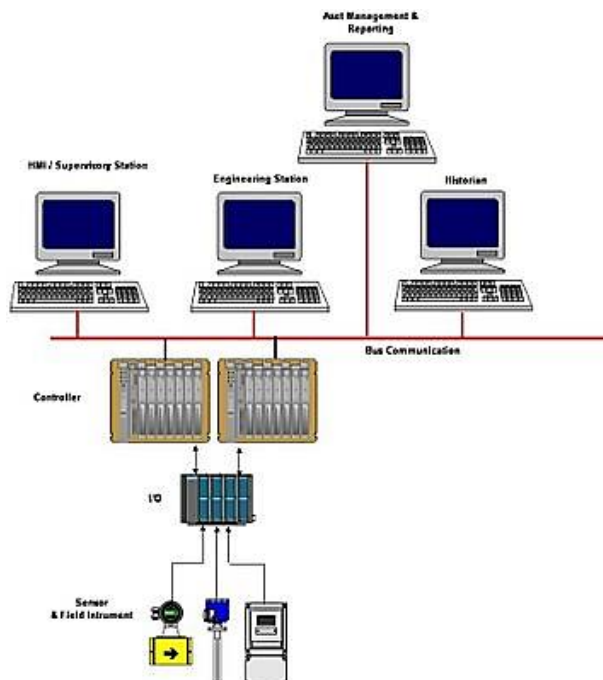


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 *Distributed Control System (DCS)*

*Distributed Control System (DCS)* adalah sistem kontrol terkomputerisasi untuk proses atau pabrik biasanya dengan banyak loop kontrol, di mana kontroler otonom didistribusikan ke seluruh sistem, tetapi tidak ada kontrol pengawasan operator pusat. Ini berbeda dengan sistem yang menggunakan pengontrol terpusat baik pengontrol terpisah yang terletak di ruang kontrol pusat atau di dalam komputer pusat. Konsep DCS meningkatkan keandalan dan mengurangi biaya pemasangan dengan melokalisasi fungsi kontrol didekat pabrik proses, dengan pemantauan dan pengawasan jarak jauh.



**Gambar 2.1** Distributed Control System (DCS)

##### 2.1.1 Fungsi DCS

Sistem kendali terdistribusi banyak diaplikasikan pada suatu proses industri yang mempunyai karakteristik berupa proses yang kontinu atau *batch*. Pada proses kontinu, besaran atau parameter kontrol bersifat data yang secara



terus-menerus mengalami perubahan seiring dengan perubahan parameter kontrolnya. Contoh dari proses kontinu di industri adalah pada industri pembangkitan energi listrik baik PLTA, PLTU, PLTD, PLTG, PLT Panas Bumi dan lain-lain. Industri pembangkit tenaga listrik beroperasi secara terus menerus sepanjang waktu, 24 jam sehari, 7 hari seminggu. Karena proses berlangsung secara terus-menerus maka diperlukan sistem kontrol proses yang baik sepanjang waktu. Industri semacam ini sangat bergantung pada keandalan proses produksinya untuk menjamin kualitas produk dan jasanya.

Dibutuhkan sistem kontrol yang mampu bekerja secara kontinu dengan tingkat keandalan yang tinggi. Oleh karena itu sistem kendali terdistribusi berfungsi sebagai sistem kendali yang bertujuan untuk mencapai dan mempertahankan suatu *variable* proses pada nilai tertentu secara terus-menerus.

1. DCS berfungsi sebagai alat untuk melakukan kontrol suatu *loop* sistem di mana satu *loop* bisa terjadi beberapa proses kontrol.
2. DCS berfungsi sebagai pengganti alat-alat kontrol manual dan auto yang terpisah-pisah menjadi suatu kesatuan sehingga lebih mudah untuk pemeliharaan dan penggunaannya.
3. DCS berfungsi sebagai sarana pengumpul data dan pengolah data agar didapat suatu proses yang benar-benar diinginkan.

### 2.1.2 Komponen DCS<sup>[7]</sup>

#### 1. *Human Interface Station (HIS)*

*Operator Station* digunakan untuk melakukan monitoring terpusat proses dari *control room*, menyajikan informasi *plan* terkini kepada operator melalui *graphical user interface (GUI)*, sehingga operator dapat melakukan fungsi operasi, *maintenance*, *troubleshooting*, dan *engineering*.

Pengembangan *variable* proses, parameter kontrol, alarm, dll. Seorang operator dapat menginstal dan menjalankan fungsi operasi dan monitoring bersama-sama dengan fungsi *engineering* dalam HIS yang sama atau berbeda.

---

<sup>[7]</sup> 2018, "Mengenal Komponen Pada DCS (Distributed Control System), <https://www.duniapembangkitlistrik.com/2018/10/mengenal-komponen-pada-dcs-distributed.html>, diakses pada 21 April 2021.



