



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Motor Listrik

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

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

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

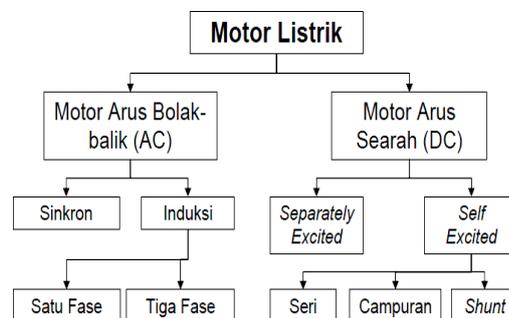
¹ I Nyoman Bagia & I Made Prasa, *Motor-motor listrik* (Kupang: CV. Rasi Terbit, 2018), hlm 1-2.



2.2. Pengertian Motor Listrik

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

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



Gambar 2.1. Klasifikasi jenis utama motor listrik

2.3. Fungsi dan Kegunaan Motor Listrik

Motor listrik dapat kita temukan di peralatan rumah tangga seperti: kipas angin, mesin cuci, blender, pompa air, mixer dan penyedot debu. Adapun motor listrik yang digunakan untuk kerja (industri) atau yang digunakan dilapangan seperti: bor listrik, gerinda, blower, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dan lain-lain.¹

¹ I Nyoman Bagia & I Made Prasa, op.cit., hlm 2-3



2.4. Jenis Jenis Motor Listrik

2.4.1. Hubungan Putaran Motor dengan Frekuensi

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

1. Motor Sinkron (Motor Serempak)

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

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

dimana:

n = Jumlah putaran per menit (rpm)

f = Frekuensi (Hz)

P = Jumlah kutub

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

2. Motor Asinkron

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

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

Dimana:

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

N_s = Kecepatan medan Putar stator (rpm)

N_r = Kecepatan medan Putar rotor (rpm)

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



2.4.2. Berdasarkan Cara Penerimaan Tegangan dan Arus

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

1. Motor yang rotornya menerima tegangan secara langsung

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

2. Motor Induksi

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

2.4.3. Berdasarkan Fasa yang digunakan

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

1. Motor satu fasa

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

2. Motor tiga fasa

Disebut motor tiga fasa karena untuk menghasilkan tenaga mekanik tegangan yang dimasukkan pada rotor tersebut adalah tegangan tiga fasa.⁴

⁴ Sumanto, op.cit., *hlm.2-3*.



2.5. Motor Listrik Arus Searah (Motor DC)

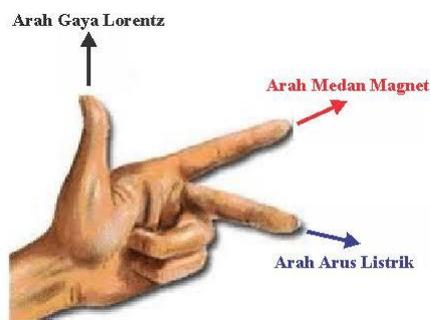
Motor listrik merupakan perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk, misalnya memutar impeller pompa, fan atau blower, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dll. Motor listrik digunakan juga di rumah (mixer, bor listrik, fan angin)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

Motor arus searah adalah suatu mesin yang berfungsi mengubah tenaga listrik arus searah menjadi tenaga gerak, tenaga gerak tersebut berupa putaran dari pada rotor. Motor arus searah pada jaman dahulu (sebelum di kenal menghasilkan tenaga mekanik berupa kecepatan atau berputaran).¹

2.5.1. Prinsip Kerja Motor DC

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

Untuk menentukan arah gaya dapat digunakan kaidah tangan kiri Flemming atau kaidah telapak tangan kiri. Gambar 1.2. melukiskan konstruksi kaidah tangan kiri Flemming.¹



Gambar 2.2. Kaidah tangan kiri *Flemming*

¹ I Nyoman Bagia & I Made Prasa, op.cit., hlm. 8.

¹ *Ibid.*, hlm. 14.



2.5.2. Bagian-Bagian Motor DC dan Fungsinya

1. Badan Motor Listrik

Fungsi utama dari badan motor adalah sebagai bagian tempat untuk mengalirnya fluks magnet yang dihasilkan kutub-kutub magnet, karena itu badan motor dibuat dari bahan ferromagnetik. Disamping itu badan motor ini berfungsi untuk meletakkan alat-alat tertentu dan melindungi bagian-bagian motor lainnya. Pada badan motor terdapat papan nama (*name plat*) yang bertuliskan spesifikasi umum atau data teknik dari motor. Papan nama tersebut untuk mengetahui beberapa hal pokok yang perlu diketahui dari motor tersebut. Selain papan nama badan motor juga terdapat kotak hubung yang merupakan tempat ujung-ujung penguat magnet dan lilitan jangkar.¹

2. Inti Kutub Magnet dan Lilitan Penguat Magnet

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

3. Sikat-Sikat

Fungsi utama dari sikat-sikat adalah untuk jembatan bagi aliran arus dari lilitan jangkar dengan sumber tegangan. Disamping itu sikat-sikat memegang peranan penting untuk terjadinya komutasi. Agar gesekan antara komutator-komutator dan sikat tidak mengakibatkan ausnya komutator, maka bahan sikat lebih lunak dari komutator. Biasanya dibuat dari bahan arang (*coal*).¹

