

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Pengaturan frekuensi merupakan salah satu permasalahan yang terjadi pada motor induksi. Hal ini karena sifatnya yang *nonlinear* dan terdapat parameter yang bersifat tidak pasti, salah satunya ialah beban yang berubah-ubah. Vektor kontrol merupakan salah satu metode pengontrolan yang dapat diterapkan pada motor induksi. Pada pengontrolan ini pengaturan fluks dan torsi dapat dilakukan secara terpisah. Penggunaan kontroler yang diterapkan pada metode vektor kontrol menjadi hal yang penting untuk menghasilkan kualitas kontrol yang baik.<sup>[1]</sup>

Selain itu, metode yang dikembangkan dalam pengaturan kecepatan motor induksi adalah Field Oriented Control (FOC). Metode ini bertujuan mengatur secara langsung fluks dan torsi motor yang pada umumnya menggunakan kontrol PI, namun kontrol ini memiliki kelemahan dalam penentuan konstantanya. Oleh karena itu pada penelitian ini dicoba untuk melakukan perancangan dan implementasi pengontrolan motor untuk mengatur kecepatan motor induksi tiga fasa dengan menggunakan *Fuzzy Logic Control* yang artinya kontrol fuzzy disini sebagai pengendali kecepatan motor sehingga sesuai dengan keinginan.<sup>[2]</sup>

Dalam pengaturan kecepatan pada motor induksi tiga fasa juga apat menggunakan inverter sebagai alat yang berfungsi untuk mengatur kecepatan motor dengan mengubah nilai frekuensi. Untuk mengatur nilai frekuensi yang sesuai pada inverter dibutuhkan suatu kontroler, salah satu kontroler yang paling banyak

digunakan adalah kontroler PID. Nilai parameter kontrol yang ada pada kontroler PID sangat berpengaruh terhadap respon kecepatan motor, sehingga diperlukan sebuah metode pencarian yang mana digunakan *Genetic Algorithm* (GA) dalam penentuan parameter kontrol PID. Penentuan parameter kontrol PID menggunakan *Genetic Algorithm* (GA) dilakukan dengan lima jangkauan pembatasan pada nilai pembangkitan individu sehingga didapatkan berbagai macam nilai yang berbeda-beda dan diharapkan sesuai dengan respon kecepatan yang diinginkan. [3]

Kontrol tegangan dan frekuensi (Volt/Hertz) dapat digunakan sebagai pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa. Metode kontrol tersebut, mampu menjaga besarnya fluks dan nilai torsi maksimum agar tetap konstan. Metode Modulasi Ruang Vektor (*Space Vector Modulation*) ditanamkan pada mikrokontroler STM32F100 untuk pembangkitan pulsa PWM *inverter* sesuai dengan urutan pensakelaran *inverter* tiga fasa sumber tegangan (VSI). Lebar pulsa dari tiap pulsa PWM ditentukan oleh pengaturan variabel waktu dalam SVM. Kontrol sistem dilakukan secara *loop* terbuka dengan mengubah-ubah nilai *set point* kecepatan yaitu mengatur nilai frekuensi yang secara bersamaan mengatur nilai tegangan sesuai nilai indeks modulasi. [4]

Metode yang lain yaitu dengan mengubah frekuensi, sehingga dibutuhkan *inverter* yang bertujuan untuk mengatur kecepatan putar motor induksi tiga fasa tersebut dan menggunakan *Programmable Logic Controller* (PLC) sebagai otak ari sistem sehingga motor dapat diatur kecepatannya dengan mudah sesuai dengan yang diinginkan. Selain itu, juga menggunakan *Human Machine Interface* (HMI)

sebagai media penampil hasil pengolahan atau yang sudah diolah dan diproses oleh PLC. [5]

Dari beberapa tinjauan pustaka di atas pada Tugas Akhir ini terdapat perbedaan pada mikrokontroler yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah menggunakan PLC Delta DVP-14EC dan menggunakan Inverter ATV12 untuk mengatur frekuensi yang dibutuhkan. Serta menggunakan *Human Machine Interface* (HMI) sebagai media monitoring, dimana yang termonitoring yaitu tegangan, arus, kecepatan, dan frekuensi dari pengaturan frekuensi pada motor induksi tiga fasa. Dengan pengaturan frekuensi tersebut, maka akan menghemat energi yang digunakan dan dapat lebih efisien dalam pengoperasiannya.