Dalam aplikasinya, terdapat 2 jenis HIS, yaitu:

**a. HIS Type Console**

HIS *type console* adalah jenis baru dari *human machine interface* yang dapat memanfaatkan teknologi PC terbaru. HIS jenis ini dapat terdiri dari LCD ganda ditumpuk, fungsi panel sentuh, *keyboard* operasi delapan-*control-key*, dan tambahan *control I/O*.

Pada HIS *type console* terdapat 2 pilihan, yaitu *enclosed display* dan *open display*. Pemilihan 2 tipe ini tergantung dari kebutuhan di lapangan setiap industri itu sendiri. Berikut adalah wujud dari *enclosed display style HIS type console* dan *open display style HIS type console*.



**Gambar 2.2** HIS Type Console

**b. HIS Type Desktop**

HIS jenis ini menggunakan *general purpose PC*. HIS *type desktop* mempunyai *operation keyboard* yang membantu operator atau *user* untuk memberikan *input* ke PC. *Operation keyboard* yang anti debu dan tumpahan ini mempunyai tombol *flat* atau *flat keys* yang hanya memberikan operasi satu kali sentuh (*one-touch operation*).



**Gambar 2.3** HIS Type Desktop



## 2. *Field Control Station (FCS)*

Komponen ini dapat dikatakan bagian utama dari DCS itu sendiri. FCS adalah *central control* atau disebut juga sebagai *mastermind* dari kontrol keseluruhan DCS.

FCS berfungsi sebagai pusat yang menghubungkan *input* atau *output* dari instrumen lapangan yang dapat dipantau atau dikontrol melalui HIS. FCS memiliki beberapa komponen yang disimpan dalam kabinet atau rak besar dan dapat ditemukan di *control room*. Akan tetapi terdapat pula FCS yang disimpan di *field*, seperti FCS milik vendor Yokogawa dengan tipe *remote input output (RIO)*.

Berikut adalah beberapa komponen dari FCS:

### a. *Central Processing Unit (CPU)*

Komponen ini adalah *central processing unit* yang melakukan perhitungan dan fungsi kontrol. CPU memiliki kinerja tinggi dan mikroprosesor ganda. Dalam CPU juga terdapat baterai untuk pensuplai cadangan untuk memori database dalam prosesor selama listrik mati /apabila terjadi gangguan listrik/mati lampu. Maksimum waktu back-up sampai 72 jam.

### b. *Power Supply*

*Power supply* berfungsi memberikan *power* pada FCS.

### c. **Nodes (Remote I/O Units)**

Node menghubungkan sinyal I/O dari lapangan, melakukan konversi sinyal dan berkomunikasi dengan FCU melalui bus RIO. Node terdiri dari I/O unit yang terhubung ke sinyal lapangan dan subsistem, serta node interface units yang berfungsi berkomunikasi dengan FCU.

**d. I/O Units**

I/O unit terdiri dari I/O modul. I/O modul memproses sinyal dari lapangan baik dari atau ke FCU.

**e. Analog I/O Modules**

Modul-modul analog ini dapat memproses sinyal I/O ke atau dari berbagai sumber. Module–module ini adalah modul dengan tingkat keandalan tinggi, dengan masing-masing modul didedikasikan untuk memproses sinyal tunggal, untuk *high system availability*.

**f. Digital I/O Modules**

Selain dapat memproses status atau digital I/O biasa, modul ini mampu menghitung *input pulse*, memberikan *pulse-width outputs*. Modul *input* mengkonversi *input* sinyal proses analog menjadi data digital sehingga FCS dapat memprosesnya. Modul *output* mengkonversi data digital dari FCS menjadi sinyal analog dan sinyal *contact* lalu menghasilkan *output* data.

**g. Communications Modules**

Modul komunikasi ini dapat mensupport RS-232C, RS-422/485, Vnet, Ethernet, dan juga lainnya, serta protocol untuk berkomunikasi dengan subsystems seperti PLC, dapat didownload ke modul tersebut.

**h. Fieldbus Communications Modules**

Modul ini berfungsi sebagai *interface* dengan komunikasi *fieldbus*. *Fieldbus* adalah komunikasi *digital*, *bidirectional* dan *multi-drop* di mana langsung terhubung dari *field devices* ke *control systems* dan juga menggantikan komunikasi konvensional 4-20 mA. Spesifikasi komunikasi *fieldbus* yang digunakan di industri telah distandarkan oleh *fieldbus foundation*.