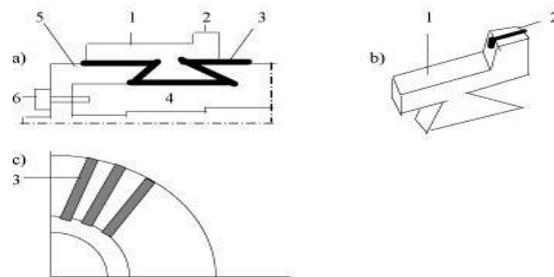
4. Komutator

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

1. Komutator bar merupakan tempat terjadinya pergesekan antara komutator dengan sikat-sikat.
2. Komutator riser merupakan bagian yang menjadi tempat hubungan komutator dengan ujung dari lilitan jangkar.

¹ I Nyoman Bagia & I Made Prasa, op.cit., hlm. 10.

¹ *Ibid.*, hlm. 11.



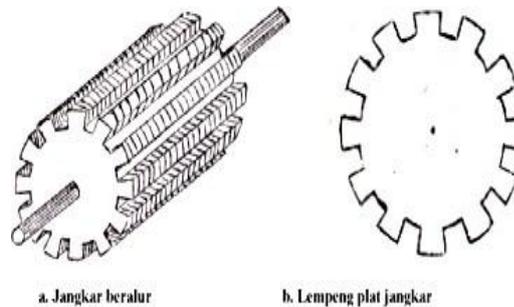
Gambar 2.3. Konstruksi sebuah komutator dari motor arus searah

Keterangan:

- a. Segmen Komutator
- b. Pemasangan Komutator
- c. Susunan Komutator
 1. Komutator Bar
 2. Riser
 3. Isolator
 4. Poros
 5. Ring Pengunci
 6. Baut¹
5. Jangkar (angker)

Umumnya jangkar yang digunakan dalam motor arus searah adalah berbentuk selinder dan diberi alur-alur pada permukaannya untuk tempat melilitkan kumparan-kumparan tempat terbentuknya GGL lawan. Seperti halnya pada inti kutub magnet, maka jangkar dibuat dari bahan berlapis-lapis tipis untuk mengurangi panas yang terbentuk karena adanya arus liar (Edy current). Bahan yang digunakan jangkar ini sejenis campuran baja silikon. Adapun konstruksinya dari jangkar tersebut dapat dilukiskan seperti gambar di bawah ini:

¹ I Nyoman Bagia & I Made Prasa, op.cit., hlm. 11-12.

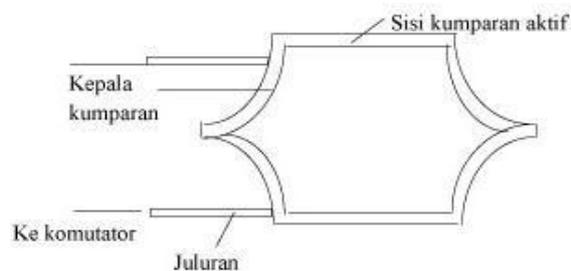


Gambar 2.4. Konstruksi Jangkar

6. Lilitan Jangkar (angker)

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

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

Gambar 2.5. Kumparan Jangkar¹

¹ I Nyoman Bagia & I Made Prasa, op.cit., hlm. 13-14.



2.6. Motor Listrik Arus Bolak-Balik (Motor AC)

Motor AC adalah sebuah motor listrik yang digerakkan oleh *Alternating Current* atau arus bolak balik (AC). Umumnya, motor AC terdiri dari dua komponen utama yaitu stator dan rotor. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya pada motor DC, stator adalah bagian yang diam dan letaknya berada di luar. Stator mempunyai coil yang di aliri oleh arus listrik bolak balik dan nantinya akan menghasilkan medan magnet yang berputar. Bagian yang kedua yaitu rotor. Rotor adalah bagian yang berputar dan letaknya berada di dalam (di sebelah dalam stator). Rotor bisa bergerak karena adanya torsi yang bekerja pada poros dimana torsi tersebut dihasilkan oleh medan magnet yang berputar.¹

2.6.1. Prinsip Kerja Motor AC

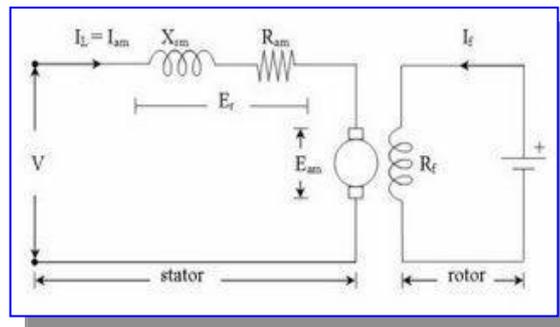
Adapun cara kerja motor sinkron yaitu bila kumparan stator atau armatur mendapatkan tegangan sumber bolak-balik (AC) 3 fasa, maka pada kumparan stator timbul fluks magnet putar. Fluks magnet putar ini setiap saat akan memotong kumparan stator, sehingga pada ujung-ujung kumparan stator timbul GGL armatur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

