rotor dan medan magnet stator. Motor sinkron ini adalah motor listrik arus bolak-balik (AC) yang putaran rotornya sinkron/serempak dengan kecepatan medan putar statornya. Motor ini beroperasi pada sumber tegangan tiga fasa yang dihubungkan dengan kumparan jangkar di stator. Selain mendapat suplai tegangan tiga fasa, motor sinkron juga mendapat arus eksitasi/ arus medan dari sumber arus searah (DC) pada kumparan medan di rotornya. Motor sinkron pada pengoperasiannya tidak dapat melakukan start awal

(self starting). Oleh karena itu, motor sinkron tiga fasa membutuhkan penggerak mula (prime mover) untuk memutar rotor sampai pada kecepatan putar sinkronnya.

Suatu motor sinkron mempunyai putaran yang berbanding lurus dengan frekuensi arus operasi yang keluar dari generator. Kumputan medannya harus digerakkan oleh sumber daya arus langsung dari luar. Dikarenakan putarannya dapat dijaga konstan pada kondisi beban yang berubah-ubah, maka motor sinkron cocok digunakan untuk menggerakkan blower, kompresor udara, pompa sentrifugal, generator arus searah dan peralatan lainnya.<sup>7</sup>

## 2. Motor asinkron

Motor asinkron adalah sebuah motor listrik yang bekerja dengan arus bolak-balik dikenal sebagai motor asinkron. Motor ini terutama bekerja pada arus induksi di dalam rotor dari medan magnet putar stator. Pada desain motor ini, pergerakan rotor tidak dapat disinkronkan melalui medan stator yang bergerak. Bidang stator yang berputar dari motor ini dapat menginduksi arus di dalam belitan rotor. Pada gilirannya arus ini akan menghasilkan gaya untuk mendorong rotor ke arah stator. Pada motor ini, karena rotor tidak sefasa dengan stator, maka torsi akan dihasilkan.

Ini adalah jenis motor yang paling umum. Secara khusus, motor asinkron dengan 3 fasa digunakan di industri karena alasan biayanya yang rendah, perawatannya mudah dan sederhana. Ciri utama motor ini adalah kecepatannya tidak bisa diubah. Kecepatan operasi motor ini terutama bergantung pada suplai frekuensi serta no. kutub. motor asinkron ini hampir sama dengan motor tipe sinkron kecuali exciter eksternalnya. Motor ini juga disebut motor induksi, bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, dimana rotor pada motor ini tidak mendapatkan daya listrik melalui konduksi seperti pada motor DC.

Motor ini tidak memiliki perangkat eksternal untuk menstimulasi rotor di dalam motor. Dengan demikian, kecepatan rotor terutama bergantung pada

---

<sup>7</sup> Syamsuarnis. 2016. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik*. Medan: Kementerian Pendidikan Dan Kebudayaan Direktorat Jendral Guru Dan Tenaga Pendidikan

induksi magnet yang tidak stabil.

Medan elektromagnetik yang bervariasi dapat menyebabkan rotor berputar pada kecepatan yang lebih rendah dari pada medan magnet stator. Ketika kecepatan rotor, dan juga kecepatan medan magnet di dalam stator, bervariasi, maka motor ini disebut motor asinkron. Variasi dalam kecepatan bisa disebut slip.

### 3. Motor Stepper

Motor stepper dapat digunakan untuk menawarkan revolusi sudut langkah, sebagai alternatif untuk revolusi stabil. Kita tahu bahwa untuk setiap rotor, seluruh sudut revolusi adalah 180 derajat. Namun, pada motor stepper, sudut putaran penuh dapat dipisahkan dalam berbagai langkah seperti 10 derajat X 18 langkah. Ini berarti, dalam siklus revolusi total rotor akan bergerak bertahap delapan belas kali, setiap kali 10 derajat. Motor stepper dapat diterapkan di komplotan, fabrikasi rangkaian, alat kontrol proses, generator gerakan biasa, dll.