### 2.1.3 Prinsip Kerja DCS

1. Mengumpulkan data yang diterima dari lapangan

Pengumpulan data dilakukan oleh sensor-sensor yang dipasang pada sistem DCS. Sensor adalah bagian dari sistem DCS yang berfungsi untuk mendeteksi kondisi di suatu proses industri seperti: *temperature*, tekanan atau *pressure*, aliran fluida (*flow*), level ketinggian cairan fluida, *ph* suatu cairan, kelembaban, kandungan mineral, kecepatan putar dan besaran-besaran fisik lainnya pada suatu proses industri. Sensor pada umumnya menyatu dengan komponen *transduser* dan *transmitter*, di mana hasil kerja sensor kemudian diubah oleh *transduser* menjadi besaran standar dan kemudian dikirimkan oleh *transmitter* menuju ke komponen utama yaitu *controller*.

2. Mengolah data tersebut menjadi sebuah *signal* standar

Proses produksi yang berlangsung di industri mempunyai karakteristik yang bermacam-macam. Peralatan yang digunakan juga mempunyai teknologi yang kadang berbeda. Ada beberapa macam *signal* yang digunakan dalam sistem industri yaitu:

- Peralatan hidrolik
- Peralatan *pneumatic*
- Peralatan *elektrik analog*
- Peralatan *elektronik digital*

Untuk mengintegrasikan dari berbagai macam peralatan yang ada, dibutuhkan *standard signal* dalam sistem DCS. Penggunaan *standard signal* ini berkaitan dengan komunikasi antar bagian dalam sistem DCS.

3. Mengolah data sinyal standar yang didapat dengan sistem pengontrolan yang berlaku sehingga bisa diterapkan untuk mendapatkan nilai yang cocok untuk koreksi *signal*.

Langkah selanjutnya adalah melakukan proses pengolahan sinyal



yang sudah standar oleh komponen *controller* pada DCS. Komponen inilah yang melakukan proses penerimaan sinyal masukan dari proses produksi yang dikirimkan oleh *transmitter* dalam bentuk sinyal yang sudah standar dan selanjutnya dilakukan proses lebih lanjut untuk mendapatkan hasil proses yang diinginkan atau sesuai dengan *set point*.

4. Bila terjadi *error* atau simpangan data maka dilakukan koreksi dari data yang didapat guna mencapai nilai standar yang dituju. *Controller* akan melakukan pengecekan terhadap masukan dari proses produksi yang dikirim oleh sensor melalui *transmitter* dan akan dibandingkan dengan *set point*. *Controller* akan membandingkan kondisinya nyata dalam proses produksi yang diukur melalui sensor dan dikirim datanya oleh *transmitter* dengan *set point* yang telah ditentukan oleh *engineer*. Hasil perbandingan ini yang disebut dengan *error* atau kesalahan. Kesalahan inilah yang akan diperbaiki oleh *controller* agar proses dapat dikendalikan secara otomatis oleh sistem kontrol.
  
5. Setelah terjadi koreksi dari simpangan data dilakukan pengukuran atau pengumpulan data ulang dari lapangan. Proses pengukuran besaran fisik proses produksi dilakukan secara terus-menerus selama proses berlangsung sehingga secara kontinu proses produksi dapat dimonitor dan dikontrol agar menghasilkan keluaran sesuai yang diharapkan. Proses sampling pengiriman data oleh sensor tergantung pada kebutuhan apakah 1 detik sekali, 5 detik, 10 detik, 20 detik, 1 menit atau bahkan lebih dari 1 menit. Inilah proses yang disebut dengan pengendalian proses secara *real time*. Pengertian *real time* tidak harus *delay* sama dengan nol atau setiap terjadi perubahan parameter proses langsung dikirim, karena hal ini dilakukan sesuai dengan kebutuhan. Semakin sering data dikirim, maka konsekuensinya data pada system DCS akan semakin besar.



## 2.2 Variable Frequency Drive (VFD)

*Variable frequency drive* atau bisa disebut inverter merupakan sebuah alat pengatur kecepatan putaran 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 diinginkan atau sesuai dengan kebutuhan, namun dengan kemampuan torsi (*Torque*) motor listrik yang tetap dan meminimalkan lonjakan arus *start* motor listrik. 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. Sebuah *variabel frequency drive* adalah suatu sistem untuk mengendalikan kecepatan rotasi motor listrik arus bolak-balik (AC) dengan mengendalikan frekuensi listrik yang diberikan ke motor. VFD juga dikenal sebagai *adjustable frekuensi drive* (AFD), *variable speed drive* (VSD), *AC drive*, *microdrives* atau *inverter drive*.

Hubungan frekuensi listrik dengan kecepatan putaran (RPM) motor listrik sangat dipengaruhi oleh besaran frekuensi listrik yang digunakan untuk mengoperasikan motor listrik tersebut. Semakin tinggi frekuensi listrik yang menyuplai suatu motor listrik, maka akan semakin besar kecepatan putaran (RPM) motor listrik tersebut.

