



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Variabel Speed Drive (VSD)

##### 2.1.1 Variabel speed drive secara umum

Pada umumnya *variabel speed drive* atau bisa disebut dengan inverter adalah peralatan yang digunakan untuk mengatur kecepatan putaran motor. Penggunaan VSD bisa untuk mengaplikasikan motor AC maupun DC. Akan tetapi istilah inverter sering digunakan untuk aplikasi motor AC. Inverter menggunakan frekuensi tegangan masuk untuk mengatur kecepatan putaran motor. Jadi dengan memainkan perubahan frekuensi tegangan yang masuk pada motor, maka kecepatan putaran motor akan berubah. Karena itu inverter disebut juga *variable speed drive*.

Kecepatan putaran medan stator dapat di ditentukan dengan menggunakan rumus:

$$n_s = 120 \cdot f / p$$

Dimana :

$n_s$  = Kecepatan putaran medan stator

120 = Konstanta

f = Frekuensi ( Hz )

P = Jumlah Kutup Motor ( Pole )

Untuk mengubah tegangan AC menjadi DC dibutuhkan penyearah (converter AC-DC) dan biasanya menggunakan penyearah tidak terkontrol (rectifier dioda) namun juga ada yang menggunakan penyearah terkontrol (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. 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.

### 2.1.2 Prinsip kerja variable speed drive <sup>[1]</sup>



Gambar 2.1 Prinsip Kerja VSD

Prinsip kerja dari *variabel speed drive* yang sederhana adalah sebagai berikut:

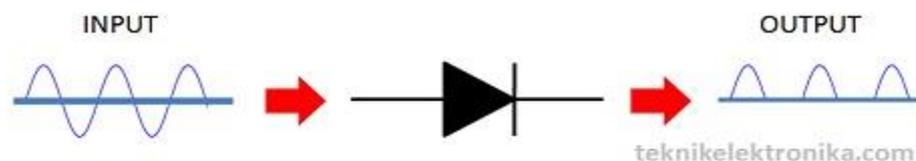
1. Tegangan yang masuk dari jala- jala 220/380 volt dan frekuensi 50 Hz merupakan tegangan arus bolak-balik (AC) dengan nilai tegangan dan frekuensi yang konstan. Kemudian tegangan dan frekuensi yang masuk dialirkan ke board Rectifier/ penyearah DC, dan ditampung ke kapasitor bank.

<sup>1</sup> Deni Nurul Huda. 2012. Pengujian Untuk Kerja Variable Speed Drive VF-S9 Dengan Beban Motor Induksi 3 fasa 1 Hp. Politeknik Negeri Bandung. Hlm.2

2. Untuk meratakan tegangan DC, maka tegangan dimasukkan ke DC link. Komponen yang terdapat pada DC link berupa kapasitor atau induktor.
3. 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.

### 2.1.3 Rectifier

Rectifier (Penyearah Gelombang) adalah suatu bagian dari rangkaian catu daya atau power supply yang berfungsi sebagai pengubah sinyal AC (*Alternating Current*) menjadi sinyal DC (*Direct Current*). Rangkaian rectifier atau penyearah gelombang ini pada umumnya menggunakan dioda sebagai komponen utamanya. Hal ini dikarenakan dioda memiliki karakteristik yang hanya melewatkan arus listrik ke satu arah dan menghambat arus listrik dari arah sebaliknya. Jika sebuah dioda dialiri arus bolak-balik (AC), maka dioda tersebut hanya akan melewatkan setengah gelombang, sedangkan setengah gelombangnya lagi diblokir. Untuk lebih jelas lihat gambar dibawah ini :



Gambar 2.2 Rectifier

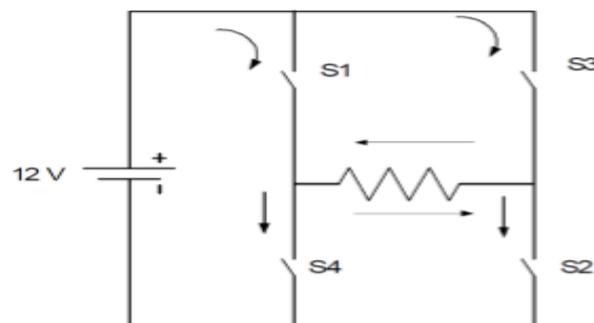
(Sumber : <http://teknikelektronika.com/pengertian-rectifier-penyearah-gelombang-jenis-rectifier/>)

### 2.1.4 Inverter<sup>[10]</sup>

Inverter merupakan rangkaian elektronika daya yang berfungsi sebagai pengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) dengan menggunakan metode switching dengan frekuensi yang dapat diatur. Tegangan bolak-balik yang dihasilkan berbentuk gelombang persegi dan pada pemakaian tertentu diperlukan filter untuk menghasilkan bentuk gelombang sinus.

Umumnya suatu inverter terdiri dari rangkaian jembatan thyristor dan rangkaian pengaturan penyalan. Rangkaian pengaturan penyalan digunakan untuk mengatur tegangan dan frekuensi yang dihasilkan inverter. Periode pulsa yang memacu thyristor akan menentukan frekuensi yang dihasilkan, sedangkan tegangan efektifnya ditentukan oleh lebar pulsa tersebut.

Prinsip kerja dari sebuah inverter adalah dengan menggabungkan sebuah rangkaian multivibrator yang dihubungkan dengan sebuah transformator penaik tegangan (*Step Up*). Inverter dapat digunakan untuk mensuplai beban dengan tegangan AC dengan daya yang disesuaikan dengan daya tegangan DC yang tersedia. Contoh penggunaan inverter dapat digunakan untuk rangkaian UPS (*Uninterrupted Power Supply*) untuk suplai tegangan listrik bila terjadi pemutusan listrik dari PLN dengan tiba-tiba.



Gambar 2.3 Prinsip Kerja Inverter

<sup>10</sup> Zuhail. 1991. Dasar Tenaga Listrik. ITB, Bandung. Hlm.177

Rangkaian diatas adalah prinsip kerja dari inverter. Bila posisi sakelar yang On :

1. S1 dan S2 + VDC
2. S3 dan S4 - VDC
3. S1 dan S3 0
4. S2 dan S4 0

Jika posisi saklar ada pada posisi 1, maka R akan dialiri listrik dari arah kiri ke kanan. Jika saklar pada posisi ke dua, maka R akan mendapatkan aliran listrik dari arah kanan ke kiri, inilah prinsip arus bolak balik (AC) pada satu perioda yang merupakan gelombang sinus setengah gelombang pertama pada posisi positif dan setengah gelombang kedua pada posisi negatif. Prinsip kerja dari inverter dapat dijelaskan dengan menggunakan 4 saklar seperti ditunjukkan pada gambar 2.3 . Bila sakelar S1 dan S2 dalam kondisi on maka akan mengalir aliran arus DC ke beban R dari arah kiri ke kanan, jika yang hidup saklar S3 dan S4 maka akan mengalir aliran arus DC ke beban R dari arah kanan ke kiri. Inverter dapat diklasifikasikan menjadi dua macam yaitu inverter 1 fasa dan inverter 3 fasa.