Pada motor DC, GGL armatur besarnya tergantung pada kecepatan putar rotor, sedangkan pada motor AC, GGL armatur besarnya tergantung pada faktor daya (PF) beban yang berupa kumparan stator. Untuk memperbesar kopel putar rotor (kecepatan putar rotor), kutub-kutub magnet yang terletak pada bagian rotor dililiti kumparan dan kumparan tersebut dialiri arus listrik DC dan arus ini disebut penguat (L_f). Dari kumparan rotor yang ikut berputar dengan kumparan stator (kecepatan sinkron) akan timbul fluks putar rotor yang bersifat reaktif terhadap

¹ I Nyoman Bagia & I Made Prasa, op.cit., hlm. 29.



fluks putar stator. Ini disebut reaktans pemagnet (X_M). Reaktans pemagnet bersama- sama dengan reaktans armatur (X_{am}) disebut reaktans motor sinkron (X_{sm}). Dengan demikian rangkaian listrik dari motor sinkron adalah seperti tertera pada gambar 2.6. berikut :



Gambar 2.6. Rangkaian Listrik Motor Sinkron

Dari gambar di atas berlaku persamaan:

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

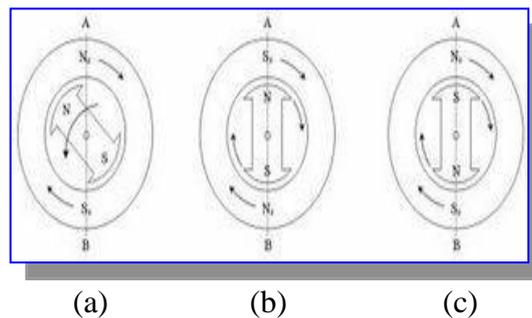
Keterangan:

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

Proses terjadinya perputaran rotor karena kumparan stator mendapat sumber arus AC 3 fasa, maka pada kumparan stator timbul fluks putar yang mempunyai kutub utara stator (N_s) dan kutub selatan (S_s). Andaikan saat awal fluks berputar searah jarum jam dengan kedudukan kutub utara stator pada titik A dan kutub selatan stator pada titik B, sedangkan kedudukan kutub- kutub magnet rotor yaitu kutub utara magnet pada titik A dan kutub selatan magnet pada titik B



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



Gambar 2.7. Proses Terjadinya Perputaran Motor

Pada setengah periode berikutnya (gambar c), kutub utara stator pada titik A sedangkan kutub selatan stator pada titik B, demikian juga kutub utara rotor pada titik A dan kutub selatan rotor pada titik B. Sehingga pada periode berikutnya, rotor akan berputar sinkron dengan arah perputaran fluks stator.¹

2.7. Motor Listrik Sinkron

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

¹ I Nyoman Bagia & I Made Prasa, op.cit., hlm. 29-31.



Komponen utama motor sinkron adalah:

- Rotor

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

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

2.7.1. Prinsip Kerja Motor AC Sinkron

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

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

Prinsip Motor Sinkron secara umum :

- Belitan medan terdapat pada rotor
- Belitan jangkar pada stator
- Pada motor sinkron, suplai listrik bolak-balik (AC) membangkitkan fluksi medan putar stator (B_s) dan suplai listrik searah (DC) membangkitkan

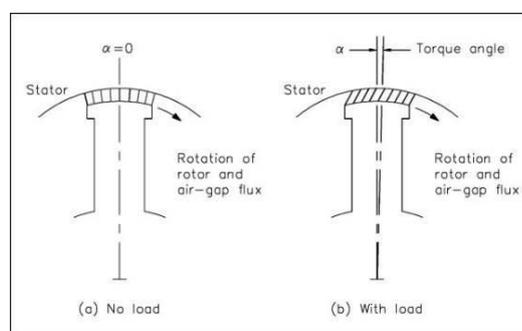


medan rotor (B_r). Rotor berputar karena terjadi interaksi tarik-menarik antara medan putar stator dan medan rotor. Namun dikarenakan tidak adanya torka-start pada rotor, maka motor sinkron membutuhkan prime-mover yang memutar rotor hingga kecepatan sinkron agar terjadi coupling antara medan putar stator (B_s) dan medan rotor (B_r).

2.7.2. Penyalaan Motor Sinkron

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

Seperti diketahui, rotor motor sinkron terkunci dengan medan putar dan harus terus beroperasi pada kecepatan sinkron untuk semua keadaan beban. Selama kondisi tanpa beban (*no-load*), garis tengah kutub medan putar dan kutub medan dc berada dalam satu garis (gambar dibawah bagian a). Seiring dengan pembebanan, ada pergeseran kutub rotor ke belakang, relative terhadap kutub stator (gambar bagian b). Tidak ada perubahan kecepatan. Sudut antara kutub rotor dan stator disebut sudut torque.