Rumus kecepatan putaran motor listrik AC :

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

Keterangan:

$N_s$  = Kecepatan putaran motor (RPM)

$F$  = Frekuensi listrik (Hz)

120 = Konstanta

$P$  = Jumlah kutub motor (*pole*)

Catatan: <sup>[8]</sup>

Motor Listrik 2-P, frekuensi 50 Hz, maka RPM = 3000.

Motor Listrik 4-P, frekuensi 50 Hz, maka RPM = 1500.

Motor Listrik 6-P, frekuensi 50 Hz, maka RPM = 1000.

<sup>8</sup> 2017, "Mengenal istilah pole pada motor listrik, beda motor 2p, 4p, 6p" <https://www.yanmarpekanbaru.com/berita/2/2-mengenal-istilah-pole-pada-motor-listrik-beda-motor-2p4p6p-berikut-penjelasan-nya/>, diakses pada 21 April 2021.

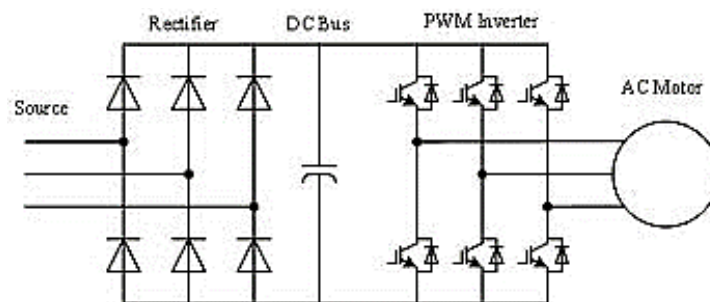




Kecepatan putaran (RPM) motor AC sama dengan frekuensi dikali 120 dibagi jumlah kutub medan magnet gulungan motor listrik AC tersebut.

Untuk mengubah tegangan AC menjadi DC dibutuhkan penyearah (*converter AC-DC*) dan biasanya menggunakan penyearah tidak terkendali (*rectifier diode*) 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 (DC bus) sebagai perata tegangan. Kemudian tegangan DC diubah menjadi tegangan AC kembali oleh inverter dengan teknik *pulse width modulation* (PWM). 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 kalau 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).

### 2.2.1 Bagian-bagian dalam VFD



**Gambar 2.4** Diagram Variable Frequency Drive (VFD)

#### 1. Rectifier

*Rectifier* merupakan bagian dari rangkaian *power supply* atau catu daya yang berfungsi untuk mengubah arus AC menjadi arus DC. Istilah *rectifier* disebut juga dengan penyearah gelombang, yang berarti mengubah gelombang arus bolak-balik (AC) menjadi gelombang arus searah (DC).



*Rectifier* ada dua jenis sistem penyearah, yaitu:

a. Penyearah tak terkontrol

Penyearah yang merubah tegangan AC tetap menjadi tegangan DC tetap.

b. Penyearah terkontrol

Penyearah yang merubah tegangan AC tetap menjadi tegangan DC variabel.

Rangkaian *rectifier* atau penyearah gelombang ini pada umumnya menggunakan diode 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 diode tersebut hanya akan melewatkan setengah gelombang, sedangkan setengah gelombangnya lagi diblokir. Untuk lebih jelas lihat gambar dibawah ini:



**Gambar 2.5** Gelombang Input/Output Rectifier

## 2. DC link

DC link atau DC bus (*Capacitor bank*) merupakan bagian dari VFD yang berfungsi untuk mendapatkan tegangan arus searah (DC) yang konstan atau tetap.

## 3. Inverter<sup>[5]</sup>

Inverter adalah suatu rangkaian yang mampu mengubah tegangan DC menjadi AC. Ada dua jenis inverter yang umum digunakan pada sistem tenaga listrik yaitu:

a. Inverter dengan frekuensi dan tegangan keluar yang konstan CVCF (*Constant Voltage Constant Frequency*).

<sup>[5]</sup> Zuhail, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya* (Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama, 1988), hal. 220



- b. Inverter dengan frekuensi dan tegangan keluaran yang berubah-ubah.

<sup>[4]</sup>Tegangan AC 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.

Pada dasarnya inverter merupakan sebuah alat yang menghasilkan tegangan bolak-balik dari tegangan searah dengan cara pembentukan gelombang.