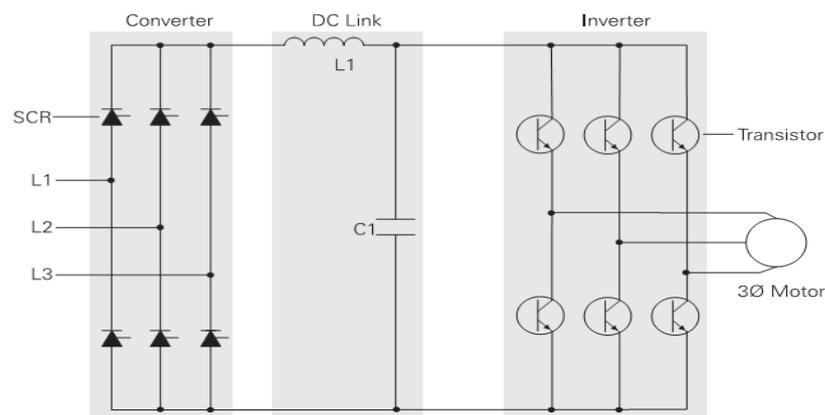
Kualitas inverter merupakan penentu dari kualitas daya yang dihasilkan oleh suatu sistem. Sistem inverter yang membangun sebuah sistem biasanya disesuaikan dengan beban kritis yang akan diaplikasikan. Pada dasarnya sistem inverter yang digunakan tidaklah menjadi masalah yang serius jika beban kritisnya masih berupa komputer saja tetapi ketidaksesuaian karakteristik inverter pada beban tertentu dapat menyebabkan sebuah sistem berhenti bekerja.

Tugas utama dari sebuah inverter adalah merubah tegangan DC dari rangkaian rectifier-charger menjadi tegangan AC yang berupa sinyal sinus setelah melalui pembentukan gelombang dan rangkaian filter. Tegangan output yang dihasilkan harus stabil baik amplitudo tegangan maupun frekuensi tegangan yang dihasilkan, distorsi yang rendah, tidak terdapat tegangan transien serta tidak dapat diinterupsi oleh suatu keadaan.

## 2.2 Jenis - Jenis Variable Speed Drive

### 2.2.1 Variable voltage inverter (VVI)

Jenis inverter ini menggunakan konverter jembatan SCR untuk mengubah tegangan input AC ke DC. SCR adalah komponen elektronika daya yang memiliki kemampuan untuk mengatur nilai tegangan DC mulai dari 0 hingga mendekati 600 VDC. Induktor L1 sebagai choke dengan kapasitor C1 membentuk bagian dengan istilah DC-link yang membantu memperhalus kualitas tegangan DC hasil konversi. Bagian inverter sendiri terdiri dari kumpulan divais penyaklaran seperti: thyristor, transistor bipolar, MOSFET, atau IGBT. Gambaran berikut menunjukkan inverter yang menggunakan transistor bipolar. Pengatur logika, biasanya dalam bentuk kartu elektronik, yang memiliki komponen utama sebuah mikroprosesor akan mengatur kapan waktu transistor-transistor inverter hidup atau mati untuk menghasilkan tegangan dan frekuensi yang bervariasi untuk dilanjutkan ke motor sesuai bebannya.



Gambar 2.4 Variable Voltage Inverter Circuit

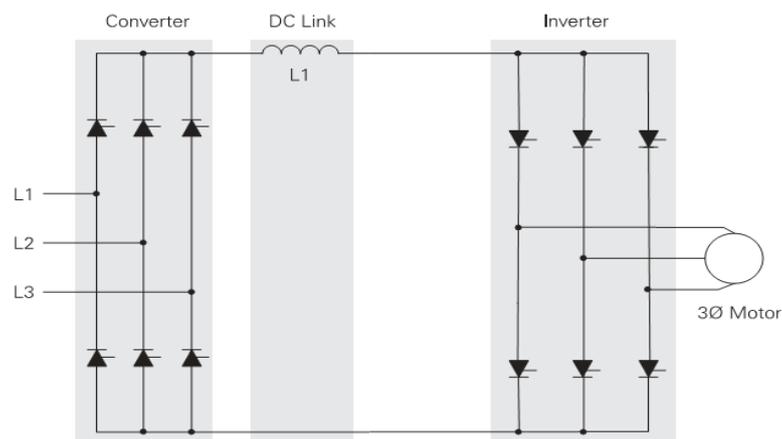
(Sumber :<http://taufiqsabirin.com/2010/08/04/variable-speed-drive-part-1/>)

Tipe inverter ini menggunakan enam langkah untuk menyelesaikan satu putaran  $360^\circ$  (6 langkah masing-masing  $60^\circ$ ). Oleh karena hanya enam langkah, inverter jenis ini memiliki kekurangan yaitu torsi yang pulsatif

(peningkatan/penurunan nilai yang mendadak) setiap penyaklaran terjadi. Dan ini dapat ditemui pada operasi kecepatan rendah seiring variasi putaran motor. Istilah teknis dari putaran yang bervariasi ini adalah cogging. Selain itu, bentuk gelombang sinyal keluaran yang tidak sinusoidal sempurna mengakibatkan pemanasan berlebih di motor yang mengakibatkan motor mesti dijalankan di bawah nilai rating-nya.

### 2.2.2 Current source inverter (CSI)

Jenis inverter satu ini menggunakan SCR untuk menghasilkan tegangan DC-link yang bervariasi untuk suplai ke bagian inverter yang juga terdiri dari SCR untuk menyaklarkan keluaran ke motor. Beda dengan VVI yang mengontrol tegangan, CSI justru mengontrol arus yang akan disuplai ke motor. Karena inilah pemilihan motor haruslah hati-hati agar cocok dengan drive. Berikut gambaran sederhana inverter sumber arus.



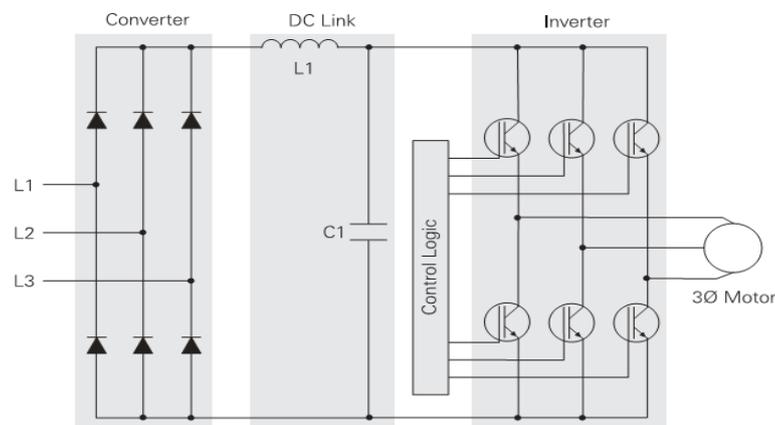
Gambar 2.5 Current Source Inverter Schematic

(Sumber :<http://taufiqsabin.com/2010/08/04/variable-speed-drive-part-1/>)

Percikan arus akibat proses penyaklaran dapat dilihat pada keluaran jika kita mengukurnya menggunakan oscilloscope. Pada kecepatan rendah sifat arus yang pulsatif dapat mengakibatkan motor tersendat ‘cog’.

### 2.2.3 Pulse width modulation

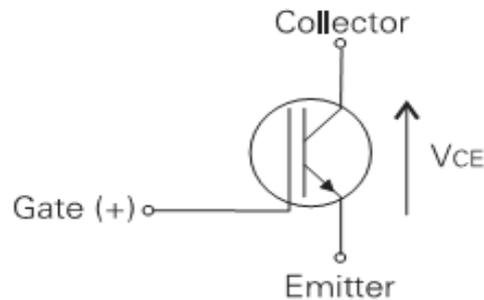
Teknik penyalakan satu ini memberikan output yang lebih sinusoidal dibandingkan dua jenis inverter sebelumnya. Drive yang menggunakan PWM terbukti lebih efisien dan memberikan tingkat performa yang lebih tinggi. Sama seperti VVI, sebuah PWM juga terdiri atas rangkaian konverter, DC link, control logic, dan sebuah inverter. Biasanya konverter yang digunakan adalah tipe tidak terkontrol (dioda biasa) namun juga ada yang menggunakan setengah terkontrol atau kontrol penuh. Perhatikan gambar sebuah PWM berikut ini.



