



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

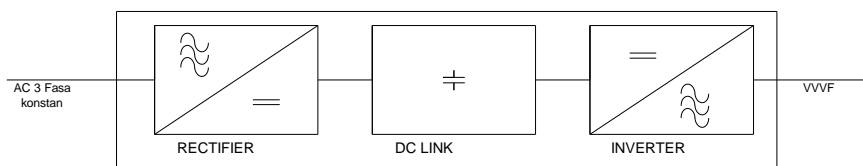
2.1 Variable Speed Drive (VSD)

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.

2.2 Prinsip Kerja Variabel Speed Drive ¹

Prinsip kerja dari variabel speed drive sebagai berikut :



Gambar 2.1 Merupakan blok diagram yang menunjukkan cara kerja variabel speed drive.

¹ 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

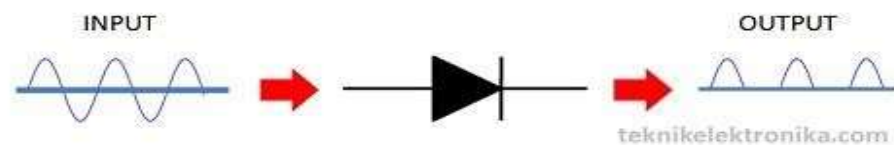


- Tegangan yang masuk dari jala- jala 220/380 volt dan frekuensi 50 hz merupakan tegangan arus bolak- balik (AC) dengan nilai tegangan dan frekuensi yang konstan. Kemudian dialirkan ke board Rectifier/ penyearah DC. Jadi dari AC di jadikan DC. Jika penyearah yang digunakan adalah penyearah terkendali, maka tegangan DC nya bisa diatur (variabel).
- Untuk meratakan tegangan DC, maka tegangan dimasukkan ke DC link. Komponen yang terdapat pada DC link berupa kapasitor atau induktor.
- Tegangan DC kemudian diumpankan ke rangkaian inverter untuk dijadikan AC kembali dengan frekuensi sesuai kebutuhan. Jadi dari tegangan DC diubah kembali ke tegangan AC 3 fasa.

2.3 Komponen Variable Speed Drive

1. Rectifer ²

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

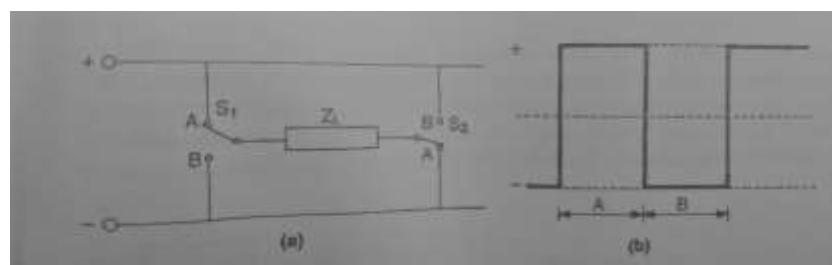
² Teknikelektronika.com Pengertian rectifier <http://teknikelektronika.com/pengertian-rectifier-penyearahgelombang-jenis-rectifier/> (diakses 3 juli 2019 pukul 16.00)



2 . Inverter³

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.



Gambar 2.3 Rangkaian kontrol (a) dan Bentuk Gelombang (b)

Prinsip kerja inverter dapat dijelaskan sebagai berikut. Bila kedudukan S1 dan S2 pada gambar 2.3 , beban mendapatkan tegangan positif , sedangkan tegangan negatif diperoleh ketika S1 dan S2 pada kedudukan B. Dengan demikian pemindahan saklar (S1 dan S2) secara berganti gantian akan menghasilkan tegangan bolak balik berbentuk persegi yang besarnya ditentukan oleh sumber , dan frekuensinya ditentukan oleh kecepatan perpindahan saklar.