Pertimbangan pemilihan Inverter harus sesuai dengan spesifikasi dari motor yang bakal kita pakai serta keperluan dalam pemakaian inverter itu sendiri. Berikut hal-hal yang harus diperhatikan dalam pemilihan inverter:

- Kapasitas beban yang akan disupply oleh inverter dalam watt, usahakan memilih inverter yang beban kerjanya mendekati dengan beban yang hendak kita gunakan agar efisiensi kerjanya maksimal.
- Sumber tegangan *input* inverter yang akan digunakan, *input* DC 12 volt atau 24 volt.
- Bentuk gelombang *output* inverter, *sine wave* ataupun *square wave* untuk tegangan *output* AC inveter. Hal ini berkaitan dengan kesesuaian dan efisiensi inverter DC ke AC tersebut.
- Motor *Capacity* (KW Motor)
- *Current Max* (I Maksimum Motor)
- *Frequency* Motor (Frekuensi motor)

---

<sup>[4]</sup> Zuhail, *Dasar Tenaga Listrik* (Bandung: ITB, 1977), hal. 177.



- Motor Class Operasi (Class 200/400 VDC)
- Membutuhkan *Feed back* (Current, RPM) atau tidak

Selain untuk mengatur kecepatan putaran motor, keuntungan menggunakan inverter adalah sebagai berikut:

1. Meminimalkan Lonjakan Arus Starting Motor Listrik.

Penggunaan inverter dapat menurunkan tingginya lonjakan arus starting motor listrik. Sistem starting motor dengan inverter atau VFD jauh lebih baik dibandingkan dengan sistem starting motor lainnya, seperti sistem starting motor listrik AC 3 fasa dengan *Direct On Line* (DOL), Star Delta, Auto Transformer dan sistem starting motor lainnya.

2. Inverter dapat secara terus menerus mengatur kecepatan putaran motor listrik.

Tak hanya berguna untuk sistem starting pada motor, inverter juga dapat secara terus menerus mengatur kecepatan putaran motor listrik dan disesuaikan dengan putaran yang dibutuhkan suatu proses.

3. Inverter sangat baik digunakan untuk proses automation dalam industri atau pabrik.

Inverter dapat digunakan sebagai pengatur sistem otomatis, seperti sistem otomatis pada pompa air, *blower*, *fan* dan lainnya. Untuk mendapatkan putaran motor listrik yang berubah-ubah sesuai dengan kebutuhan suatu proses.

4. Penggunaan inveter dapat memberikan berbagai penghematan.

Karena starting motor listrik membutuhkan daya dan arus yang sangat tinggi, penggunaan inverter dapat meminimalkan pemakaian daya dan arus tersebut, sehingga pemakaian energi listrik dapat dihemat. Disamping itu, dibebberapa aplikasi motor listrik yang tidak menggunakan inverter, kecepatan putaran (RPM) suatu motor listrik selalu berada pada *max speed* (kecepatan maksimal), sedangkan kebutuhan suatu mesin tidak selalu harus pada kecepatan penuh.



Dengan menggunakan inverter, dapat menyesuaikan kecepatan putaran (RPM) motor listrik sesuai dengan yang dibutuhkan suatu mesin / proses, sehingga mencegah terjadinya tenaga putar yang terbuang sia-sia dan menghemat energi listrik.

5. Penggunaan inverter juga memiliki sistem pengaman yang sangat baik.

Seperti pengaman terhadap kebocoran listrik, pengaman beban lebih, pengaman gangguan tegangan, pengaman tegangan lebih (*over voltage*) atau tegangan kurang (*under voltage*) dengan sensitifitas proteksi pengaman yang dapat diatur sesuai kebutuhan. Inverter juga memberikan pengaman yang sangat baik terhadap motor listrik, sehingga dapat meminimalkan berbagai gangguan yang menyebabkan kerusakan terhadap motor listrik tersebut.

6. Inverter memiliki berbagai kemampuan daya.

Tersedia dari ukuran daya (KW) kecil sekitar 0,37 KW sampai daya (KW) yang besar sekitar 500 KW atau lebih.

7. Dapat dihubungkan dengan berbagai perangkat atau *instrument*.

Inverter memiliki kelebihan yaitu dapat dihubungkan ke berbagai *instrument* baik *analog input*, *digital input* dan juga dapat mengirimkan sinyal *analog output* dan *digital output*. Sehingga sangat mudah untuk dirangkaikan dalam sistem sensor dan *control system*.

### 2.2.2 Prinsip Kerja VFD

Prinsip dasar *variable frequency drives* (VFD) dalam mengatur besar kecilnya nilai frekuensi dan tegangan yang dialirkan ke motor listrik AC 3 fasa yaitu:

1. Tegangan listrik utama (*main power*) dalam bentuk tegangan AC (Arus bolak-balik) dialirkan ke VFD, melewati bagian *rectifier*.