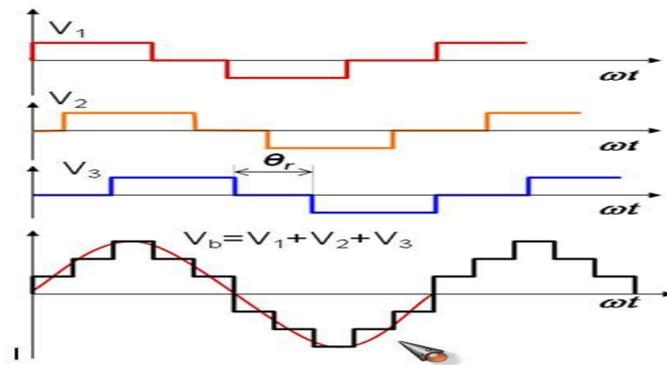
Gambar 2.6 PWM Drive Basic Schematic

(Sumber : <http://taufiqsabirin.com/2010/08/04/variable-speed-drive-part1/>)

Untuk bagian inverter, rangkaian PWM di atas menggunakan divais elektronika daya “Insulated Gate Bipolar Transistor” (IGBT ). IGBT memiliki kemampuan penyalakan yang sangat tinggi hingga ribuan kali perdetik dimana dapat aktif kurang dari 400 nano detik dan mati dalam waktu 500 nano detik. IGBT dibangun oleh sebuah gate, kolektor, dan emiter. Saat gate diberikan tegangan positif (biasanya +15VDC), arus akan mengalir melalui kolektor dan emiter. IGBT akan mati saat tegangan positif dihilangkan dari gate. Selama kondisi mati, tegangan gate IGBT akan ditahan pada nilai tegangan negatif yang kecil sekitar -15V VDC untuk mencegah agar tidak hidup dengan sendirinya.

Gambar 2.7 Insulated Gate Bipolar Transistor <sup>[3]</sup>

Berikut gambaran gelombang keluaran inverter PWM.



Gambar 2.8 PWM Waveform

Sebagai catatan, amplituda tegangan dapat kita mainkan dengan mengatur durasi hidupnya. Untuk frekuensi rendah yang membutuhkan tegangan rendah, durasi ini akan diperpendek hingga pembentukan arus dan tegangan motor akan lambat. Dengan memperpanjang durasi penyaklaran, pembentukan arus dan tegangan akan cukup lama hingga mencapai nilai yang maksimal dibandingkan waktu yang lebih pendek.

Dengan banyaknya inverter akan menghasilkan step yang lebih halus sehingga fungsi filter dapat diminimalisasikan. Penggunaan inverter dengan tipe ini jarang dipakai untuk aplikasi komputer tetapi biasanya

<sup>3</sup> Juhari. 2013. Instalasi Motor Listrik Semester VI. Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia. Hlm.20

digunakan untuk aplikasi 3 fasa dengan kapasitas daya yang besar. Walaupun demikian kelemahan sistem inverter ini adalah dengan banyaknya inverter yang digunakan akan menghasilkan sinyal sinus yang baik namun biaya yang dibutuhkan untuk membuat inverter ini menjadi berlipat-lipat tergantung dari jumlah inverter yang digunakan.

Yang menjadi titik berat pada tipe inverter ini adalah pada bagian osilator dan kontrolnya karena pada bagian ini akan menghasilkan trigger-trigger bagi SCR-SCR yang berfungsi sebagai inverter tersebut dengan perioda yang disesuaikan antara yang satu dengan yang lainnya sehingga dapat membentuk sinyal stair case up/down dengan frekuensi yang sesuai dengan frekuensi yang diinginkan.

### 2.3 Pengaturan Frekuensi Pada Variable Speed Drive

Frekuensi dikontrol dengan berbagai macam cara yaitu : melalui keypad (local), dengan external potensiometer, Input 0 ~ 10 VDC , 4 ~ 20 mA atau dengan preset memori. Semua itu bisa dilakukan dengan mengisi parameter program yang sesuai.

Beberapa parameter yang umum dipergunakan/ minimal adalah sebagai berikut:

1. *Display* : Untuk mengatur parameter yang ditampilkan pada keypad display.
2. *Control* : Untuk menentukan jenis control local/ remote.
3. *Speed Control* : Untuk menentukan jenis control frekuensi reference.
4. *Voltage* : Tegangan Suply Inverter.
5. *Base Freq.* : Frekuensi tegangan supply.
6. *Lower Freq.* : Frekuensi operasi terendah.
7. *Upper Freq.* : Frekuensi operasi tertinggi.
8. *Stop mode* : Stop bisa dengan braking, penurunan frekuensi dan di lepas seperti starter DOL/ Y-D.
9. *Acceleration* : Setting waktu Percepatan.
10. *Deceleration* : Setting waktu Perlambatan.
11. *Overload* : Setting pembatasan arus.
12. *Lock* : Penguncian setting program.

Jika beban motor memiliki inerti 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 inerti beban harus didisipasi/ 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 yang ditoleransi. 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.

#### 2.4 Pengontrolan Variable Speed Drive <sup>[3]</sup>

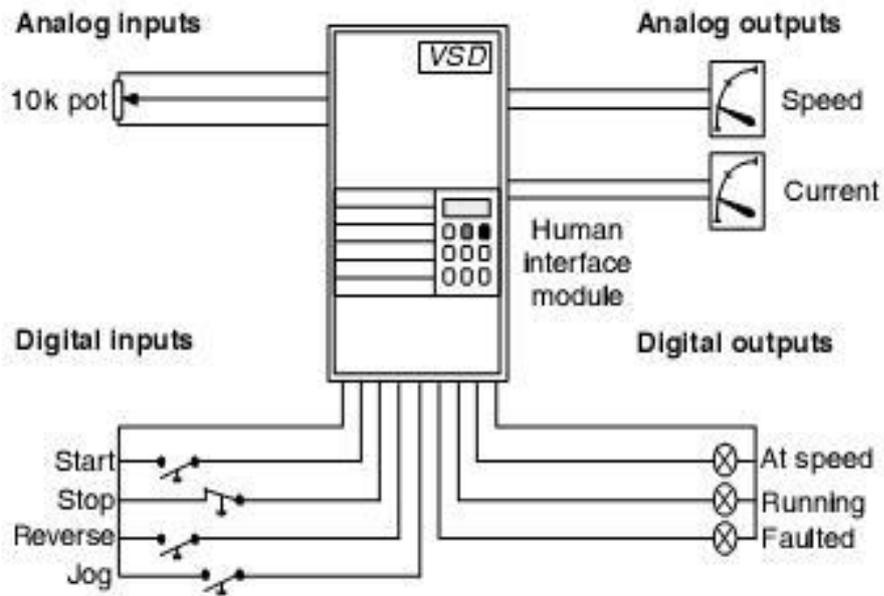
Kontrol *start/stop* pada pengendalian *Variable Speed Drive* dapat direalisasikan dalam beberapa cara yaitu:

1. Pengontrolan dengan sistem manual
2. Pengontrolan dengan sistem otomatis

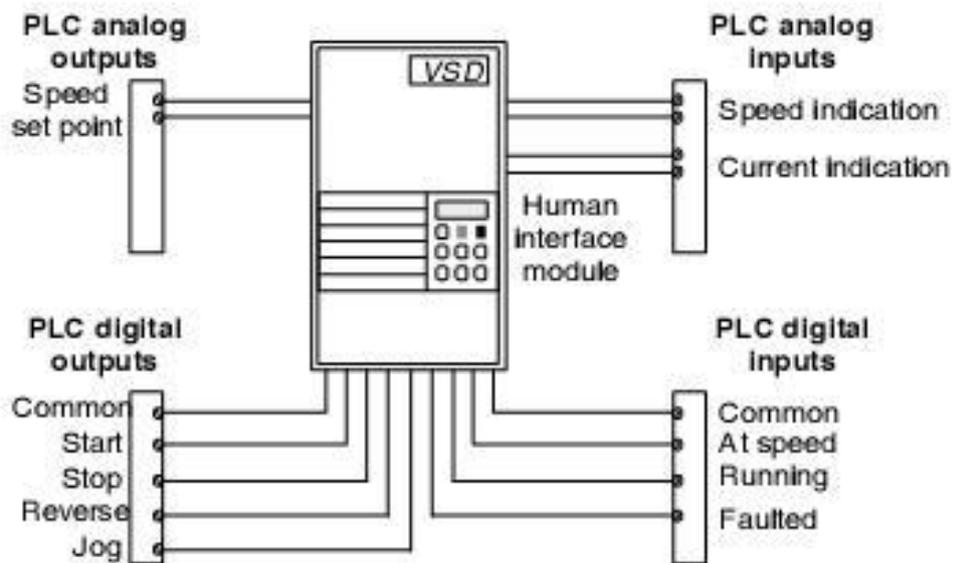
Pengontrolan *Variable speed drive* manual ini dapat dilakukan dengan tombol tekan start dan stop yang dihubungkan dengan cara penggawatan langsung pada terminal control inverter VSD seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.9. Alternatif lain jika pengontrolan dari peralatan yang terpisah atau dari jarak jauh dapat dilakukan dengan menggunakan PLC, ini dapat dilakukan penggawatan secara langsung dari PLC ke terminal inverter VSD seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.10.

---

<sup>3</sup> Juhari. 2013. Instalasi Motor Listrik Semester VI. Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia. Hlm.81



Gambar 2.9 Pengawatan Sistem Kontrol Manual



Gambar 2.10 Pengawatan Sistem Kontrol Otomatis

## 2.5 Motor Listrik 3 Fasa <sup>[8]</sup>

Motor listrik berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang berupa tenaga putar. Motor listrik terdiri dari dua bagian yang sangat penting yaitu stator atau bagian yang diam dan rotor atau bagian berputar. Pada motor AC, kumparan rotor tidak menerima energi listrik secara langsung, tetapi secara induksi seperti yang terjadi pada energi kumparan transformator. Oleh karena itu motor AC dikenal dengan motor induksi. Dilihat dari kesederhanaannya, konstruksinya yang kuat dan kokoh serta mempunyai karakteristik kerja yang baik, motor induksi tiga fasa yang cocok dan paling banyak digunakan dalam bidang industri.

Penggunaan motor induksi yang banyak dipakai di kalangan industri mempunyai keuntungan dan kerugian sebagai berikut :

1. Mempunyai konstruksi yang sederhana.
2. Relatif lebih murah harganya bila dibandingkan dengan jenis motor yang lainnya.
3. Menghasilkan putaran yang konstan.
4. Mudah perawatannya.
5. Untuk pengasutan tidak memerlukan motor lain sebagai penggerak mula.
6. Tidak membutuhkan sikat-sikat, sehingga rugi gesekan bisa dikurangi.

Namun disamping hal tersebut diatas, terdapat pula faktor – faktor kerugian yang tidak menguntungkan dari motor induksi yaitu sebagai berikut :

1. Putarannya sulit diatur.
2. Arus asut yang cukup tinggi, berkisar antara 5 s/d 6 kali arus nominal motor
3. Pengaturan kecepatan dari motor induksi sangat mempengaruhi efisiensinya.
4. Kecepatan motor induksi akan menurun seiring dengan bertambahnya beban, tidak seperti motor DC atau motor shunt.
5. Kopel awal mutunya rendah dibandingkan dengan motor DC.

---

<sup>8</sup> Sumardjati, Prih. 2008. Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3. Hlm.408

## 2.6 Prinsip Kerja Motor Induksi<sup>[10]</sup>

Pada dasarnya ada beberapa prinsip penting pada motor – motor induksi yaitu :

1. Apabila sumber tegangan tiga fasa dihubungkan pada kumparan stator maka akan timbul medan putar dengan kecepatan sinkron ( $n_s$ ).
2. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor.
3. Akibatnya pada kumparan rotor timbul induksi (ggl) sebesar :

$$E_2 = 4,44 \cdot f_2 \cdot N_2 \cdot \phi_m$$

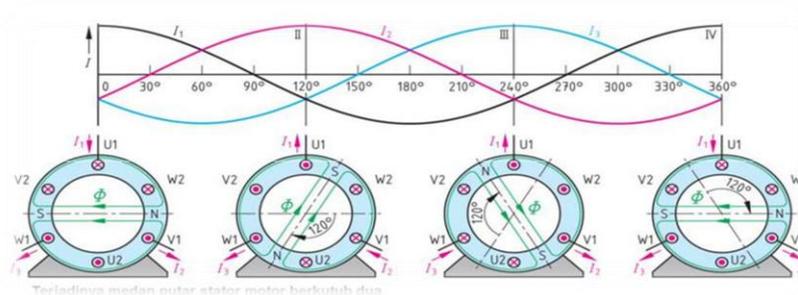
4. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup, ggl (E) akan menghasilkan arus (I).
5. Adanya arus didalam medan magnet menimbulkan gaya pada motor.
6. Bila kopel mula dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.
7. Tegangan induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan putar stator. Artinya agar tegangan terinduksi diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator ( $n_s$ ) dengan kecepatan berputar rotor ( $n_r$ ).
8. Perbedaan kecepatan antara  $n_r$  dan  $n_s$  disebut slip (s) dinyatakan dengan :

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\%$$

9. Bila  $n_r = n_s$ , tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak mengalir pada kumparan jangkar (rotor), dengan demikian tidak dihasilkan kopel. Kopel motor akan ditimbulkan apabila  $n_r$  lebih kecil dari  $n_s$ .
10. Dilihat dari cara kerjanya maka motor tak serempak disebut juga motor induksi atau motor asinkron.

<sup>10</sup> Zuhail. 1991. Dasar Tenaga Listrik. ITB, Bandung. Hlm.68

Prinsip kerja motor induksi ini juga dapat dijelaskan dengan gelombang sinusoidal seperti pada gambar 2.11, terbentuknya medan putar pada stator motor induksi. Tampak stator dengan dua kutub, dapat diterangkan dengan empat kondisi.



Gambar 2.11 Bentuk Gelombang Sinusoida Dan Timbulnya Medan Putar Pada Stator Motor Induksi <sup>[6]</sup>