### 4. Motor DC Brushless

Motor DC brushless pertama kali dikembangkan untuk mencapai kinerja superior dalam ruang yang lebih rendah daripada motor DC brushed. Motor ini lebih rendah jika dibandingkan dengan model AC. Sebuah pengontrol ditanamkan ke dalam motor listrik untuk memudahkan proses dalam ketiadaan komutator dan slip ring.

### 5. Motor Histerisis

Pengoperasian motor histerisis sangat unik. Rotor motor ini dapat diinduksi histerisis dan arus eddy untuk menghasilkan kerja yang diperlukan. Pengerjaan motor dapat bergantung pada konstruksi, supply 1 fasa atau sebaliknya supply 3 fasa. Motor ini memberikan proses yang sangat mulus dengan kecepatan stabil,

mirip dengan motor sinkron lainnya. Tingkat kebisingan motor ini cukup kecil, karena alasan ini mereka dapat diterapkan dalam berbagai aplikasi rumit di mana pun motor kedap suara digunakan seperti pemutar suara, perekam audio, dll.

#### 6. Motor Reluktansi

Pada dasarnya, motor reluktansi adalah motor sinkron 1-fasa & konstruksi motor ini sangat sama dengan motor induksi seperti jenis angker dinamo. Rotor di motor seperti jenis sangkar tupai & stator motor termasuk set gulungan seperti tambahan dan berliku utama. Gulungan bantu sangat berguna pada saat starting motor. Karena mereka menawarkan operasi level pada kecepatan yang stabil. Motor ini biasanya digunakan dalam aplikasi sinkronisasi yang meliputi generator sinyal, perekam, dll.

#### 7. Motor Universal

Ini adalah jenis motor khusus dan motor universal ini bekerja pada catu daya AC tunggal atau catu daya DC. Motor universal adalah wound seri di mana medan dan gulungan angker dinamo terhubung secara seri dan dengan demikian menghasilkan torsi awal yang tinggi. Motor-motor ini terutama dirancang untuk beroperasi pada kecepatan tinggi di atas 3500 rpm. Mereka menggunakan supply AC pada kecepatan rendah dan supply DC dengan tegangan yang sama.

### **2.4 Motor Induksi 3 Phasa**

Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak balik (AC) yang paling banyak dan luas penggunaannya. Persamaannya berasal dari kenyataan bahwa motor ini bekerja berdasarkan induksi medan magnet stator ke rotornya sehingga motor ini disebut motor induksi. Arus yang dihasilkan rotor (bagian yang bergerak) motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor

dengan medan putar yang dihasilkan oleh arus 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 fasa dan motor induksi 1 fasa. Motor induksi 3 fasa dioperasikan pada sistem tenaga 3 fasa dan banyak digunakan di dalam berbagai bidang industri dengan kapasitas yang besar.<sup>1</sup>

tiga fasa adalah suatu alat listrik yang mengubah energi listrik tiga fasa menjadi energi mekanis, dengan kecepatan yang tidak serempak. Motor induksi tiga fasa terdapat dua tipe, yaitu motor induksi rotor sangkar tupai dan motor induksi rotor belitan. Pada dunia industri, yang sering digunakan adalah motor induksi rotor sangkar tupai karena harganya yang murah, serta perawatannya yang mudah. Konstruksi motor induksi tiga fasa terdiri dari dua bagian utama, yaitu bagian yang diam disebut stator dan bagian yang berputar disebut rotor.

## 2.5 Prinsip Kerja Motor Induksi 3 Fasa

Motor induksi 3 fasa adalah sebuah motor listrik yang digerakkan dengan sumber tegangan listrik 3 fasa. Motor listrik ini disebut motor induksi karena perpindahan energi dari stator ke rotor berdasarkan induksi elektromagnetik atau dengan kata lain antara stator dan rotor tidak ada kontak langsung. Prinsip kerja motor induksi yaitu, jika kumparan stator dihubungkan ke sumber tegangan 3 fasa maka pada kumparan akan timbul medan magnet putar (rotating magnetizing field) yang sebanding dengan putaran sinkron:

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

dimana :

$n_s$  = kecepatan stator

$f$  = frekuensi jala-jala

$P$  = jumlah kutub

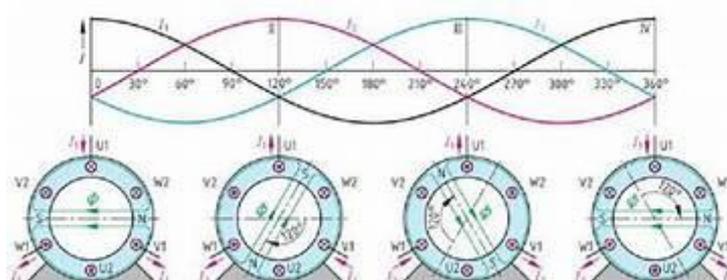
---

<sup>1</sup>Anthony, Zuriman. 2019. *Mesin Listrik Arus Bolak Balik Edisi Revisi*. Padang: Penerbit Andi

Akibatnya pada kumparan rotor akan timbul tegangan induksi (ggl) Medan magnet putar akan memotong motong batang konduktor pada rotor. 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. Bila kopel awal yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor sudah cukup besar untuk menggerakkan beban, maka rotor akan berputar searah dengan putar stator. Tegangan induksi terjadi karena terpotongnya konduktor rotor oleh medan putar, artinya agar terjadi tegangan induksi maka diperlukan adanya perbedaan kecepatan antara kecepatan medan putar stator ( $n_s$ ) dengan kecepatan medan putar rotor ( $n_r$ ). Perbedaan kecepatan antara  $n_s$  dengan  $n_r$  disebut Slip (S):

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

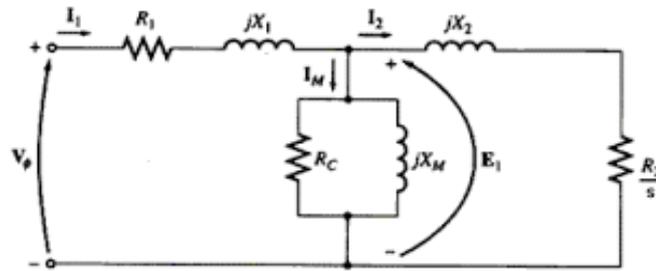
Prinsip kerja motor induksi juga dapat dijelaskan dengan gelombang sinusoida dengan perbedaan fasa sebesar  $60^\circ$  dan perbedaan sudut belitan masing-masing  $120^\circ$ , yang diperlihatkan pada gambar berikut:



Gambar 2.3 Bentuk Gelombang Sinusoida dan Timbulnya Medan Putar pada Stator Motor Induksi

## 2.6 Rangkaian Ekivalen Motor Induksi

Motor Induksi 3-fasa ini dapat dianalisa berdasarkan rangkaian ekivalen tanpa harus mengoperasikan motor. Dari rangkaian ekivalen (Gambar 2.8) dibawah ini  $I_1$  merupakan arus yang mengalir pada kumparan stator yang terbagi arus  $I_m$  dan  $I_2$ , dimana untuk mencari besarnya arus yang mengalir pada saat pembebanan.