## **2.2 Dasar Teori**

### **2.2.1 Programmable Logic Controllers (PLC)**

*Programmable Logic Controllers* (PLC) adalah komputer elektronik yang mudah digunakan (*user friendly*) yang memiliki fungsi kendali untuk berbagai tipe dan tingkat kesulitan yang beraneka ragam.

Definisi *Programmable Logic Controller* menurut Capiel (1982) adalah : sistem elektronik yang beroperasi secara digital dan didisain untuk pemakaian di lingkungan industri, dimana sistem ini menggunakan memori yang dapat diprogram untuk penyimpanan secara internal instruksi-instruksi yang mengimplementasikan fungsi-fungsi spesifik seperti logika, urutan, perwaktuan, pencacahan dan operasi aritmatik untuk mengontrol mesin atau proses melalui modul-modul I/O digital maupun analog. [6]

Berdasarkan namanya konsep PLC adalah sebagai berikut :

- 1) *Programmable*, menunjukkan kemampuan dalam hal memori untuk menyimpan program yang telah dibuat yang dengan mudah diubah-ubah fungsi atau kegunaannya.
- 2) *Logic*, menunjukkan kemampuan dalam memproses input secara aritmatik dan logic (ALU), yakni melakukan operasi membandingkan, menjumlahkan, mengalikan, membagi, mengurangi, negasi, AND, OR, dan lain sebagainya.
- 3) *Controller*, menunjukkan kemampuan dalam mengontrol dan mengatur proses sehingga menghasilkan output yang diinginkan. PLC ini dirancang untuk menggantikan suatu rangkaian relay sequensial dalam suatu sistem kontrol. Selain dapat diprogram, alat ini juga dapat dikendalikan dan dioperasikan oleh orang yang tidak memiliki pengetahuan di bidang pengoperasian komputer secara khusus. PLC ini memiliki bahasa pemrograman yang mudah dipahami dan dapat dioperasikan bila program yang telah dibuat dengan menggunakan software yang sesuai dengan jenis PLC yang digunakan sudah dimasukkan.

Berikut ini adalah gambar 2.1. yang menunjukkan bentuk fisik dari PLC Delta DVP 14EC.



Gambar 2.1. PLC Delta DVP 14EC

*(Sumber : Dokumen pribadi)*

### 2.2.1.1 Hardware

Sebuah PLC sistem memiliki lima komponen dasar. Komponen-komponen ini adalah :

1. Unit Prosecor atau Central Processing Unit (CPU) adalah unit yang berisi mikroprosesor yang menginterpretasikan sinyal-sinyal input dan melaksanakan tindakan-tindakan pengontrolan, sesuai dengan program yang tersimpan di dalam memori, lalu mengkomunikasikan keputusan-keputusan yang diambilnya sebagai sinyal-sinyal control ke antarmuka komputer.
2. Unit catu daya digunakan untuk mengkorvesikan tegangan ac sumber menjadi tegangan dc yang dibutuhkan oleh prosesor dan rangkaian-rangkaian didalam modul-modul input dan output.
3. Perangkat pemrograman diperlukan untuk memasukan program yang dibutuhkan kedalam memori. Program tersebut dibuat dengan menggunakan program ini dan kemudian dipindahkan ke dalam unit memori PLC.

4. Unit memori adalah tempat dimana program yang digunakan untuk melaksanakan tindakan-tindakan pengontrolan oleh mikroprosesor disimpan.
5. Bagian input dan output adalah antarmuka dimana prosesor menerima informasi dari dan mengkomunikasikan informasi control ke perrangkat-perangkat eksternal.