Gambar 2.8. sudut *torque* (*torque angle*)



Jika beban mekanis pada motor dinaikkan ke titik dimana rotor ditarik keluar dari sinkronisasi $\varepsilon = 90^\circ$, maka motor akan berhenti. Harga maksimum torque sehingga motor tetap bekerja tanpa kehilangan sinkronisasi disebut *pull-out torque*.¹

2.8. Motor Listrik Induksi

Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak balik (AC) yang paling luas digunakan. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa motor ini bekerja berdasarkan induksi medan magnet stator ke statornya, dimana arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (*rotating magnetic field*) 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-fase dan motor induksi 1-fase. Motor induksi 3-fase dioperasikan pada sistem tenaga 3-fase dan banyak digunakan di dalam berbagai bidang industri dengan kapasitas yang besar. Motor induksi 1-fase dioperasikan pada sistem tenaga 1-fase dan banyak digunakan terutama untuk peralatan rumah tangga seperti kipas angin, lemari es, pompa air, mesin cuci dan sebagainya karena motor induksi 1-fase mempunyai daya stator

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

¹ I Nyoman Bagia & I Made Prasa, op.cit., hlm. 31-34.

Gambar 2.9. Motor Listrik Induksi¹

Motor induksi sering digunakan dikalangan Industri, ini berkaitan dengan beberapa keuntungan dan kerugian dari penggunaan Motor Induksi.

- Keuntungan
 1. Sangat sederhana dan daya tahan kuat (konstruksi hampir tidak pernah terjadi kerusakan, khususnya tipe squirrel cage).
 2. Harga relatif murah dan perawatan mudah.
 3. Efisiensi tinggi, pada kondisi berputar normal, tidak dibutuhkan sikat dan karenanya rugi daya yang diakibatkan dapat dikurangi.
 4. Tidak memerlukan starting tambahan dan tidak harus sinkron.
- Kerugian
 1. Kecepatan tidak dapat berubah tanpa pengorbanan efisiensi.
 2. Tidak seperti motor DC atau Motor *Shunt*, kecepatannya menurun seiring dengan bertambahnya beban.
 3. Kopel awal mutunya rendah dibandingkan dengan motor DC *Shunt* ²

2.8.1. Prinsip Kerja Motor Induksi

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

1. Apabila catu daya arus bolak-balik tiga fasa dihubungkan pada kumparan stator (jangkar) maka akan timbul medan putar
2. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor

¹ I Nyoman Bagia & I Made Prasa, op.cit., hlm. 34-35.

² Yon rijono, *Dasar Teknik Tenaga Listrik* (yogyakarta: Andi Offset,2004)hlm. 310-311



3. Akibatnya pada kumparan rotor akan timbul tegangan induksi (GGL) sebesar :

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

Dimana :

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

N^2 = Putaran rotor (Rpm)

f^2 = Frekuensi rotor (Hz)

ϕ_m = Fluks motor (Wb)

4. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian tertutup maka E^2_s akan menghasilkan arus (I).
5. Adanya arus (I) dalam medan magnet akan menimbulkan gaya F pada rotor.
6. Bila kopel awal yang dihasilkan oleh gaya F pada rotor cukup besar untuk menggerakkan beban, maka rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.
7. Tegangan induksi terjadi karena terpotongnya konduktor rotor oleh medan putar, artinya agar terjadi tegangan induksi maka diperlukan adanya perbedaan kecepatan medan putar stator (N_s) dengan kecepatan medan putar rotor (N_r).
8. Perbedaan kecepatan antara N_s dan N_r disebut Slip (S)
9. Bila $N_r = N_s$ maka tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak akan mengalir, dengan demikian kopel tidak akan ada dan motor tidak berputar, kopel motor akan ada kalau ada perbedaan antara N_r dengan N_s . $N_r < N_s$.⁶

2.8.2. Konstruksi Motor Induksi

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

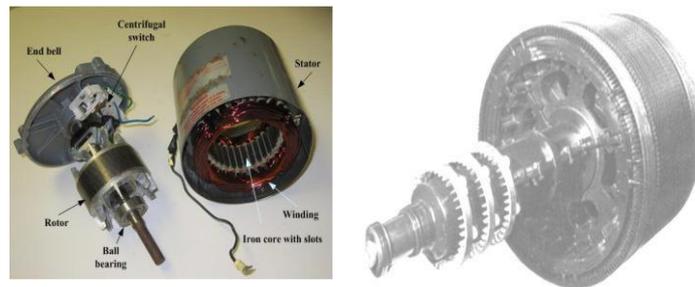
1. Stator : Merupakan bagian yang diam dan mempunyai kumparan yang dapat menginduksikan medan elektromagnetik kepada kumparan rotornya.
2. Celah : Merupakan celah udara: Tempat berpindahnya energi dari startor

⁶ Mochtar Wijaya, *Dasar-Dasar Mesin Listrik* (Jakarta: Djambatan, 2001), hlm. 157-160.



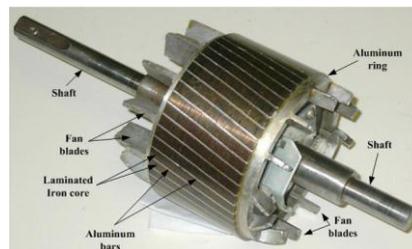
kerotor.