³ Zuhail. 1991. Dasar Tenaga Listrik. ITB, Bandung. Hlm.177

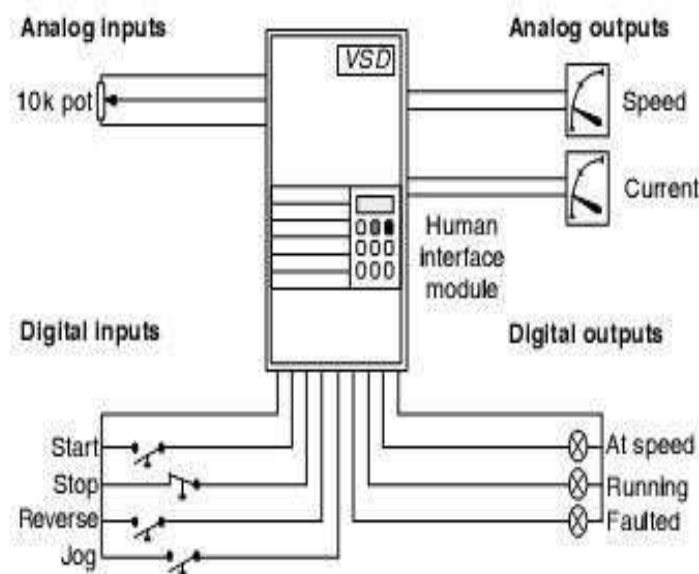


2.4 Pengontrolan Variable Speed Drive⁴

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

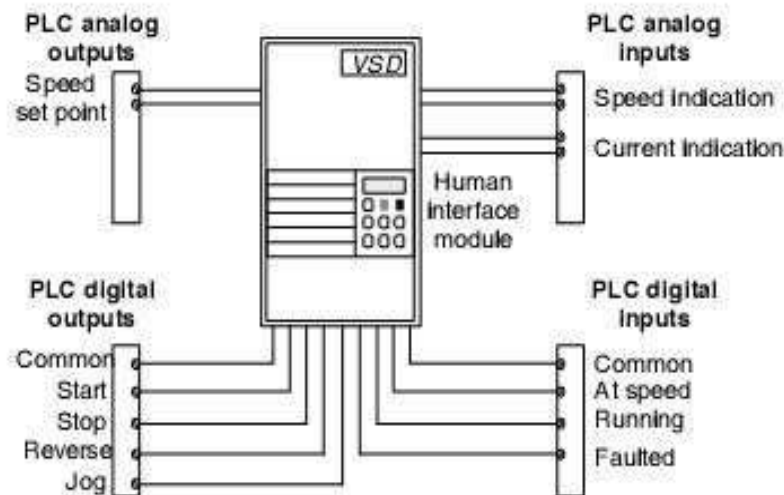
1. Pengontrolan dengan sistem manual
2. Pengontrolan dengan sistem otomatis

Pengontrolan *Variable speed drive* manual ini dapat dilakukan dengan tombol tekan start dan stop yang dihubungkan dengan cara pengawatan langsung pada terminal control inverter VSD seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4 Alternatif lain jika pengontrolan dari peralatan yang terpisah atau dari jarak jauh dapat dilakukan dengan menggunakan PLC, ini dapat dilakukan pengawatan secara langsung dari PLC ke terminal inverter VSD seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.4 Pengawatan Sistem Kontrol Manual

⁴ Juhari. 2013. Instalasi Motor Listrik Semester VI. Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia. Hlm.81



Gambar 2.5 Pengawatan Sistem Kontrol Otomatis

2.5 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.

2.6 Motor Induksi ⁵

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.

⁵ Sumardjati, Prih. 2008. Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3. Hlm.408



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 efesiensinya.
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.