2. *Rectifier* berfungsi untuk mengubah tegangan utama AC diubah menjadi tegangan arus searah (DC).
3. Tegangan yang sudah disearahkan (DC) tersebut akan ditampung dalam DC bus (*capacitor bank*) untuk mendapatkan tegangan arus searah (DC) yang konstan atau tetap.
4. Tegangan arus searah (DC) tersebut kemudian dialirkan ke dalam bagian inverter untuk dicacah dan dimodulasi oleh rangkaian flip-flop untuk dihasilkan tegangan AC (berupa gelombang *pseudo-sine* atau PWM) dengan frekuensi yang diinginkan.

### 2.2.3 Pengontrolan VFD

Kontrol *start/stop* pada pengendalian *variable frequency drive* dapat direalisasikan dalam beberapa cara yaitu:

1. Pengontrolan dengan sistem manual  
Pengontrolan *variable frequency drive* dengan sistem manual merupakan pengontrolan yang dilakukan dengan tombol tekan *start* dan *stop* yang berada di lokal/unit yang terhubung secara langsung pada terminal kontrol inverter VFD.
2. Pengontrolan dengan sistem otomatis  
Pengontrolan *variable frequency drive* dengan sistem otomatis ini merupakan pengontrolan dari peralatan yang terpisah atau dari jarak jauh dengan menggunakan *distributed control system* yang berada di *control room*, ini dapat dilakukan pengawatan secara langsung dari DCS ke terminal VFD.

### 2.3 Motor Induksi<sup>[5]</sup>

Motor induksi merupakan motor arus bolak-balik (AC) yang paling luas digunakan. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa arus motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan *relative* antara putaran rotor dengan medan putar (*rotating*

---

<sup>[5]</sup> Zuhail, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya* (Jakarta: PT. Gra media Pustaka Utama, 1988), hal. 101



*magnetic field*) yang dihasilkan oleh arus stator.

### 2.3.1 Motor Induksi 3 Fasa<sup>[3]</sup>

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

Pada umumnya mesin – mesin penggerak yang digunakan di industri mempunyai daya keluaran lebih besar dari 1 HP dan menggunakan motor induksi tiga fasa.

### 2.3.2 Kelebihan Motor Induksi

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.

### 2.3.3 Kekurangan Motor Induksi

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

---

<sup>[3]</sup> Sumardjati, Prih, dkk. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3* (Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, 2008), hal. 408.



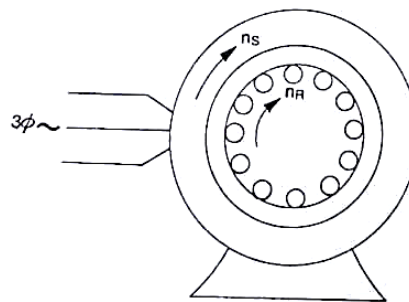
beban, tidak seperti motor DC atau motor *shunt*.

5. Kopel awal mutunya rendah dibandingkan dengan motor DC.

### 2.3.4 Prinsip Kerja Motor Induksi<sup>[4]</sup>

Ada beberapa prinsip kerja motor induksi :

1. Apabila sumber tegangan 3 fasa dipasang pada kumparan stator, timbullah medan putar dengan kecepatan. Sesuai dengan persamaan 2.1.
2. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor.
3. Akibatnya pada kumparan rotor timbul dengan induksi (*ggl*) sebesar.



**Gambar 2.6** Induksi (*ggl*) pada Kumparan Rotor

$$E_{2s} = 4,44 f_2 N_2 (\text{untuk satu fasa})$$

$E_{2s}$  adalah tegangan induksi pada saat rotor berputar.

4. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup, *ggl* ( $E$ ) akan menghasilkan arus ( $I$ ).
5. Adanya arus ( $I$ ) di dalam medan magnet menimbulkan gaya ( $F$ ) pada rotor.
6. Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya ( $F$ ) pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.
7. Seperti telah dijelaskan pada (3) tegangan induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan putar stator. Artinya agar tegangan terinduksi diperlukan adanya perbedaan relatif antara

<sup>[4]</sup> Zuhail, *Dasar Tenaga Listrik* (Bandung: ITB, 1977), hal 68





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:

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \dots\dots\dots (2.2)$$

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, motor induksi disebut juga sebagai motor tak serempak atau asinkron.

### 2.3.5 Klasifikasi Motor AC

Pabrik motor listrik telah mencoba dalam beberapa dekade terakhir, untuk menyempurnakan variasi tipe motor ac yang cocok untuk semua industri dan untuk suplai satu dan tiga fasa.<sup>[2]</sup> Motor AC berdasarkan bermacam-macam tinjauan dapat dibedakan atas beberapa jenis :

#### A. 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 2.1

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 lain.