### **2.2.1.2 Fungsi PLC**

Secara umum fungsi PLC adalah sebagai berikut:

1. Sekuensial Control.

PLC memproses input sinyal biner menjadi output yang digunakan untuk keperluan pemrosesan teknik secara berurutan (sekuensial), disini PLC menjaga agar semua step atau langkah dalam proses sekuensial berlangsung dalam urutan yang tepat.

2. Monitoring Plant.

PLC secara terus menerus memonitor status suatu sistem (misalnya temperatur, tekanan, tingkat ketinggian) dan mengambil tindakan yang diperlukan sehubungan dengan proses yang dikontrol (misalnya nilai sudah melebihi batas) atau menampilkan pesan tersebut padaoperator.

Sedangkan fungsi PLC secara khusus adalah dapat memberikan input ke CNC (Computerized Numerical Control). Beberapa PLC dapat memberikan input ke CNC untuk kepentingan pemrosesan lebih lanjut. CNC bila dibandingkan dengan PLC mempunyai ketelitian yang lebih tinggi dan lebih mahal harganya. CNC biasanya dipakai untuk proses finishing, membentuk benda kerja, moulding dan sebagainya. Prinsip kerja sebuah PLC adalah

menerima sinyal masukan proses yang dikendalikan lalu melakukan serangkaian instruksi logika terhadap sinyal masukan tersebut sesuai dengan program yang tersimpan dalam memori lalu menghasilkan sinyal keluaran untuk mengendalikan aktuator atau peralatan lainnya.

### **2.2.1.3 Konsep Perancangan Sistem Kendali PLC**

Dalam merancang suatu sistem kendali dibutuhkan pendekatan pendekatan dengan prosedur sebagai berikut:

#### **1. Rancangan Sistem Kendali**

Dalam tahapan ini harus menentukan terlebih dahulu sistem apa yang akan dikendalikan dan proses bagaimana yang akan ditempuh. Sistem yang dikendalikan dapat berupa peralatan mesin ataupun proses yang terintegrasi yang sering secara umum disebut dengan controlled system.

#### **2. Penentuan I/O**

Pada tahap ini semua piranti masukan dan keluaran eksternal yang akan dihubungkan ke PLC harus ditentukan. Piranti masukan dapat berupa saklar, sensor, valve dan lain-lain sedangkan piranti keluaran dapat berupa motor, solenoid katup elektromagnetik dan lain-lain.

#### **3. Perancangan Program (Program Design)**

Setelah ditentukan input dan output maka dilanjutkan dengan proses merancang program dalam bentuk ladder diagram dengan mengikuti aturan dan urutan operasi sistem kendali.

#### **4. Pemrograman (Programming)**

#### **5. Menjalankan sistem (Run The System)**

### 2.2.1.4 Ladder Diagram

Logika tangga (Ladder logic) adalah bahasa pemrograman yang dipakai untuk menggambarkan secara grafis diagram rangkaian elektronika dan perangkat keras komputer berdasarkan logika berbasis-relay yang banyak dijumpai pada aplikasi Programmable Logic Controllers (PLC) dan kendali industri. Sesuai dengan namanya, program ini menggunakan gambar anak tangga yang terdiri dari garis-garis tegak dan garis mendatar untuk menyajikan fungsi logika rangkaiannya.

Dalam PLC, terdapat beberapa instruksi fungsi yang dapat kita gunakan untuk membantu kita dalam membuat suatu program, antara lain :

#### 1. *Bit Logic*

Instruksi Bit Logic bekerja dengan dua keadaan, yaitu “1” atau “0”. Logic “1” menandakan aktif dan logic “0” menandakan tidak aktif. Berikut ini macam-macam fungsi umum instruksi bit logic:

##### a. *Normally Open Contact*

Instruksi *normally open* digunakan apabila kita ingin memasukkan input yang keadaan normalnya adalah terbuka. Gambar 2.2 menunjukkan *ladder diagram* pada saat *normally open*.



Gambar 2.2. *Ladder Diagram Normally Open*

Penggunaan *normally open contact* harus disertai dengan alamat sesuai dengan tipe PLC yang digunakan. Alamat bertujuan untuk memberikan perintah sebagai input atau set *Output Coil*.



b. *Normally Closed Contact*

Instruksi *normally close* digunakan apabila kita ingin memasukkan input yang keadaan normalnya adalah tertutup. Gambar 2.3 menunjukkan ladder diagram *normally close*.