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



Gambar 2.10. Rotor dan Stator Motor Induksi

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



Gambar 2.11. konstruksi rotor sangkar motor induksi

Konstruksi stator motor induksi pada dasarnya terdiri dari bagian-bagian sebagai berikut:

1. Rumah stator (rangka stator) dari besi tuang.
2. Inti stator dari besi lunak atau baja silikon.
3. Alur, bahannya sama dengan inti, dimana alur ini merupakan tempat meletakkan belitan (kumparan stator).
4. Belitan (kumparan) stator dari tembaga.



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

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

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

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

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

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

Diantara stator dan rotor terdapat celah udara yang merupakan ruangan antara stator dan rotor. Pada celah udara ini lewat fluks induksi stator yang memotong kumparan rotor sehingga menyebabkan rotor berputar. Celah udara yang terdapat antara stator dan rotor diatur sedemikian rupa sehingga didapatkan hasil kerja motor yang optimum. Bila celah udara antara stator dan rotor terlalu besar akan mengakibatkan efisiensi motor induksi rendah, sebaliknya bila jarak antara celah terlalu kecil/sempit akan menimbulkan kesukaran mekanis pada mesin.³¹

¹ I Nyoman Bagia & I Made Prasa, op.cit., hlm. 35-37.



2.8.3. Pengasutan Motor Induksi

Saat motor induksi di starting secara langsung, arus awal motor besarnya antara 500% sd 700% dari arus nominal. Ini akan menyebabkan drop tegangan yang besar pada pasokan tegangan PLN. Untuk motor daya kecil sampai 5 KW, arus starting tidak berpengaruh besar terhadap drop tegangan. Pada motor dengan daya diatas 30 KW sampai dengan 100 KW akan menyebabkan drop tegangan yang besar dan menurunkan kualitas listrik dan pengaruhnya pada penerangan yang berkedip.

Pengasutan motor induksi adalah cara menjalankan pertama kali motor, tujuannya agar arus starting kecil dan drop tegangan masih dalam batas toleransi. Ada beberapa cara teknik pengasutan, diantaranya :

1. Hubungan langsung (*Direct On Line = DOL*)
2. Tahanan depan Stator (*Primary Resistor*)
3. Transformator
4. Segitiga-Bintang (*Start-Delta*)
5. Pengasutan *Soft starting*
6. Tahanan Rotor lilit³

2.8.4. Putaran Motor Induksi

Motor induksi memiliki dua arah putaran motor, yaitu putaran searah jarum jam (kanan) gambar 2.11, dan putaran berlawanan jarum jam (kekiri) dilihat dari poros motor. Putaran motor induksi tergantung jumlah kutubnya, motor induksi berkutub dua memiliki putaran poros sekitar 2.950 Rpm, yang berkutub empat memiliki putaran poros mendekati 1450 Rpm.

Putaran arah jarum jam (kanan) didapat dengan cara menghubungkan L1-terminal U, L2-terminal V dan L3 – terminal W. Putaran arah berlawanan jarum jam (kiri) didapat dengan menukarkan salah satu dari kedua kabel fasa, misalkan L1-terminal U, L2-terminal W dan L3-terminal V.

Dengan memasang dua buah kontaktor, sebuah motor induksi dapat dikontrol untuk putaran kanan, dan putaran kekiri. Aplikasi praktis untuk membuka dan

³ Siswoyo, *Teknik Listrik Industri jilid 2* (Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, 2008), hlm. 10-11



menutup pintu garasi dengan motor induksi dapat memanfaatkan kaidah putaran kanan dan kiri ini, dengan melengkapi dengan sensor cahaya atau saklar manual motor dapat dihidupkan untuk membuka dan menutup pintu garasi.



Gambar 2.12. Arah putaran motor induksi³

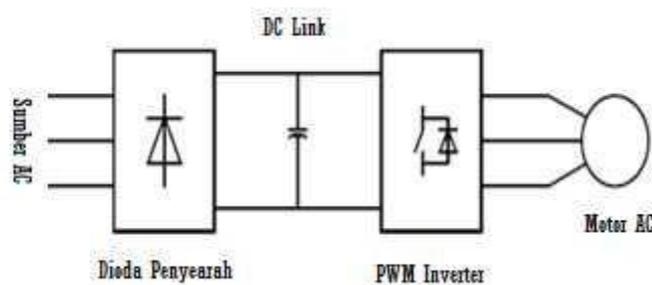
³ Siswoyo, op.cit., hlm. 9



2.9. Inverter

Inverter merupakan alat untuk mengatur kecepatan putaran motor dengan cara mengubah frekuensi listrik sesuai dengan kecepatan motor yang diinginkan. Secara sederhana prinsip dasar dari inverter (Variable Frequency Drive) adalah mengubah input motor listrik AC menjadi DC dan kemudian dijadikan AC lagi dengan frekuensi yang dikehendaki sehingga motor dapat dikontrol sesuai dengan kecepatan yang diinginkan.