Gambar 2.4. Rangkaian Ekivalen Motor induksi

$V_\phi$  = Tegangan sumber perfasa pada kumparan stator

$R_1$  = Resistansi kumparan stator

$jX_1$  = Reaktansi Induktif kumparan stator

$R_c$  = Tahanan Inti Besi

$R_2$  = Resistansi kumparan rotor dilihat dari sisi stator

$jX_2$  = Reaktansi Induktir rotor dilihat dari sisi stator

$jX_m$  = Reaktansi magnet pada Motor

$I_1$  = Arus kumparan stator

$I_2$  = Arus pada kumparan rotor dilihat dari sisi stator saat motor distart

1. Saat sudut 0° . Arus I1 bernilai positif dan arus I2 dan arus I3 bernilai negatif dalam hal ini belitan V2, U1 dan W2 bertanda silang (arus meninggalkan pembaca), dan belitan V1, U2 dan W1 bertanda titik (arus listrik menuju pembaca). terbentuk fluk magnet pada garis horizontal sudut 0°. kutub S (south=selatan) dan kutub N (north=utara).
2. Saat sudut 120° . Arus I2 bernilai positif sedangkan arus I1 dan arus I3 bernilai negatif, dalam hal ini belitan W2, V1 dan U2 bertanda silang (arus meninggalkan pembaca), dan kawat W1, V2 dan U1 bertanda titik (arus menuju pembaca). Garis fluk magnet kutub S dan N bergeser 120° dari posisi awal.
3. Saat sudut 240° . Arus I3 bernilai positif dan I1 dan I2 bernilai negatif, belitan U2, W1 dan V2 bertanda silang (arus meninggalkan pembaca), dan kawat U1, W2 dan V1 bertanda titik (arus menuju pembaca). Garis fluk magnet kutub S dan N bergeser 120° dari posisi kedua.
4. Saat sudut 360° . posisi ini sama dengan saat sudut 0° . dimana kutub S dan N kembali keposisi awal sekali.

**2.7 Daya Listrik**

Daya pada suatu sistem tegangan bolak-balik (AC) dikenal dengan tiga macam, yaitu daya aktif (nyata) dengan simbol P satuannya adalah Watt (W), daya reaktif dengan simbol Q satuannya adalah Volt Ampere Reactive (VAR) dan daya semu dengan simbol S satuannya adalah Volt Ampere (VA).

1. Daya Aktif (Nyata) (P)

Secara sederhana, daya nyata adalah daya yang dibutuhkan oleh beban resistif. Daya nyata merupakan daya listrik yang digunakan untuk keperluan menggerakkan mesin-mesin listrik atau peralatan lainnya.

Daya listrik pada pada arus listrik AC 1 fasa dirumuskan sebagai berikut:

$$P=V \times I \times \cos \phi \dots\dots\dots (2.3)$$

Untuk arus listrik AC 3 fasa perhitungan daya menjadi sedikit berbeda, menjadi:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi \dots\dots\dots (2.4)$$

## 2. Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif merupakan daya yangm timbul karena adanya pembentukan medan magnet pada beban-beban induktif.

Daya listrik pada pada arus listrik AC 1 fasa dirumuskan sebagai berikut:

$$Q = V \times I \times \sin \phi \dots\dots\dots (2.5)$$

Untuk arus listrik AC 3 fasa perhitungan daya menjadi sedikit berbeda, menjadi:

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \phi \dots\dots\dots (2.6)$$

## 3. Daya Semu

Daya semu merupakan resultan antara daya nyata dan daya reaktif. Daya listrik pada pada arus listrik AC 1 fasa dirumuskan sebagai berikut:

$$S = V \times I \dots\dots\dots (2.7)$$

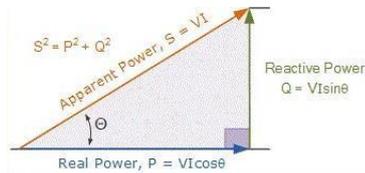
Atau

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots (2.8)$$

Untuk arus listrik AC 3 fasa perhitungan daya menjadi sedikit berbeda, menjadi:

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \dots\dots\dots (2.9)$$

Berdasarkan penjelasan diatas, bahwa daya semu merupakan merupakan resultan dari dua komponen, yaitu daya nyata (P) dan komponen daya reaktif (Q). Hubungan ini disebut dengan segitiga daya dan dalam bentuk vektor dapat digambarkan sebagai berikut:



**Gambar 2.5** Segitiga Daya dalam Rangkaian AC

(Sumber: <http://www.info-elektro.com/2017/06/teori-segitiga-daya-listrik-tenaga.html?m=1>)

Dimana:

- P adalah  $I^2R$  atau daya nyata/real yang melakukan pekerjaan yang diukur dalam watt (W)
- Q adalah  $I^2X$  atau daya reaktif yang diukur dalam volt-ampere reaktif (VAR)
- S adalah  $I^2Z$  atau daya apparent/semu yang diukur dalam volt ampere (VA)
- $\theta$  adalah sudut fasa dalam derajat. Semakin besar sudut fasa, semakin besar daya reaktif.
- $\cos \theta = P/S = W/VA$

Cosphi atau faktor daya adalah perbandingan cosinus sudut antara daya aktif dan daya semu. Daya reaktif yang tinggi akan mengakibatkan sudut cosphi semakin besar, dan akibatnya faktor daya akan menjadi rendah. Faktor daya selalu lebih kecil atau sama dengan 1. Secara perhitungan, jika nilai cosphi adalah 1, maka besar nilai daya aktif akan sama dengan nilai daya semu.

**Efisiensi Motor Induksi 3 Fasa**

## 2.8 Efisiensi

Efisiensi motor induksi adalah ukuran keefektifan motor induksi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang dinyatakan sebagai perbandingan antara daya keluaran dan daya masukan, yang dapat dirumuskan seperti berikut:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{in} - P_{loses}}{P_{in}} = 1 - \frac{P_{loses}}{P_{in}} \dots\dots\dots(2.10)$$

Bila dinyatakan dalam persen, maka:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana:

$P_{out}$  = daya output motor induksi

$P_{in}$  = daya input motor induksi

$$P_{rugi-rugi} = P_{in} - P_{out} \dots\dots\dots(2.12)$$

$$P_{in} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana:

$V$  = tegangan

$I$  = arus

$\cos \varphi$  = faktor daya

$P_{in}$  = daya input motor induksi

$P_{out}$  = daya output motor induksi

$P_{rugi-rugi}$  = rugi-rugi daya pada motor induksi

$n$  = kecepatan motor induksi

Dari persamaan terlihat bahwa efisiensi motor bergantung pada besar rugi-ruginya. Rugi-rugi pada persamaan tersebut adalah penjumlahan keseluruhan komponen rugi-rugi, yaitu rugi tembaga stator, rugi tembaga rotor, rugi inti stator, dan rugi gesek dan angin.

## 2.9 Torsi

Secara umum torsi (torque) merupakan gaya yang digunakan untuk menggerakkan sesuatu dengan jarak dan arah tertentu.

Rumus menghitung torsi :

$$T = \frac{P_{out}}{\omega} \dots\dots\dots(2.14)$$

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana:

- T = torsi  
 $\omega$  = kecepatan sudut putar  
 n = kecepatan motor induksi

Sebelum itu untuk menghitung nilai torsi jika daya output belum diketahui menggunakan rumus :

$$T = (5252 \cdot P) : n \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana :

- T = torsi  
 P = daya dalam satuan ( HP )  
 n = kecepatan motor induksi  
 konstanta = 5252

Dalam hal ini satuan daya kuda atau house power ( HP ) yang biasa digunakan untuk menyatakan besaran daya pada sebuah elektro motor listrik adalah merupakan daya yang dibutuhkan elektro motor tersebut . dan nilai satu daya atau horse power 1 HP pada elektro motor sama dengan 746 watt . sehingga :

$$P_{hp} = P_{in} : 746 \text{ watt} \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana :

- $P_{hp}$  = daya dalam satuan (HP)  
 $P_{in}$  = daya input motor induksi

## 2.10 *Variable Speed Drive (VSD)*

Variable speed drive merupakan sebuah alat pengatur kecepatan motor dengan mengubah nilai frekuensi dan tegangan yang masuk ke motor. pengaturan nilai frekuensi dan tegangan ini dimaksudkan untuk mendapatkan kecepatan putaran dan torsi motor yang di inginkan atau sesuai dengan kebutuhan. Secara sederhana prinsip dasar inverter untuk dapat mengubah frekuensi menjadi lebih kecil atau lebih besar yaitu dengan mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC kemudian dijadikan tegangan AC lagi dengan frekuensi yang berbeda atau dapat diatur. Untuk mengubah tegangan AC menjadi DC dibutuhkan penyearah (converter AC-DC) dan biasanya menggunakan penyearah tidak terkendali (rectifier dioda) namun juga ada yang menggunakan penyearah terkendali (thyristor rectifier). Setelah tegangan sudah diubah menjadi DC maka diperlukan perbaikan kualitas tegangan DC dengan menggunakan tandon kapasitor sebagai perata tegangan. Kemudian tegangan DC diubah menjadi tegangan AC kembali oleh inverter dengan teknik PWM (Pulse Width Modulation). Dengan teknik PWM ini bisa didapatkan amplitudo dan frekuensi keluaran yang diinginkan.<sup>6</sup>

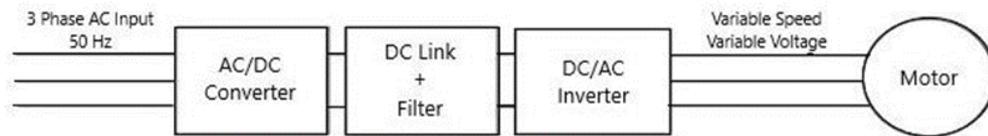
Dengan teknik PWM ini bisa didapatkan amplitudo dan frekuensi keluaran yang diinginkan. Selain itu teknik PWM juga menghasilkan harmonisa yang jauh lebih kecil dari pada teknik yang lain serta menghasilkan gelombang sinusoidal, dimana kita tahu bahwa harmonisa ini akan menimbulkan rugi-rugi pada motor yaitu cepat panas. Maka dari itu teknik PWM inilah yang biasanya dipakai dalam mengubah tegangan DC menjadi AC (*Inverter*). Pada umumnya VSD (*Variable Speed Drive*) digunakan untuk melakukan berikut ini:

1. Menyesuaikan kecepatan pengendali dengan keperluan kecepatan proses.
2. Menyesuaikan torque (kopel/torsi) pengendali dengan keperluan kopel proses.
3. Menghemat energi dan meningkatkan efisiensi.

---

<sup>6</sup> Suyanto, M., & Fikri, A. M. (2019, December). KENDALI PUTARAN MOTOR ASINKRON 3 PHASA DENGAN VSD TIPE ATV312HU15N4. In *Prosiding Seminar Nasional Teknoka* (Vol. 4, pp. E89-E96).

## 2.11 Prinsip Kerja *Variable Speed Drive* (VSD)



Gambar 2.6 Prinsip Kerja VSD

(Sumber: <http://pabriksetrum.blogspot.com/2014/10/variable-frequency-drive-vfd.html?m=1>)

Prinsip kerja dari VSD yang sederhana adalah sebagai berikut:

1. Tegangan yang masuk dari jala jala 50 Hz dialirkan ke board Rectifier/penyearah DC, dan ditampung ke bank capacitor. Jadi dari AC di jadikan DC.
2. Tegangan DC kemudian diumpankan ke board inverter untuk dijadikan AC kembali dengan frekuensi sesuai kebutuhan. Jadi dari DC ke AC yang komponen utamanya adalah Semikonduktor aktif seperti IGBT. Dengan menggunakan frekuensi carrier (bisa sampai 20 kHz), tegangan DC dicacah dan dimodulasi sehingga keluar tegangan dan frekuensi yang diinginkan.

## 2.12 Fungsi kerja *Variable Speed Drive* (VSD)

Fungsi VSD yang merupakan singkatan dari "Variable Speed Drive" ini adalah sebuah alat yang memiliki fungsi utama yaitu untuk mengontrol kecepatan, torsi, akselerasi, deselerasi, dan juga arah putaran motor. VSD sering disebut dengan Variable Frequency Drive dan juga Inverter. Variable Speed Drive ini biasanya diaplikasikan untuk motor AC maupun DC, namun inverter umumnya digunakan untuk pengaplikasian motor AC. Cara kerja alat VSD ini dalam mengontrol kecepatan motor adalah dengan mengubah nilai frekuensi tegangan yang masuk pada motor sehingga mendapatkan kecepatan putaran dan torsi motor yang sesuai dengan kebutuhan yang kita inginkan.