1. Saat sudut  $0^{\circ}$ . Arus  $I_1$  bernilai positif sedangkan arus  $I_2$  dan arus  $I_3$  bernilai negatif dalam hal ini belitan  $V_2$ ,  $U_1$  dan  $W_2$  bertanda silang (arus meninggalkan pembaca), dan belitan  $V_1$ ,  $U_2$  dan  $W_1$  bertanda titik (arus listrik menuju pembaca). terbentuk fluk magnet pada garis horizontal sudut  $0^{\circ}$  kutub S (south=selatan) dan kutub N (north=utara).
2. Saat sudut  $120^{\circ}$ . Arus  $I_2$  bernilai positif sedangkan arus  $I_1$  dan arus  $I_3$  bernilai negatif, dalam hal ini belitan  $W_2$ ,  $V_1$  dan  $U_2$  bertanda silang (arus meninggalkan pembaca), dan kawat  $W_1$ ,  $V_2$  dan  $U_1$  bertanda titik (arus menuju pembaca). Garis fluk magnet kutub S dan N bergeser  $120^{\circ}$  dari posisi awal.
3. Saat sudut  $240^{\circ}$ . Arus  $I_3$  bernilai positif dan  $I_1$  dan  $I_2$  bernilai negatif, belitan  $U_2$ ,  $W_1$ , dan  $V_2$  bertanda silang (arus meninggalkan pembaca), dan kawat  $U_1$ ,  $W_2$  dan  $V_1$  bertanda titik (arus menuju pembaca). Garis fluk magnet kutub S dan N bergeser  $120^{\circ}$  dari posisi kedua.
4. Saat sudut  $360^{\circ}$ . Posisi ini sama dengan saat sudut  $0^{\circ}$ . Dimana kutub S dan N kembali keposisi awal sekali. Dari keempat kondisi diatas saat sudut  $0^{\circ}$  ;  $120^{\circ}$  ;  $240^{\circ}$  ;  $360^{\circ}$ , dapat dijelaskan terbentuknya medan putar pada stator,

<sup>6</sup> Siswoyo. 2008. Teknik Listrik Industri Jilid 2. Direktorat Jendral Manajemen Pembinaan SMK. Hlm.55



medan magnet putar stator akan memotong belitan rotor. Kecepatan medan putar stator ini sering disebut kecepatan sinkron, tidak dapat diamati dengan alat ukur tetapi dapat dihitung secara teoritis yaitu dengan menggunakan rumus :

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{P} = \dots\dots\dots (2.1)^{[10]}$$

Dimana :

$n_s$  = Kecepatan putaran medan stator (Rpm)

$f$  = Frekuensi jala-jala (Hz)

120 = Konstanta

$P$  = Jumlah kutub pada motor (pole)

### 2.7 Slip <sup>[7]</sup>

Perbedaan kecepatan antara medan putar stator dengan rotor tergantung pada besarnya beban dari motor tersebut. Perbedaan putaran ini disebut dengan slip (S) yang dinyatakan dalam (%). Harga slip selalu berubah-ubah tergantung dari besarnya beban yang dipikul yaitu dari 100% saat start sampai dengan 0% saat diam ( $n_s=n_r$ ). Perbedaan putaran antara putaran medan stator dan putaran rotor dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\% slip = \frac{n_s - n}{n_s} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

$n_s$  = Kecepatan Medan Stator (Rpm)

$n$  = Kecepatan Motor Induksi (Rpm)

Dalam hal ini kecepatan relatif rotor terhadap kecepatan meda putar stator adalah  $n_{rel}$ ,dimana  $n_{rel}= n_s-n_r$ . Frekuensi yang dibangkitkan pada belitan rotor adalah  $f_2$ ,dimana :

$$f_2 = \left( \frac{n_s - n_r P}{120} \right) \dots\dots\dots (2.3)$$

<sup>10</sup> Zuhail. 1991. Dasar Tenaga Listrik. ITB, Bandung. Hlm.66

<sup>7</sup> Sumanto, Drs. 1993. Motor Listrik Arus Bolak-Balik. Yogyakarta. Hlm.43



$$f_1 = \left(\frac{n_s P}{120}\right)$$

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{n_s - n_r}{n_s}$$

Maka:

$$f_2 = s \cdot f_1 \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

$f_1$  = Frekuensi jala-jala (Hz)

$f_2$  = Frekuensi pada rotor (Hz)

$s$  = Slip

$n_r$  = Kecepatan Putaran Medan Rotor (Rpm)

$n_s$  = Kecepatan Putaran Medan Stator (Rpm)

Apabila, slip = 0 ( $n_s - n_r$ ) maka  $f_2 = 0$  dan apabila rotor ditahan maka slip = 1 ( $n_r = 0$ ) maka  $f_2 = f_1$ . Dari persamaan  $f_2 = s \cdot f_1$ , diketahui bahwa frekuensi rotor dipengaruhi oleh slip karena GGL induksi dan reaktansi pada rotor merupakan fungsi frekuensi maka besarnya juga turut dipengaruhi oleh slip.

### 2.8 Torsi

Torsi adalah kekuatan yang menghasilkan suatu rotasi (putaran). Hal ini menyebabkan objek untuk berputar. Torsi terdiri dari gaya dan jarak (lb-ft) dimana untuk menghitung nilai torsi, kita dapat menerapkan rumus :

$$\tau = F \times S$$

Dimana :

$\tau$  = torsi (lb-ft)

F = gaya (lb)

S = jarak (kaki)

Apabila satuan  $\tau$  diubah menjadi satuan lb ft maka :

$$1 \text{ lb} = 4,447 \text{ N}$$

$$1 \text{ lb ft} = 1,356 \text{ Nm}$$

$$1 \text{ ft} = 0,3048 \text{ m}$$

$$1 \text{ Nm} = 0,737 \text{ lb ft}$$



Untuk menghitung torsi motor pada saat beban penuh, kita dapat menerapkan rumus:

$$T = \frac{HP \times 5252}{n} \dots\dots\dots (2.5)$$

Atau menggunakan persamaan rumus sebagai berikut :

$$T = \frac{P_{out}}{\omega} \dots\dots\dots (2.6)^{[7]}$$

$$\omega = 2\pi \cdot n_r / 60 \dots\dots\dots (2.7)^{[5]}$$

Dimana :

- T = Torsi
- HP = Daya kuda
- 5252 = Konstanta
- n<sub>r</sub> = Kecepatan Motor Induksi
- P<sub>out</sub> = Daya keluaran (output) motor induksi
- ω = Kecepatan sudut putar

### 2.9 Efisiensi Motor Induksi 3 Fasa

Perhitungan efisiensi motor induksi melibatkan rugi-rugi yang terjadi pada stator dan rotor. Rugi-rugi stator terdiri atas rugi-rugi hysteresis, rugi-rugi eddy current, rugi-rugi inti dan rugi-rugi tembaga pada kumparan stator.

Efisiensi motor adalah perbandingan antara daya keluaran motor induksi dengan daya masukan motor induksi, yaitu dilihat pada persamaan (2.8) sebagai berikut:

$$\eta(\%) = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

- P<sub>out</sub> = Daya output motor induksi
- P<sub>in</sub> = Daya input motor induksi

---

<sup>7</sup> Sumanto, Drs. 1993. Motor Listrik Arus Bolak-Balik. Yogyakarta. Hlm.47  
<sup>5</sup> Rijono, Yon, Drs. 2004. Dasar Teknik Tenaga Listrik. Andi, Yogyakarta. Hlm.335



$$P_{\text{rugi-rugi}} = P_{\text{in}} - P_{\text{out}} \dots \dots \dots (2.9)$$

$$P_{\text{in}} = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos } \phi \dots \dots \dots (2.10)^{[5]}$$

$$P_{\text{out}} = \frac{T \cdot n}{9,55} \dots \dots \dots (2.11)^{[6]}$$

Dimana :

V = Tegangan

I = Arus

Cos  $\phi$  = Faktor Daya

$P_{\text{out}}$  = Daya keluaran motor induksi

$P_{\text{rugi-rugi}}$  = Rugi-rugi daya pada motor induksi

T = Torsi Motor

n = Kecepatan Motor induksi

9,55 = Konstanta

## 2.10 Konstruksi Motor Induksi 3 Fasa

Pada dasarnya motor induksi terdiri dari suatu bagian yang tidak bergerak (stator) dan bagian yang bergerak (rotor). Secara ringkas stator terdiri dari lilitan yang berisolasi dan pelat-pelat besi yang mempunyai ketebalan 0,35 – 0,5 mm, disusun menjadi sebuah blok yang berbentuk gelang dan disisi dalamnya dilengkapi dengan alur-alur. Dari sisi lain inti besi stator dan rotor terbuat dari lapisan (email) baja silikon tebalnya 0,35 - 0,5 mm, tersusun rapi, masing-masing terisolasi secara elektrik dan terhubung singkat pada ujung – ujungnya.