2.7 Prinsip Kerja Motor Induksi ⁶

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 :

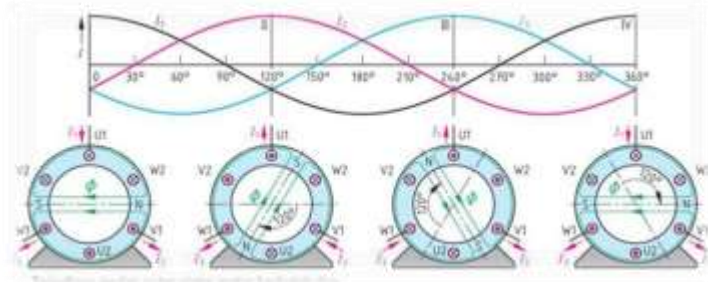
$$E_2 = 4,44 \cdot f_2 \cdot N_2 \cdot \phi_m$$
4. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup, ggl (E) akan menghasilkan arus (I).
5. Adanya arus didalam medan magnet menimbulkan gaya pada motor.
6. Bila kopel mula dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban, 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 :

$$S = \frac{N_s \times N_r}{N_s} \times 100 \%$$
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.

⁶ Zuhail. 1991. Dasar Tenaga Listrik. ITB, Bandung. Hlm.68



Prinsip kerja motor induksi ini juga dapat dijelaskan dengan gelombang sinusoidal seperti pada gambar 2.6, terbentuknya medan putar pada stator motor induksi. Tampak stator dengan dua kutub, dapat diterangkan dengan empat kondisi.



Gambar 2.6 Bentuk Gelombang Sinusoida Dan Timbulnya Medan Putar Pada Stator Motor Induksi ⁷

1. Saat sudut 0° . 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° . kutub S (south=selatan) dan kutub N (north=utara).
2. Saat sudut 120° . 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° dari posisi awal.
3. Saat sudut 240° . 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° dari posisi kedua.
4. Saat sudut 360° . Posisi ini sama dengan saat sudut 0° . Dimana kutub S dan N kembali keposisi awal sekali. Dari keempat kondisi diatas saat sudut 0° ; 120°

⁷ Siswoyo. 2008. Teknik Listrik Industri Jilid 2. Direktorat Jendral Manajemen Pembinaan SMK. Hlm.55



; 240^0 ; 360^0 , dapat dijelaskan terbentuknya medan putar pada stator, 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 :

$$N_s = \frac{120.f}{P} \dots\dots\dots(2.1)^8$$

Dimana :

n_s = Kecepatan putaran medan stator (Rpm)

f = Frekuensi jala-jala (Hz)

120 = Konstanta

P = Jumlah kutub pada motor (pole)

2.8 Slip

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 :

$$\% \text{ slip} = \frac{n_s-n_r}{n_s} \dots\dots\dots(2.2)^9$$

Dimana :

n_s = Kecepatan Medan Stator (Rpm)

n_r = Kecepatan Motor Induksi (Rpm)

2.9 Torsi

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

⁸ Zuhail. 1991. Dasar Tenaga Listrik. ITB, Bandung. Hlm.66

⁹ Sumanto, Drs. 1993. Motor Listrik Arus Bolak-Balik. Yogyakarta. Hlm.43



Dimana :

τ = torsi (lb-ft)

F = gaya (lb)

S = jarak (kaki)

Apabila satuan τ diubah menjadi satuan lb ft maka :

1 lb = 4,447 N 1 lb ft = 1,356 Nm

1 ft = 0,3048 m 1 Nm = 0,737 lb ft

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

$$\tau = \frac{HP \times 5252}{N} \dots\dots\dots(2.3)$$

Atau menggunakan persamaan rumus sebagai berikut :

$$\tau = \frac{P_{out}}{\omega} \dots\dots\dots(2.4)^{10}$$

$$\omega = 2\pi \cdot n_r / 60 \dots\dots\dots(2.5)^{11}$$

Dimana :

τ = Torsi

HP = Daya kuda

5252 = Konstanta

n_r = Kecepatan Motor induksi

P_{out} = Daya keluaran (output) motor induksi

ω = Kecepatan sudut putar

2.10 Effisiensi Motor

¹⁰ Sumanto, Drs. 1993. Motor Listrik Arus Bolak-Balik. Yogyakarta. Hlm.47

¹¹ Rijono, Yon, Drs. 2004. Dasar Teknik Tenaga Listrik. Andi, Yogyakarta. Hlm.335