### **2.13 Fungsi Utama *Variable Speed Drive* (VSD)**

Ada berbagai macam cara untuk mengatur dan mengurangi kecepatan motor. Jika pada masa- masa sebelumnya sistem yang digunakan untuk mengatur kecepatan motor adalah dengan menggunakan sistem mekanik, seperti penggunaan gear box ataupun reducer, kemudian beralih ke motor slip/pengereman maka pada jaman sekarang banyak yang menggunakan komponen semikonduktor. Mengontrol kecepatan motor dengan menggunakan VSD memiliki banyak keuntungan dibandingkan dengan cara-cara yang lain. Berikut adalah berbagai macam kelebihan dari penggunaan VSD atau inverter ini:

1. Dapat mengurangi arus starting motor dan pemakaian energi listrik menjadi semakin hemat
2. Memperhalus start awal motor
3. Mempunyai percepatan (acceleration) dan perlambatan (deceleration) yang dapat dikontrol
4. Arah dari putaran motor yang dapat diatur
5. Pengaturan kecepatan dan tenaga putaran (torque) motor yang bervariasi
6. Dilengkapi dengan sistem proteksi motor yang baik
7. Proses monitoring ataupun pengecekan menjadi lebih mudah
8. Proses kontrol yang efisien
9. Memperhalus pengoperasian dimana suara berisik yang dihasilkan oleh panel konvensional dapat dimimalisir
10. Dapat dipadukan dengan PLC

## 2.14 Pengaturan Frekuensi pada Variable Speed Drive (VSD)

Frekuensi dikontrol dengan berbagai macam cara yaitu melalui keypad (local), dengan eksternal potensiometer, input 0-10 VDC, 4-20 mA atau dengan preset memori. Semua itu dapat dilakukan dengan mengisi parameter program yang sesuai.

Beberapa parameter yang umum digunakan adalah sebagai berikut (istilah/nama parameter bisa berbeda untuk tiap merk):

- a. *Display* : untuk mengatur parameter yang ditampilkan Pada keypad display.
- b. *Control* : untuk menentukan jenis control local/remote.
- c. *Speed Control* : untuk menentukan jenis control frekuensi reference.
- d. *Voltage* : tegangan supply inverter.
- e. *Base Freq.* : frekuensi tegangan supply.
- f. *Lower Freq.* : frekuensi operasi terendah.
- g. *Upper Freq.* : frekuensi operasi tertinggi.
- h. *Stop Mode* : stop bisa dengan braking, penurunan Frekuensi dan di lepas seperti starter DOL/Y-D.
- i. *Acceleration* : setting waktu percepatan.
- j. *Deceleration* : setting waktu perlambatan.
- k. *Overload* : setting pembatasan arus.
- l. *Lock* : penguncian setting program.

Jika beban motor memiliki inersia yang tinggi maka perlu diperhatikan beberapa hal dalam *acceleration* dan *deceleration*. Untuk *acceleration*/percepatan akan memerlukan torsi yang lebih, terutama pada saat start dari kondisi diam.

Pada saat *deceleration*/perlambatan, energi inersia beban harus dibuang. Untuk perlambatan dalam waktu singkat atau pengereman, maka energi akan dikembalikan ke sumbernya. Motor dengan beban yang berat pada saat dilakukan pengereman akan berubah sifat menjadi “generator”. Jadi energi yang kembali ini akan masuk ke dalam DC bus inverter dan terakumulasi di sana karena terhalang oleh rectifier sebagai pengamanan, inverter akan trip jika level tegangan DC bus

melebihi batas toleransi. Untuk mengatasi tripnya inverter dalam kondisi ini, diperlukan resistor brake. Resistor brake akan membuang tegangan yang lebih dalam bentuk panas. Besar kecilnya resistor brake ini sangat tergantung dengan beban dan siklus kerja inverter.