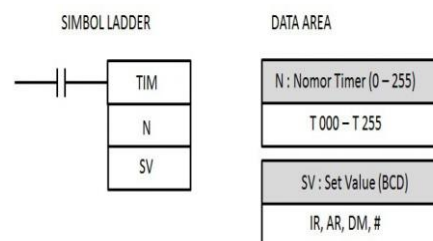


Gambar 2.3. *Ladder Diagram Normally Close*

Penggunaan *normally close contact* harus disertai dengan alamat sesuai dengan tipe plc yang digunakan. Alamat bertujuan untuk memberikan perintah sebagai input atau set *Output Coil*.

2. Perintah Timer

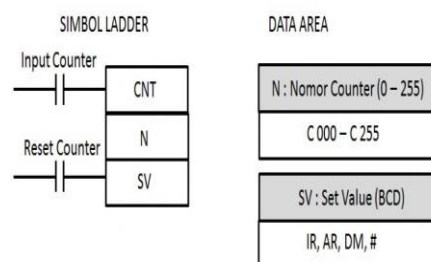
Timer merupakan instruksi yang berfungsi memberikan waktu tunda (delay). Dengan adanya timer, kita dapat mengatur kapan suatu output harus aktif setelah kita berikan input. Selain itu kita juga dapat mengatur seberapa lama output tersebut harus aktif.



Gambar 2.4. *Ladder Diagram Perintah Timer*

### 3. Perintah Counter

Counter merupakan rangkaian logika pengurut, karena counter membutuhkan karakteristik memori, dan pewaktu memegang peranan yang penting. Counter dalam PLC bekerja seperti halnya Counter mekanik atau elektronik yang mana membandingkan nilai yang kumparan dengan nilai setting hasil perbandingan digunakan sebagai acuan keluran.



Gambar 2.5. Ladder Diagram Perintah Counter

Counter terdiri dari dua elemen dasar yaitu kumparan relay untuk menghitung pulsa-pulsa input dan kumparan relay untuk membalikan counter ke posisi awalnya (reset), sedangkan kontak-kontak yang diasosiasikan dengan counter berada pada anak tangga lainnya.

#### 2.2.2 Inverter atau Variabel Frequency Drive (VFD)

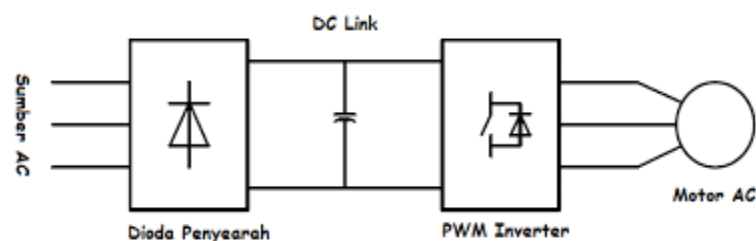
VFD adalah sebuah peralatan yang digunakan sebagai pengatur kecepatan motor AC 3 Phase dengan cara merubah frequencynya. Fungsi dari VFD adalah untuk mengontrol energi dari supply utama ke proses melalui shaft motor listrik, dengan cara mengontrol dua besaran, yaitu torque dan kecepatan. Dengan adanya perubahan frekuensi pada tegangan maka putaran motor akan bisa berubah. Sesuai

dengan rumus kecepatan motor ( $n = 120f/P$ ) dimana  $n$  adalah putaran motor,  $f$  adalah frekuensi dan  $P$  adalah jumlah kutub motor. [7]



Gambar 2.6. Bentuk Fisik Inverter ATV12

(Sumber: Dokumen pribadi)