Lamel inti besi stator dan rotor bagian motor dengan garis tengah bagian motor, dengan garis tengah bagian luar dari stator lebih dari 1 mm. Bagi motor dengan garis tengah yang lebih besar, lamel inti besi merupakan busur inti segmen yang disambung–sambung menjadi satu lingkaran. Celah udara antara stator dan rotor pada motor yang kecil adalah 0,25 – 0,75 mm, pada motor yang

<sup>5</sup> Rijono, Yon, Drs. 2004. Dasar Teknik Tenaga Listrik. Andi, Yogyakarta. Hlm.341

<sup>6</sup> Siswoyo. 2008. Teknik Listrik Industri Jilid 2. Direktorat Jendral Manajemen Pembinaan SMK. Hlm.53

besar sampai 10 mm. Celah udara yang besar ini disediakan bagi kemungkinan terjadinya perenggangan pada sumbu sebagai akibat pembebanan transversal pada sumbu atau sambungannya. Tarikan pada pita (belt) atau beban yang tergantung tersebut akan menyebabkan sumbu motor melengkung.

Pada dasarnya inti besi stator dan belitan rotor motor tak serempak ini sama dengan stator dan belitan stator mesin serempak. Kesamaan ini dapat ditunjukkan bahwa pada rotor mesin tak serempak yang dipasang / sesuai dengan stator mesin tak serempak akan dapat bekerja dengan baik

### 2.10.1 Bagian stator (bagian motor yang diam)



Gambar 2.12 Konstruksi Stator Dengan Alur-alurnya

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 mendapatkan suplai arus tiga fasa maka pada kumparan tersebut akan timbul flux magnet putar. Karena adanya flux magnet putar pada kumparan stator, mengakibatkan rotor berputar karena adanya induksi magnet dengan kecepatan putar rotor sinkron dengan kecepatan putar stator.



$$n_s = \frac{f \times 120}{P}$$

Dimana :

$n_s$  = Kecepatan putaran medan stator (Rpm)

$f$  = Frekuensi jala-jala (Hz)

120 = Konstanta

$P$  = Jumlah kutub pada motor (pole)

Dari bagian motor yang diam (stator) dapat dibagi-bagi menjadi beberapa bagian antara lain sebagai berikut :

1. Bodi motor ( Gandar )<sup>[2]</sup>

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

2. Inti kutub magnet dan lilitan penguat magnet

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

3. Sikat – sikat dan pemegang sikat

Fungsi dari sikat adalah sebagai jembatan bagi aliran arus dari sumber. Disamping itu sikat memegang peranan penting untuk terjadinya komutasi, agar gesekkan antara sikat dan komutator, maka sikat harus lebih lunak dari pada komutator dan biasanya terbuat dari bahan arang.

---

<sup>2</sup> Indra. 2009. Efisiensi Motor Induksi 3 Fasa Yang Digunakan Sebagai Pompa Untuk Sistem Sirkulasi Pendingin Generator Turbin Gas Di PT. PERTAMINA RU III PLAJU. Politeknik Negeri Sriwijaya. Palembang. Hlm.9

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

- a. Sikat grafit alam
- b. Sikat karbon keras
- c. Sikat elektrografit
- d. Sikat grafit logam
- e. Sikat karbon logam

Sikat – Sikat akan aus selama operasi dan tingginya akan berkurang. Aus yang diizinkan ditentukan oleh konstruksi dari pemegang sikat (gagang sikat). Bagian puncak dari sikat diberi pelat tembaga guna mendapatkan kontak yang baik antara sikat dan dinding pemegang sikat.

Satu atau dua pengantar yang fleksibel ditenamkan ke dalam sikat untuk menghantarkan arus dari sikat ke jepitan dari pemegang sikat bila sikat – sikat terdapat pada kedudukan yang benar, maka baut harus dieratkan sepenuhnya. Ini menetapkan jembatan sikat dalam suatu kedudukan yang tidak dapat bergerak pada pelindung ujung. Gagang sikat ( pemegang sikat ) berguna untuk menimbulkan tekanan yang diperlukan antara sikat. Ketiadaan bunga api pada komutator banyak tergantung pada mulur dari perakitan dan pemasangan gagang sikat. Tiap – tiap gagang sikat dilengkapi dengan suatu pegas yang menekan pada sikat melalui suatu sistem tertentu sehingga sikat tidak terjepit.

### **2.10.2 Bagian rotor (bagian motor yang bergerak)**

Berdasarkan hukum faraday tentang imbas magnet, maka medan putar yang secara relatif merupakan medan magnet yang bergerak terhadap penghantar rotor yang akan menimbulkan 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 maju bagi arus rotor dan searah dengan hukum yang berlaku yaitu hukum lenz.

Arahnya melawan fluksi yang mengimbas, dalam hal ini arus rotor itu ditimbulkan karena adanya perbedaan kecepatan yang berada diantara fluksi atau

medan putar stator dengan penghantar yang diam. Rotor akan berputar dalam arah yang sama dengan arah medan putar stator, untuk mengurangi beda kecepatan diatas.

$$\% slip = \frac{n_s - n}{n_s}$$

Dimana :

$n_s$  = Kecepatan Medan Stator (Rpm)

$n$  = Kecepatan Motor Induksi (Rpm)

Menurut jenis rotor pada motor induksi dibagi menjadi 2 (dua) yaitu:

1. Rotor sangkar tupai (*Squirrel Cage Rotor*)

Rotor yang terdiri dari sejumlah lilitan yang berbentuk batang tembaga yang dihubungkan singkat pada setiap ujungnya kemudian disatukan (di cor) menjadi satu kesatuan sebagaimana gambar 2.13.



Gambar 2.13 Rotor Sangkar Tupai <sup>[8]</sup>

Jenis rotor sangkar tupai, yang terdiri dari satu set tembaga atau potongan aluminium yang dipasang ke dalam slot, yang terhubung ke sebuah akhir cincin pada setiap akhir rotor. Konstruksi gulungan rotor ini menyerupai 'kandang tupai'. Potongan aluminium rotor biasanya dicor mati ke dalam slot rotor, yang membuat konstruksinya sangat kasar. Meskipun potongan rotor aluminium berada dalam kontak langsung dengan laminasi baja, hampir semua arus rotor melalui jeruji aluminium dan tidak di laminasi. Sejumlah

<sup>8</sup> Sumardjati, Prih. 2008. Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3. Hlm.409

motor induksi yang beredar dipasaran maupun yang banyak digunakan sekitar 90% adalah motor induksi dengan "Rotor Sangkar". Alasan umum yang diperoleh adalah karena konstruksi yang sederhana dan juga lebih murah harganya.

Sejumlah batang-batang konduktor tersebut dimasukkan ke dalam laminasi-laminasi yang terbuat dari bahan besi silikon serta menjadi satu dengan poros rotor. Sebagaimana konstruksi tersebut di atas terutama batang-batang konduktor yang terhubung singkat, maka tidak dimungkinkan untuk menambah "Tahanan Luar" (yang dipasang secara seri) dengan rotor guna keperluan "Pengasutan". Selain itu pula posisi dari batang-batang konduktor/tembaga posisinya dibuat tidak paralel (tidak segaris) dengan poros rotor. Posisi batang konduktor dipasang agak miring. Alasan diletakan posisi miring dari konduktor terhadap poros adalah :

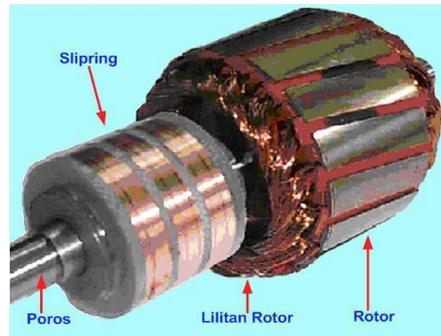
1. Memperhalus suara pada saat motor berputar (memperkecil dengungan magnetis/suara bising)
2. Menghilangkan kecenderungan "Lock atau mengunci" yang disebabkan karena interaksi langsung antara medan magnet stator dan rotor.