Variabel Speed Drive atau Variable Frequency Drive atau disingkat dengan inverter adalah solusi bagi aplikasi yang membutuhkan kemampuan pengaturan motor lebih lanjut, misal: pengaturan putaran motor sesuai bebannya atau sesuai nilai yang kita inginkan. Penggunaan inverter bisa untuk aplikasi motor DC maupun AC



Gambar 2.13. Bagian Utama Dari Inverter

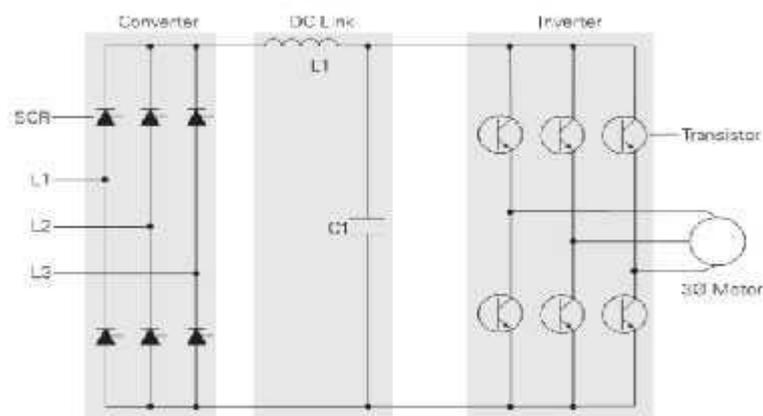
2.10. Jenis-Jenis Inverter

2.10.1. Variabel Voltage Inverter

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.

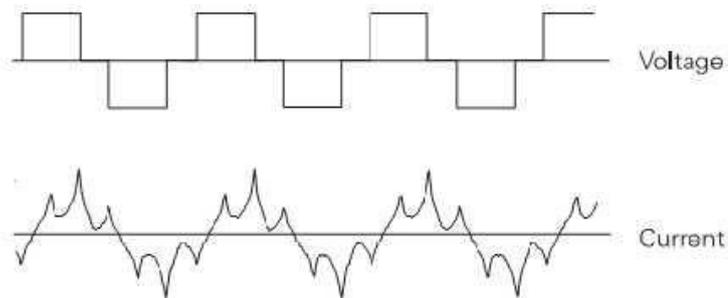


Bagian inverter sendiri terdiri dari kumpulan divais penyaklaran seperti: thyristor, transistor bipolar, MOSFET, atau IGBT. Gambaran berikut menunjukkan inverter yang menggunakan transistor bipolar. Pengatur logika, biasanya dalam bentuk kartu elektronik, yang memiliki komponen utama sebuah mikroprosesor akan mengatur kapan waktu transistor-transistor inverter hidup atau mati untuk menghasilkan tegangan dan frekuensi yang bervariasi untuk dilanjutkan ke motor sesuai bebannya.



Gambar 2.14. Tegangan Variabel Inverter Sirkuit

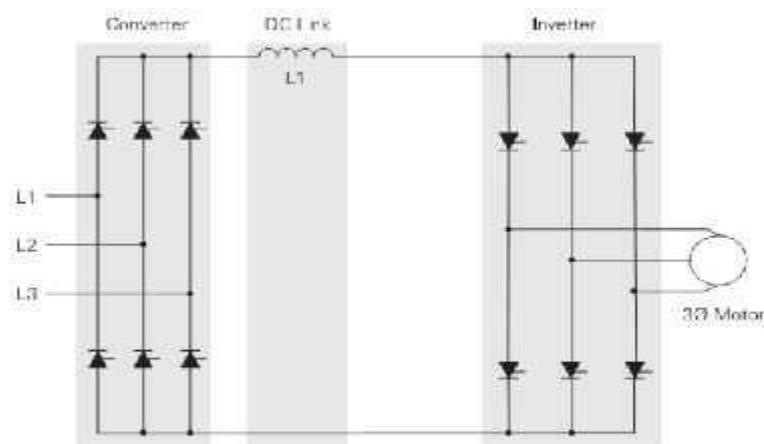
Tipe inverter ini menggunakan enam langkah untuk menyelesaikan satu putaran 360° (6 langkah masing-masing 60°). Oleh karena hanya enam langkah, inverter jenis ini memiliki kekurangan yaitu torsi yang pulsatif (peningkatan/penurunan nilai yang mendadak) setiap penyaklaran terjadi. Dan ini dapat ditemui 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.