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 (2.6) sebagai berikut :

$$\eta(\%) = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

P_{out} = Daya output motor induksi

P_{in} = Daya input motor induksi

$$P_{rugi-rugi} = P_{in} - P_{out} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$P_{in} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \omega \dots\dots\dots(2.8)^{12}$$

$$P_{out} = \frac{T.N}{9,55} \dots\dots\dots(2.9)^{13}$$

Dimana :

V = Tegangan

I = Arus

$\cos \omega$ = Faktor Daya

P_{out} = Daya output motor induksi

P_{in} = Daya input motor induksi

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

N = Kecepatan Motor Induksi

9,55 = Konstanta

τ = Torsi Motor

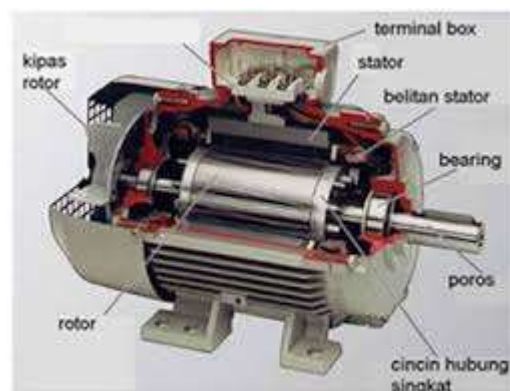
¹² Rijono, Yon, Drs. 2004. Dasar Teknik Tenaga Listrik. Andi, Yogyakarta. Hlm.341

¹³ Siswoyo. 2008. Teknik Listrik Industri Jilid 2. Direktorat Jendral Manajemen Pembinaan SMK. Hlm.53



2.11 Konstruksi Motor Induksi

Konstruksi motor induksi secara detail terdiri atas dua bagian, yaitu: bagian stator dan bagian rotor gambar . Stator adalah bagian motor yang diam terdiri : badan motor, inti stator, belitan stator, bearing dan terminal box. Bagian rotor adalah bagian motor yang berputar, terdiri atas rotor sangkar, poros rotor. Konstruksi motor induksi tidak ada bagian rotor yang bersentuhan dengan bagian stator, karena dalam motor induksi tidak komutator dan sikat arang. Konstruksi motor induksi lebih sederhana dibandingkan dengan motor DC, dikarenakan tidak ada komutator dan tidak ada sikat arang. Sehingga pemeliharaan motor induksi hanya bagian mekanik saja, dan konstruksinya yang sederhana motor induksi sangat handal dan jarang sekali rusak secara elektrik. Bagian motor induksi yang perlu dipelihara rutin adalah pelumasan bearing, dan pemeriksaan kekencangan baut-baut kabel pada terminal box karena kendur atau bahkan lepas akibat pengaruh getaran secara terus menerus.



Gambar 2.7 Konstruksi Motor Induksi¹⁴

2.11.1 Stator (Bagian Motor Yang Diam)

¹⁴ Siswoyo. 2008. Teknik Listrik Industri Jilid 2. Direktorat Jendral Manajemen Pembinaan SMK. Hlm.5-7



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)

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 gesekan antara sikat dan komutator, maka sikat harus lebih lunak dari pada komutator dan biasanya terbuat dari bahan arang.

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

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

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 dibenamkan 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.



2.11.2 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.

1. Rotor Sangkar

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.



Gambar 2.8 Rotor sangkar tupai¹⁵

Jenis rotor sangkar tupai, yang terdiri dari satu set tembaga atau potongan aluminium yang dipasang ke dalam slot, yang terhubung ke sebuah akhir cincin

¹⁵ Sumardjati, Prih. 2008. Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3. Hlm.409



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 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 batangbatang 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.

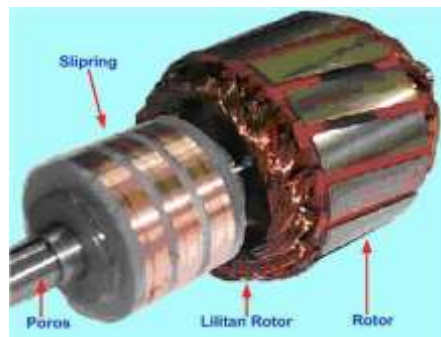
Pada motor-motor dengan kapasitas kecil, batang-batang konduktor di cor menjadi satu bagian dengan *aluminium alloy*. Selain itu juga contoh lainnya adalah ada juga yang rotornya hanya berupa besi tanpa satupun konduktor.