##### 2. Motor Asinkron

Disebut motor asinkron karena putaran motor tidak sama dengan

<sup>[2]</sup> Sumanto. Drs, *Motor Listrik Arus Bolak Balik* (Yogyakarta: Andi Offset, 1993), hal. 1



putaran fluks magnet stator. Dengan kata lain, bahwa antara pada rotor dan fluks magnet stator terdapat selisih perputaran yang disebut dengan slip. Jadi pada motor asinkron jumlah putaran motor dapat ditulis dengan persamaan:

$$n < \frac{120 \cdot f}{P} \dots\dots\dots (2.3)$$

### **B. Cara Penerimaan Tegangan atau Arus**

Ditinjau dari segi cara rotor menerima tegangan atau arus, dapat dikenal 2 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 jalan induksi. Jadi pada rotor induksi, rotor tidak langsung menerima tegangan atau arus dari luar.

### **C. Jumlah Fasa Tegangan yang Digunakan**

Ditinjau dari jumlah fasa tegangan yang digunakan dapat dikenal 2 jenis motor, yaitu :

1. Motor satu fasa

Disebut motor satu fasa karena untuk menghasilkan tenaga mekanik, pada motor tersebut dimasukkan tegangan satu fasa. Di dalam praktek, yang sering digunakan adalah motor satu fasa dengan lilitan dua fasa. Dikatakan demikian, karena di dalam 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



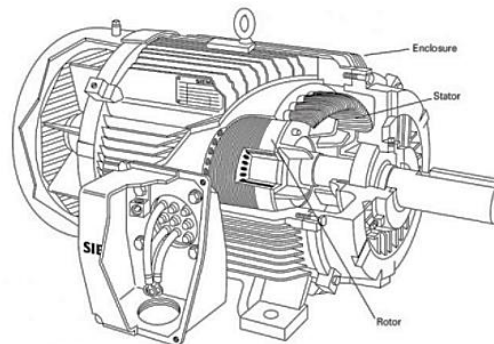
fasa tetapi akan mengakibatkan arus yang mengalir pada masing-masing lilitan mempunyai perbedaan fasa. Atau dengan kata lain, bahwa arus yang mengalir pada lilitan pokok dan lilitan bantu tidak sefasa. Motor satu fasa tersebut disebut motor satu fasa.

## 2. Motor tiga fasa

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

### 2.3.6 Konstruksi Motor Induksi<sup>[1]</sup>

Motor tipe ini digambarkan seperti gambar di bawah ini. Tiga bagian dasar dari motor AC adalah rotor, stator dan badan penutup.



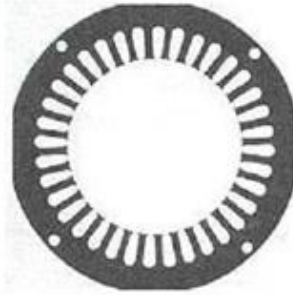
**Gambar 2.7** Bagian Motor Induksi Tiga Fasa

#### 1. Stator

Stator dan rotor merupakan rangkaian listrik yang akan menghasilkan electromagnet. Stator adalah bagian yang diam dari motor, stator tersusun atas kumparan stator dan inti.

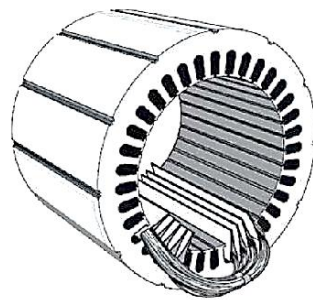
Inti dari stator tersusun dari tumpukan lempengan besi tipis yang dilaminasi dan disatukan. Inti berfungsi sebagai dukungan mekanis sekaligus kanalisasi fluks magnet yang akan dihasilkan.

<sup>[1]</sup> Iftadi, Irwan. *Kelistrikan Industri* (Yogyakarta: Graha Ilmu, 2015), hal. 187

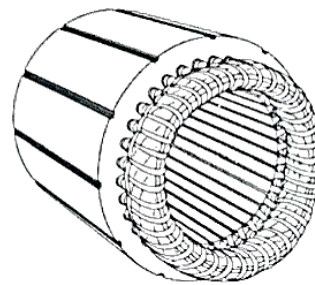


**Gambar 2.8** Lempengan Tipis Pembentuk Stator

Kumparan stator merupakan kumpulan kawat penghantar yang terisolasi dan dimasukkan/dililitkan kedalam inti stator, perhatikan gambar 2.10 dan 2.11, setiap lilitan yang mengitari inti besi akan menghasilkan *fluks* magnet (elektromagnet). Dan elektromagnet adalah prinsip utama dari prinsip kerja motor. Lilitan stator dihubungkan secara langsung dengan sumber tenaga.