Gambar 2.15. Gelombang Output Inverter Tegangan

2.10.2. Current Source Inverter (CSI)

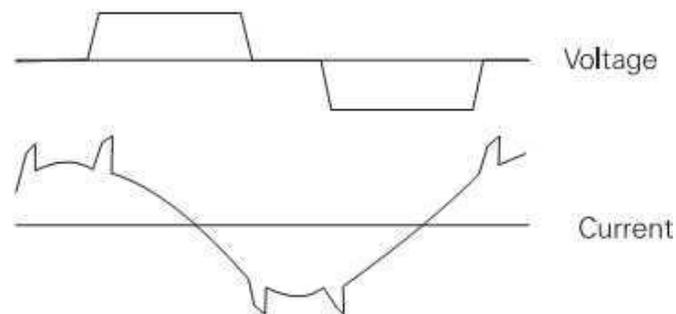
Jenis inverter satu ini menggunakan SCR untuk menghasilkan tegangan DC- link yang bervariasi untuk suplai ke bagian inverter yang juga terdiri dari SCR untuk menyaklarkan keluaran ke motor. Beda dengan VVI yang mengontrol tegangan, CSI justru mengontrol arus yang akan disuplai ke motor. Karena inilah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



Gambar 2.16. Sumber Arus Inverter



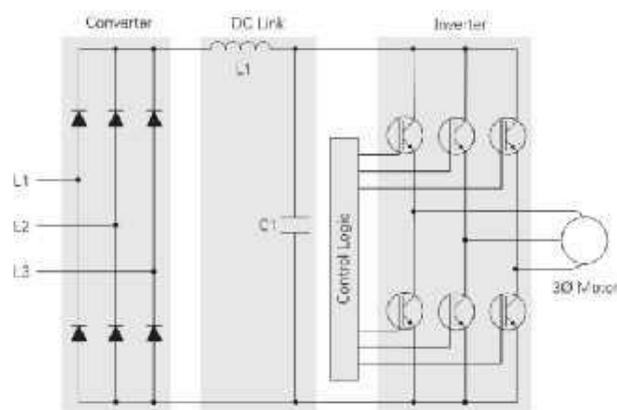
Percikan arus akibat proses penyaklaran dapat dilihat pada keluaran jika kita mengukurnya menggunakan *oscilloscope*. Pada kecepatan rendah sifat arus yang pulsatif dapat mengakibatkan motor tersendat 'cog'.



Gambar 2.17. Gelombang Output Inverter Sumber Arus

2.10.3. Pulse Width Modulation (PWM)

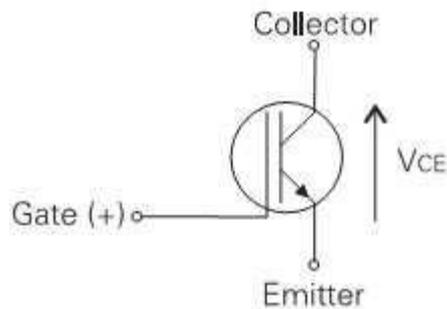
Teknik penyaklaran satu ini memberikan output yang lebih sinusoidal dibandingkan dua jenis inverter sebelumnya. Drive yang menggunakan PWM terbukti lebih efisien dan memberikan tingkat performa yang lebih tinggi. Sama seperti VVI, sebuah PWM juga terdiri atas rangkaian konverter, DC link, *control logic*, 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 2.18. Skema Dasar PWM

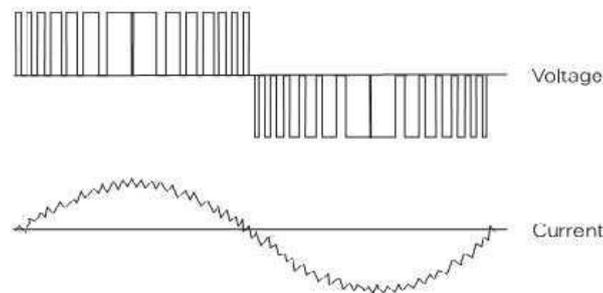


Untuk bagian inverter, rangkaian PWM di atas menggunakan divais elektronika daya “Insulated Gate Bipolar Transistor” (IGBT). IGBT memiliki kemampuan penyaklaran yang sangat tinggi hingga ribuan kali per detik dimana dapat aktif kurang dari 400 nano detik dan mati dalam waktu 500 nano detik. IGBT dibangun 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 2.19. Gerbang Transistor Bipolar

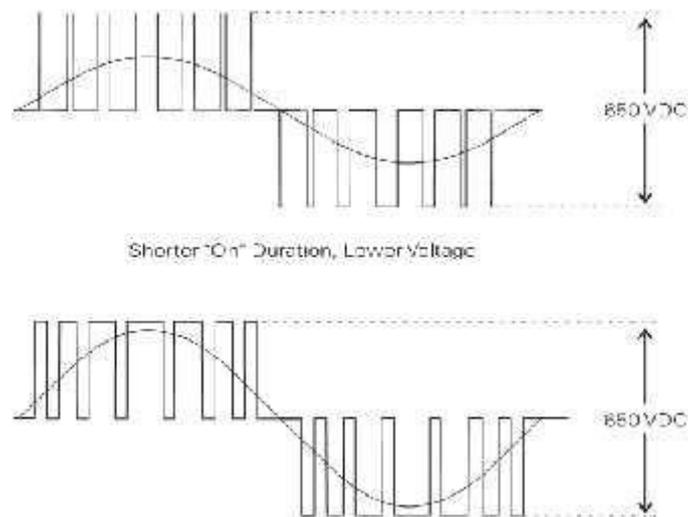
Berikut gambaran gelombang keluaran inverter PWM.:



Gambar 2.20. Gelombang PWM



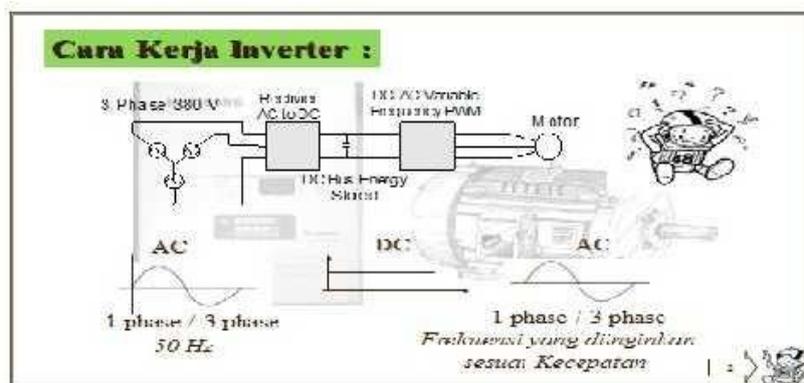
Sebagai catatan, amplituda tegangan dapat kita mainkan dengan mengatur durasi hidupnya. Untuk frekuensi rendah yang membutuhkan tegangan rendah, durasi ini akan diperpendek hingga pembentukan arus dan tegangan motor akan lambat. Dengan memperpanjang durasi penyaklaran, pembentukan arus dan tegangan akan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



Gambar 2.21. Gelombang Untuk Mengendalikan Amplitudo Tegangan PWM



2.11. Prinsip Kerja Inverter

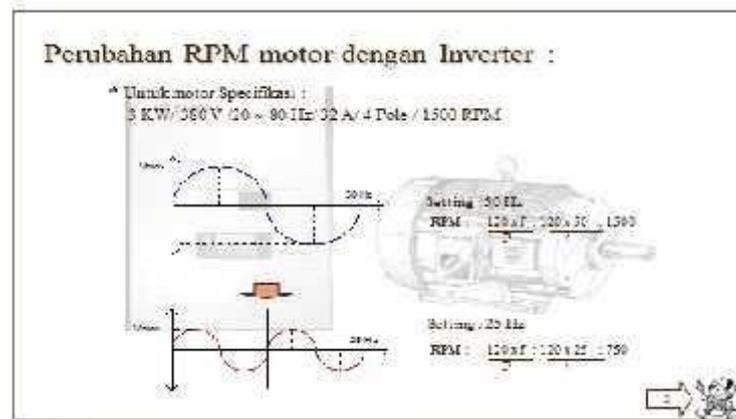


Gambar 2.22. Prinsip Kerja Sederhana Inverter

Dari gambar di atas terdapat Rectifier yang berfungsi sebagai penyerah untuk menghilangkan ripple current (arus riak) akibat proses penyerahan yang masih terdapat arus AC digunakan Filter. Filter ini mampu membentuk gelombang tegangan keluarannya bisa menjadi rata.

Prinsip kerja inverter dari gambar di atas 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 ke di jadikan DC.
2. Tegangan DC kemudian diumpamakan 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 tengangan dan frekuensi yang diinginkan.



Gambar 2.23 Perubahan RPM Motor dengan Menggunakan Inverter

Gambar diatas merupakan perubahan motor dengan inverter yaitu adanya perubahan frekuensi yang berfungsi sebagai pengatur kecepatan pada motor. Untuk pemasangan inverte sebaiknya juga dipasang unit pengaman hubung singkat seperti seconduktur fuse atau bisa juga breaker. Ini seperti pada pemasangan softstater saja tanpa contractor bypass.

Pengontrolan start, stop, jogging dll bisa dilakukan dengan dua cara yaitu via local dan remote. Local maksudnya adalah dengan menekan tombol pada keypad di inverternya. Sedangkan remote dengan menghubungkan terminal di board control dengan tombol external seperti push button atau switch. Masing masing option tersebut mempunyai kelemahan dan keunggulan sendiri sendiri.

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 (*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 Suply 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 inertiya 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.

Jika beban motor memiliki inertiya 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 inertiya beban harus dibuang. Untuk perlambatan (pengereman) maka energi akan dikembalikan ke sumbernya. Jadi energi yang kembali akan masuk ke dalam DC Bus Inverter dan terakumulasi 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.

Pada penggunaan soft starter hanya untuk soft starting alias mengurangi lonjakan arus awal pada motor-motor besar tapi soft starter tidak bisa mengendalikan kecepatan motor seperti yang dilakukan inverter. Signal-signal dari inverter yang ditarik secara Hardwired ke PLC untuk signal digital seperti Start (Forward, Reverse), Stop, Ready, Run, Overload/Fault, dan untuk signal



analog seperti set point RPM dan ampere motor. Tapi kebanyakan inverter sudah support untuk hubungan komunikasi modbus, sehingga lebih memudahkan kita dalam pengontrolan dan memonitoringnya.⁵

⁵ Utami Tanudjaja, “pengertian dasar Inverter” <http://docplayer.info/33347240-gambar-2-1-bagian-utama-dari-inverter-1.html> (diakses pada 30 juni 2019, pukul 22.10)