2. Rotor Lilit

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 2.9.



Gambar 2.9 Rotor Lilit¹⁶

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

¹⁶ Sumardjati, Prih. 2008. Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3. Hlm.410



sikat. Dengan demikian, maka pada jenis ini dapat dihungkan secara langsung ke "Tahanan luar" guna keperluan pengasutan.

2.12 Pengaturan putar motor induksi ¹⁷

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 :

2.12.1 Pengubahan jumlah kutub

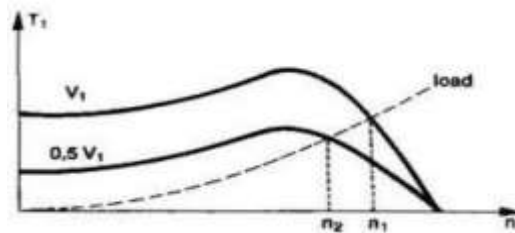
Kecepatan putar motor induksi ditentukan oleh frekuensi masukan dan jumlah kutub motor seperti yang dijelaskan pada persamaan 2.1

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

2.12.2 Pengubahan tegangan sumber

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

¹⁷ Zuhail. 1991. Dasar Tenaga Listrik. ITB, Bandung. Hlm.84

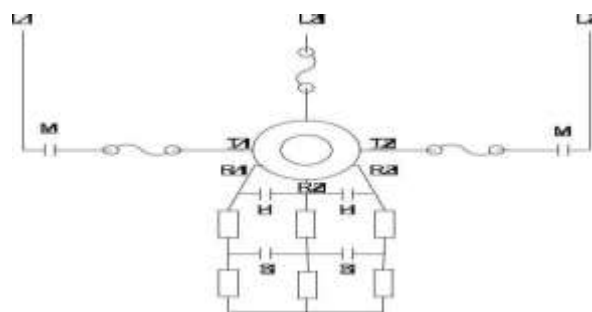


Gambar 2.10 Karakteristik Pengaturan Tegangan

2.12.3 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 2.11 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 2.11 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 efisiensinya 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.

2.12.4 Pengaturan Frekuensi¹⁸

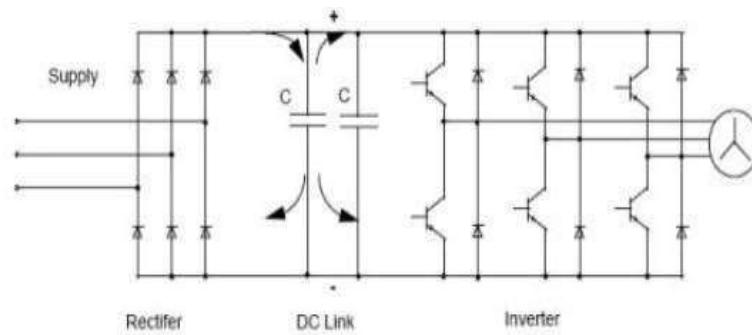
Pengaturan frekuensi untuk mengendalikan kecepatan motor induksi biasanya diikuti juga dengan pengaturan tegangan masuk V_1 yang sebanding dengan frekuensi tersebut karena untuk mendapatkan fluks ϕ konstan, diperlukan $V_1 \sim f$. Kecepatan putar motor induksi tiga fasa dapat diatur dengan mengubah 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 perubahan 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.

¹⁸ Variable Speed Drive <http://myvstain.blogspot.com/2011/06/variable-speed-drive-vsd-sistem.html> (diakses pada tanggal 20 Juni 2019)



Pengendalian frekuensi motor menggunakan rangkaian inverter dapat dilihat seperti pada gambar berikut:



Gambar 2.12 Blok Diagram VSD