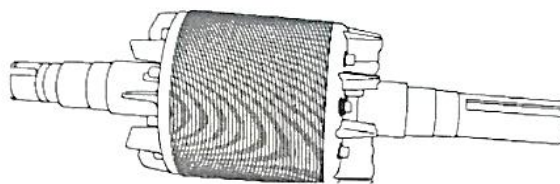


**Gambar 2.9** Lilitan Stator



**Gambar 2.10** Stator

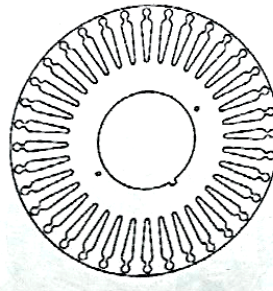
## 2. Rotor



**Gambar 2.11** Rotor

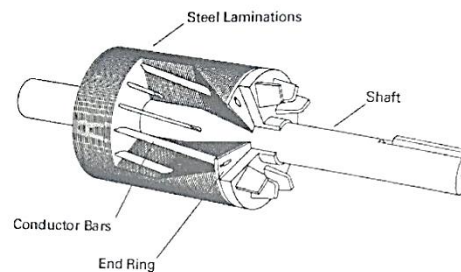


Rotor adalah bagian yang berputar dari motor. Tipe rotor yang paling umum dipakai adalah rotor “*squirrel cage*” atau rotor sangkar tupai.



**Gambar 2.12** Lempengan Tipis Penyusun Rotor

Rotor terdiri dari tumpukan besi tipis yang dilaminasi dan batang konduktor yang mengitarinya. Tumpukan besi yang dilaminasi disatukan untuk membentuk inti rotor. Aluminium (sebagai batang konduktor) dimasukkan kedalam slot dari inti rotor untuk membentuk serangkaian konduktor yang mengelilingi inti rotor. Arus yang akan mengalir melalui konduktor akan membentuk elektromagnet. Secara mekanik dan elektrik batang-batang konduktor disambungkan ke ujung cincin. Inti rotor diletakkan menempel ke inti dari besi yang membentuk konstruksi rotor secara penuh.



**Gambar 2.13** Penampang dalam Rotor

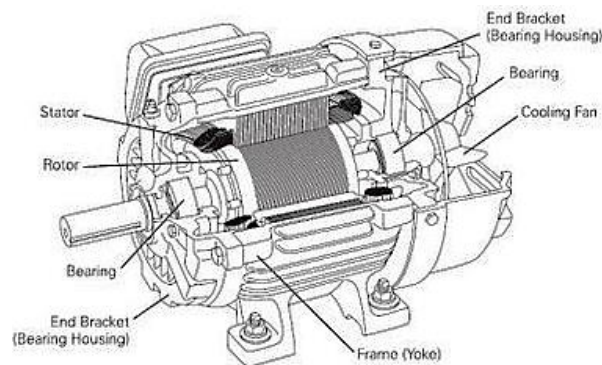
### 3. Penutup (*Enclosure*)

Penutup Terdiri dari suatu rangka (*frame/yoke*) dan dua ujung *brackets* (*bearing housing*). Stator ditempatkan di dalam rangka. Rotor diletakkan disisi dalam stator dan dipisahkan oleh rongga udara. Sehingga tidak ada



hubungan fisik secara langsung antara rotor dan stator.

Penutup juga melindungi dari bahaya listrik dan bagian motor yang bertegangan maupun berputar dari efek yang membahayakan lingkungan selama motor beroperasi. *Bearing* ditempelkan di *as* guna mendukung secara mekanis agar dapat rotor berputar. Sebuah kipas juga ditempatkan di *as* dan digunakan sebagai pendingin motor.



**Gambar 2.14** Penampang dalam Motor AC

## 2.4 Flow Batu bara

PT. PLN (Persero) UPK Bukit Asam mengadakan kontrak pembelian batu bara dengan PT. Bukit Asam dengan pertimbangan lokasi *stockpile* batu bara yang berasal dari tambang terbuka Tanjung Enim yang sangat berdekatan dengan PLTU Bukit Asam.

Batu bara yang dikirim oleh PT. Bukit Asam (Persero) langsung dengan *belt conveyor* menuju tempat penyimpanan (*Coal Storage*) milik PT. PLN (Persero) UPK Bukit Asam. Sebelum dilakukan penyimpanan, batu bara dipecah terlebih dahulu menggunakan *crusher* menjadi ukuran  $\pm 32$  mm dan selanjutnya untuk kebutuhan bahan bakar, batu bara diangkut menggunakan *belt conveyer* ke *bunker*. Untuk memisahkan logam yang terbawa atau tercampur pada batu bara di Belt Conveyer dipasang Magnetic Separator.