Pada motor-motor dengan kapasitas kecil, batang-batang konduktor di cor menjadi satu bagian dengan *aluminium alloy*. Selain itu juga contoh lainnya adalah ada juga yang rotornya hanya berupa besi tanpa satupun konduktor. Jenis seperti ini biasanya disebut sebagai "Motor Arus Eddy".

## 2. Rotor belitan (*Wound Rotor*)

Motor rotor belitan atau motor slipring berbeda dengan motor rotor sangkar dalam konstruksi rotornya. Seperti namanya rotor belitan dengan lilitan terisolasi serupa dengan lilitan stator. Lilitan fasa rotor dihubungkan secara Y dengan poros motor. Ketiga cincin slip yang terpasang pada cincin slip dan sikat-sikat dapat dilihat berada disebelah kiri lilitan rotor. Lilitan rotor tidak dihubungkan ke pencatu. Cincin slip dan sikat semata-mata merupakan penghubung tahanan kendali variabel luar ke dalam rangkain motor. Motor rotor belitan kurang banyak digunakan dibandingkan dengan

motor rotor sangkar karena harganya mahal dan biaya pemeliharaan lebih besar. Rotor ini terbuat dari laminasi-laminasi besi dengan alur-alur sebagai tempat meletakkan belitan (kumparan) dengan ujung-ujung belitan yang juga terhubung singkat seperti gambar 2.14.



Gambar 2.14 Rotor Lilit <sup>[8]</sup>

Motor dengan jenis rotor belitan biasanya diperlukan pada saat pengasutan atau pengaturan kecepatan dimana dikehendaki torsi asut yang tinggi. Belitan-belitan yang terpasang pada rotor telah diisolasi sebagaimana belitan yang terdapat pada stator. Belitan yang ada pada rotor diletakkan juga pada alur-alur rotor dan pada setiap ujungnya dihubungkan secara langsung pada cincin (*slipring*) yang posisinya dibagian depan dari rotor serta menjadi satu dengan poros. Belitan rotor ini di desain sama dengan kutub yang dimiliki belitan statornya dan selalu dalam bentuk belitan 3 fasa sekalipun statornya hanya 2 fasa. Pengaturan belitan / gulungan / kumparan dilakukan untuk masing-masing fase adalah sama. Sedangkan pada ujung-ujung dari masing kumparan/fase yang keluar dihubungkan ke 3 buah cincin (*slipring*) berdasarkan jumlah fasenya. Konstruksi slip ring terhubung secara langsung dengan masing-masing sikat. Dengan demikian, maka pada jenis ini dapat dihubungkan secara langsung ke "Tahanan luar" guna keperluan pengasutan.

### 2.10.3 Terminal box

Terminal box adalah bagian yang bertugas menghubungkan aliran listrik dari sumber ke motor. Dari terminal box pengaturan star atau delta dapat

<sup>8</sup> Sumardjati, Prih. 2008. Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3. Hlm.410

dilakukan. Pengaturan star atau delta mengacu pada informasi yang tertera pada nameplate motor tersebut. Pada terminal box terdapat winding dengan format U1-V1-W1 dan W2-U2-V2 seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.15 Terminal Box

## 2.11 Klasifikasi Motor Listrik AC <sup>[5]</sup>

Motor listrik AC memiliki beberapa jenis, yang jenis ini membedakan berdasarkan beberapa faktor utama yang antara lain berdasarkan prinsip kerja, berdasarkan macam arus dan berdasarkan kecepatan.

1. Berdasarkan Prinsip Kerja
  - A. Motor Sinkron.
    1. Biasa (tanpa slip ring )
    2. Super ( dengan slip ring )
  - B. Motor Asinkron.
    1. Motor Induksi (Squirel Cage & Slip Ring )
    2. Motor Komutator ( Seri, Terkompensasi, Shunt, Repulasi )
2. Berdasarkan Macam Arus
  - A. Fasa tunggal
  - B. Tiga fasa
3. Berdasarkan Kecepatan
  - A. Kecepatan konstan
  - B. Kecepatan berubah
  - C. Kecepatan diatur

<sup>5</sup> Rijono, Yon, Drs. 2004. Dasar Teknik Tenaga Listrik. Andi, Yogyakarta. Hlm.309



## 2.12 Gangguan-Gangguan Pada Motor Induksi

Jenis –jenis gangguan yang sering terjadi pada Motor Induksi yaitu :

1. Gangguan fisik dari lingkungan sekelilingnya
  - a. Pasir
  - b. Air
  - c. Gas
  - d. Debu dll.
2. Gangguan Mekanis
  - a. Pelumasan bantal-bantal motor tidak sempurna.
  - b. Pemeliharaan motor yang kurang baik.
  - c. Pemasangan instalasi yang tidak teliti.
  - d. Pemakaian bagian perlengkapan motor yang tidak sesuai.
  - e. Pembebanan mekanis yang digerakkan lebih besar dari kemampuan motor.
3. Gangguan Beban Lebih

Gangguan ini di sebabkan oleh besarnya beban yang ditanggung motor melebihi kapasitasnya. Akibatnya arus yang lebih besar yang menimbulkan panas sehinga dapat merusak isolasi pada motor.
4. Gangguan Tegangan Turun

Turunnya tegangan jala-jala akan mengurangi momen dari motor listrik, sebab momen sebanding dengan kuadrat tegangan. Karena momen beban konstan, maka slip motor bertambah besar hal ini akan mengakibatkan lebih banyak daya reaktif yang diserap motor, sehingga arus yang di perlukan motor juga semakin besar untuk itu diperlukan penstabilan tegangan.
5. Gangguan Hubung Singkat

Biasanya terjadi oleh beberapa sebab,yaitu :

  - a. Gangguan hubung singkat pada antara fasa, dapat terjadi pada kabel penghubung jala-jala dengan motor atau pada ujung kabel dan pada kumparan-kumparan motor (Ground).

- b. Gangguan antara masing - masing lilitan pada salah satu kumparan stator, hal ini akan mengganggu keseimbangan motor dan arus yang mengalir pada kumparan yang bersangkutan akan menjadi lebih besar. Dalam suatu sistem kelistrikan mustahil untuk mendapatkan kondisi sistem yang sempurna. Oleh karena itu, diperlukan suatu alat proteksi untuk melindungi sistem atau meminimalkan gangguan tersebut.

### 2.13 Pengaturan Putaran Motor Induksi <sup>[10]</sup>

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

#### 2.13.1 Pengubahan jumlah kutub

Kecepatan putar motor induksi ditentukan oleh frekuensi masukan dan jumlah kutub motor seperti yang dijelaskan dengan rumus :

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{p}$$

Dimana :

$n_s$  = Kecepatan medan putar motor(rpm)

$f$  = Frekuensi (Hz)

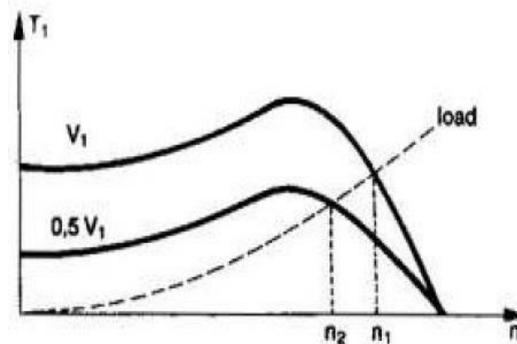
$p$  = Jumlah kutub

Dari rumus diatas dapat disimpulkan bahwa perubahan jumlah kutup dan frekuensi akan mempengaruhi putaran motor. Jumlah kutup dapat diubah dengan merencanakan kumparan stator sedemikian rupa sehingga dapat menerima tegangan masuk pada posisi kumparan yang berbeda-beda. Biasanya diperoleh dua perubahan kecepatan sinkron dengan mengubah jumlah kutub dari 2 menjadi 4.