Gambar 2.7. Prinsip Kerja VFD

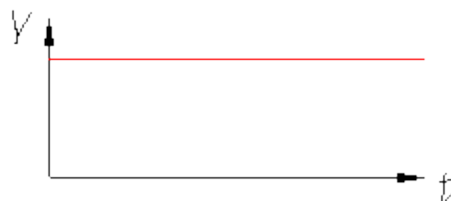
Secara sederhana prinsip kerja VFD yaitu arus AC yang masuk ke rangkaian rectifier ( penyearah ) untuk menjadikan arus AC ke DC, kemudian listrik AC yang telah diubah jadi sumber DC perlu dilakukan perataan bentuk gelombang DC yang masih mengandung ripple (riak)AC. Caranya dengan menambahkan DC Link atau semacam regulator. Hal ini berfungsi untuk meratakan bentuk gelombang DC agar berbentuk lurus dan stabil tidak terjadi naik turun (riak). Setelah didapatkan listrik DC yang murni, langkah berikutnya adalah mengubah Listrik DC menjadi listrik AC dengan rangkaian VFD. Untuk menghasilkan listrik AC dari output

rangkaian VFD dengan gelombang sinus diperlukan rangkaian PWM (Pulse Width Modulator). Rangkaian ini yang akan memecah listrik DC menjadi listrik AC dengan bentuk gelombang mendekati sinus. Setelah itu arus dialirkan ke motor listrik dengan mengubah frekuensi listrik untuk mengatur kecepatan motor listrik yang diinginkan.

### 1. Karakteristik Tegangan dan Arus DC

Listrik DC (Direct Current) merupakan listrik yang kuat arus maupun tegangannya tidak berupa fungsi periodik terhadap waktu, dalam artian besar arus maupun tegangan dari listrik ini merupakan bilangan tetap atau konstan.

Tegangan DC memiliki polaritas yang tetap yakni positif (+), nol (0), dan negatif (-). Tegangan DC tidak memiliki fase dan arus yang mengalir pun selalu dari polaritas yang lebih tinggi ke polaritas yang lebih rendah yakni dari positif ke negatif, dari positif ke nol, atau dari nol ke negatif karena polaritas nol lebih tinggi dari polaritas negatif.



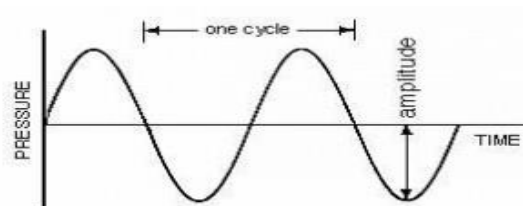
Gambar 2.8. Bentuk Gelombang Tegangan DC

### 2. Karakteristik Tegangan dan Arus AC

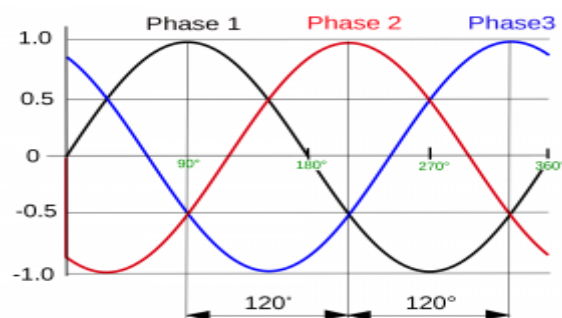
Listrik AC (Alternating Current) merupakan listrik yang kuat arus maupun tegangannya merupakan fungsi periodik terhadap waktu, artinya besar arus maupun tegangan dari listrik ini berubah-ubah secara periodik.

Tegangan AC memiliki dua polaritas yang berubah-ubah dari polaritas yang paling tinggi ke polaritas yang lebih rendah dalam satuan waktu. Dengan demikian tegangan AC memiliki phase dan frekuensi 50 Hz atau 60 Hz. Berdasarkan penggunaan jumlah phase-nya, tegangan AC terdiri dari

- Tegangan AC satu phase yang terdiri dari Phase, Neutral, dan Ground.
- Tegangan AC tiga phase yang terdiri dari Phase R, Phase S, Phase T, Neutral, dan Ground.



Gambar 2.9. Bentuk Gelombang Tegangan AC 1 Fasa



Gambar 2.10. Bentuk Gelombang Tegangan AC tiga fasa

### 2.2.3 Motor Induksi Tiga Fasa

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. [8]



Gambar 2.11. Bentuk fisik motor induksi tiga fasa dan spesifikasinya

(Sumber: Dokumen pribadi)

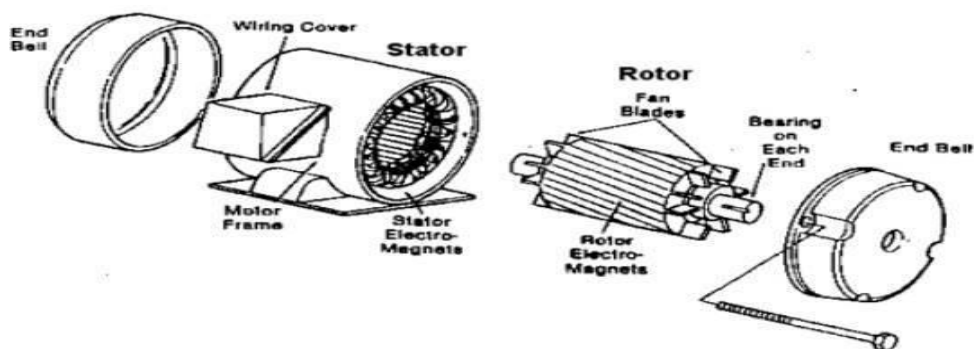
Akan tetapi motor induksi tiga fasa memiliki kelemahan pada pengontrolan kecepatan. Kecepatan putar motor induksi bergantung pada frekuensi input, sedangkan sumber listrik memiliki frekuensi konstan. Untuk mengubah frekuensi input lebih sulit dari pada mengatur tegangan input. Dengan ditemukannya teknologi inverter maka hal tersebut menjadi lebih mudah dan mungkin dilakukan.

Perputaran motor pada mesin arus bolak-balik ditimbulkan oleh adanya medan putar (fluks yang berputar) yang dihasilkan dalam kumparan statornya. Medan putar pada stator tersebut akan memotong konduktor-konduktor pada rotor, sehingga terinduksi arus, dan sesuai dengan hukum Lenz. Rotor pun akan turut berputar mengikuti medan putar stator. Perbedaan putaran relative antara stator dan rotor disebut slip. Bertambahnya beban, akan memperbesar kopel motor. Sehingga

slip antara medan putar stator dan putaran rotor pun akan bertambah besar, jadi, bila beban motor bertambah, putaran rotor cenderung menurun.

### 2.2.3.1 Konstruksi Motor Induksi Tiga Fasa

Pada dasarnya motor induksi terdiri dari suatu bagaian yang tidak berputar (stator) dan bagian yang bergerak memutar (rotor) seperti pada gambar 2.12. Secara ringkas stator terdiri dari blek – blek dinamo yang berisolasi pada satu sisinya dan mempunyai ketebalan 0,35 – 0,5 mm, disusun menjadi sebuah paket blek yang berbentuk gelang. Disisi dalamnya dilengkapi dengan alur – alur. Didalam alur ini terdapat perbedaan antara motor asinkron dengan lilitan sarang (rotor sarang atau rotor hubung pendek) dan gelang seret dengan lilitan tiga fasa. Atau dari sisi lainnya bahwa inti besi stator dan rotor terbuat dari lapisan (email) baja silikon tebalnya 0,35 - 0,5 mm, tersusun rapi, masing – masing terisolasi secara elektrik dan diikat pada ujung – ujungnya.



Gambar 2.12. Konstruksi Motor Induksi

(Sumber: <http://eprints.polsri.ac.id/376/3/3.%20BAB%20II.pdf> )

Lamel inti besi stator dan rotor bagian motor dengan garis tengah bagian motor, dengan garis tengah bagian luar dari stator lebih dari 1 m. Bagi motor dengan garis tengah yang lebih besar, lamel inti besi merupakan busur inti segmen yang disambung – sambung menjadi satu lingkaran. Celah udara antara stator dan rotor pada motor yang kecil adalah 0,25 – 0,75 mm, pada motor yang besar sampai 10 mm. Celah udara yang besar ini disediakan bagi kemungkinan terjadinya perenggangan pada sumbu sebagai akibat pembebanan transversal pada sumbu atau sambungannya. Tarikan pada pita (belt) atau beban yang tergantung tersebut akan menyebabkan sumbu motor melengkung.