<sup>10</sup> Zuhail. 1991. Dasar Tenaga Listrik. ITB, Bandung. Hlm.84

### 2.13.2 Perubahan tegangan sumber

Persamaan torsi motor induksi tiga fasa sebanding dengan kuadrat tegangan yang diberikan. Perubahan tegangan untuk pengendalian kecepatan akan diikuti dengan perubahan torsi motor. Pengaturan putaran motor induksi tiga fasa dengan cara mengatur tegangan sumber mempunyai daerah kerja yang lebih luas.

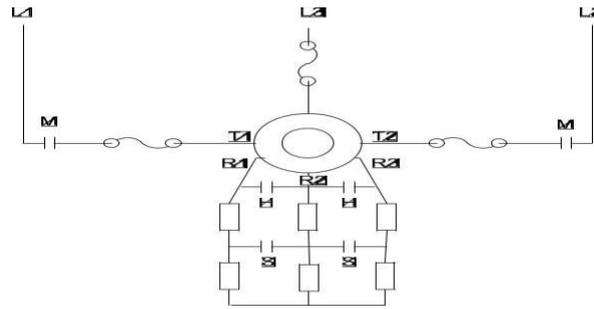


Gambar 2.16 Karakteristik Pengaturan Tegangan

### 2.13.3 Pengaturan tahanan luar

Rotor motor dikonstruksi dengan lilitan yang dibawa keluar dari motor slip ring pada poros motor. Lilitan tersebut dihubungkan pada pengontrol yang menempatkan tahanan variabel seri dengan lilitan. Dengan mengubah jumlah tahanan luar yang dihubungkan pada rangkaian rotor, kecepatan motor lilit yang paling umum dengan rentang 300 hp atau lebih. Gambar 2.17 menunjukkan rangkaian daya untuk mengontrol motor rotor lilit.

Akselerasi sekunder (S dan H), yang mengontrol kecepatan. Ketika bekerja pada kecepatan rendah, kontaktor S dan H keduanya membuka dan tahanan penuh diselipkan pada rangkaian kedua motor.



Gambar 2.17 Pengontrol Kecepatan Dari Motor Induksi Rotor Lilit Yang Menggunakan Tahanan

Keterangan :

R : Hambatan

H : Saklar H

S : Saklar S

M : Pengasut magnetis

L1-L2-L3 : lilitan r, s, t

Apabila kontaktor S menutup, bagian dari tahanan total pada rangkaian diparalel, akibatnya kecepatan bertambah. Apabila kontaktor H menutup, maka semua tahanan pada rangkaian sekunder motor di bypass, jadi motor berputar pada kecepatan maksimum. Kelemahan penggunaan tahanan pada kontrol kecepatan pada motor induksi rotor lilit adalah banyak panas yang didisipasi pada tahanan, karena itu efesiansinya rendah. Pengaturan kecepatan juga jelek, karena untuk tahanan tertentu kecepatan berubah sangat menyolok jika beban mekanis berubah.

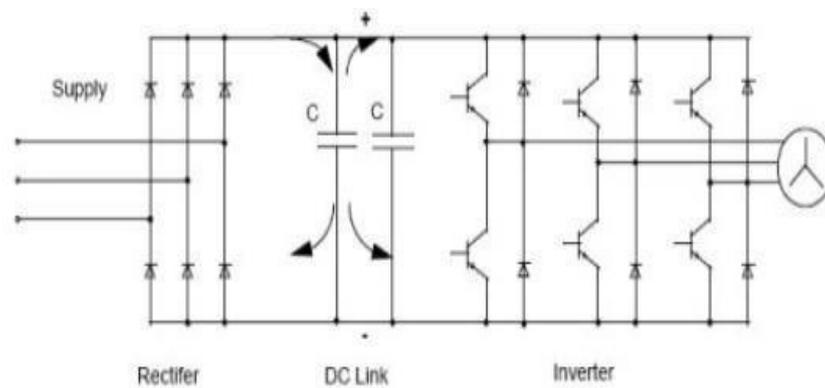
Kecepatan putar motor induksi tiga fasa dapat dirubah dengan menambahkan tahanan luar. Dengan mengatur tahanan luar akan terjadi perubahan kecepatan. Pengaturan tahanan luar hanya dapat dilakukan untuk motor induksi jenis rotor lilit.

### 2.13.4 Pengubahan frekuensi

Pengaturan frekuensi untuk mengendalikan kecepatan motor induksi biasanya diikuti juga dengan pengaturan tegangan masuk  $V_1$  yang sebanding dengan frekuensi tersebut karena untuk mendapatkan fluks  $\phi$  konstan, diperlukan  $V_1 \sim f$ .

Kecepatan putar motor induksi tiga fasa dapat diatur dengan mengubah frekuensi sumber, karena medan putar stator merupakan fungsi dari frekuensi sumber. Pengaturan frekuensi sumber merupakan metode pengaturan yang memungkinkan yang lebih luas. Frekuensi sumber AC yang konstan (50 Hz) harus diubah sesuai kebutuhan yang diinginkan. Proses pengubahan frekuensi ini memerlukan converter dari AC ke DC (*Rectifier*), dan dari DC dijadikan ke AC kembali (*Inverter*) dengan frekuensi yang berbeda.

Dengan demikian jika frekuensi motor ditingkatkan maka akan meningkatkan kecepatan motor, sebaliknya dengan memperkecil frekuensi akan memperlambat kecepatan motor. Pengendalian frekuensi motor menggunakan rangkaian inverter dapat dilihat seperti pada gambar berikut:



Gambar 2.18 Blok Diagram VSD<sup>[4]</sup>

<sup>4</sup> Ria prasetyo. 2013. Analisa Penghemat Energi Pada Pompa Fasum Menggunakan Variable Speed Drive. Yogyakarta. Universitas Gadjra Mada. Hlm.30

Prinsip kerja inverter yang sederhana adalah :

1. Tegangan yang masuk dari jala jala 50 Hz dialirkan ke board penyearah DC (Rectifier), 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 (*Insulated Gate Bipolar Transistor*). Dengan menggunakan frekuensi carrier (biasanya sampai 20 kHz), tegangan DC dicacah dan dimodulasi sehingga keluar tegangan dan frekuensi yang diinginkan.

Secara umum motor DC akan digunakan bila memiliki kemampuan untuk menggunakan pengendali kecepatan. Namun karena keterbatasan motor DC, motor AC terus menjadi fokus bagi penggunaan variasi kecepatan. Baik motor sinkron maupun motor induksi keduanya cocok untuk penggunaan kontrol variasi kecepatan. Karena motor induksi adalah motor asinkron, perubahan suplai frekuensi dapat memvariasikan kecepatan. Strategi pengendalian motor induksi secara khusus akan tergantung pada sejumlah faktor termasuk biaya investasi, ketahanan beban dan beberapa persyaratan pengendalian khusus. Hal ini memerlukan suatu tinjauan rinci mengenai karakteristik beban dan data historis pada aliran proses.