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

#### 1. Stator (bagian motor yang diam)

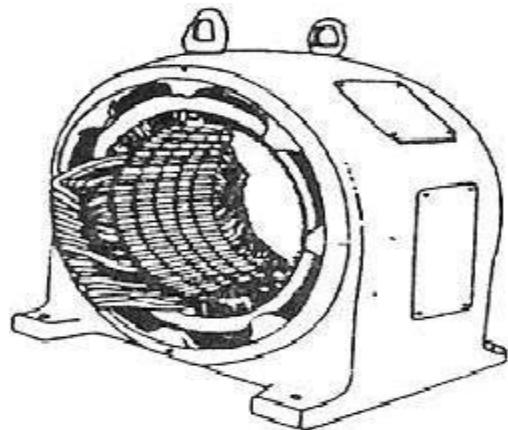
Pada bagian stator terdapat beberapa slot yang merupakan tempat kawat (konduktor) dari tiga kumparan yang masing – masing berbeda fasa dan menerima arus dari tiap fasa tersebut yang disebut kumparan stator. Stator terdiri dari plat – plat besi yang disusun sama besar dengan rotor dan pada bagian dalam mempunyai banyak 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.



Konstruksi stator motor induksi sendiri terdiri atas beberapa bagian yaitu:

- a. Bodi motor (gandar)
- b. Inti kutub magnet dan lilitan penguat magnet
- c. Slip ring

Bentuk konstruksi stator motor induksi dapat kita lihat pada gambar 2.13.



Gambar 2.13. Stator

(Sumber: <http://eprints.polsri.ac.id/376/3/3.%20BAB%20II.pdf> )

#### 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 bodi motor dibuat dari bahan ferromagnetik. Disamping itu bodi 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 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. 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 akan mengibaskan 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 melaju 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. Jika rotor dibebani, maka putaran rotor akan turun sehingga terjadi perbedaan kecepatan putaran antara rotor dan stator, perbedaan kecepatan putaran ini disebut slip.

### a. Motor rotor sangkar

Motor rotor sangkar konstruksinya sangat sederhana, yang mana rotor dari motor sangkar adalah konstruksi dari inti berlapis dengan konduktor dipasangkan paralel, atau kira – kira paralel dengan poros yang mengelilingi permukaan inti. Konduktornya tidak terisolasi dari inti, karena arus rotor secara alamiah akan mengalir melalui tahanan yang paling kecil konduktor rotor. Pada setiap ujung rotor, konduktor rotor semuanya dihubung singkatkan dengan cincin ujung. Batang rotor dan cincin ujung sangka yang lebih kecil adalah coran tembaga atau almunium dalam satu lempeng pada inti rotor. Bentuk motor rotor sangkar sendiri dapat dilihat pada gambar 2.14. Dalam motor yang lebih besar, batang rotor tidak dicor melainkan dibenamkan kedalam alur kemudian dilas ditempatkan paralel terhadap poros motor tetapi kerap kali dimiringkan. Hal ini menghasilkan torsi yang lebih seragam dan juga mengurangi derau dengung magnetik sewaktu motor sedang jalan.



Gambar 2.14 Motor Induksi Rotor Sangkar

(Sumber: <http://eprints.polsri.ac.id/376/3/3.%20BAB%20II.pdf> )

Motor induksi jenis ini mempunyai rotor dengan kumparan yang terdiri dari beberapa batang konduktor yang disusun sedemikian rupa sehingga menyerupai sangkar tupai yang terlihat pada gambar dibawah ini, konstruksi rotor seperti ini sangat sederhana bila dibandingkan dengan rotor jenis mesin listrik lainnya.

Dengan demikian harganya pun murah karena konstruksinya yang demikian, padanya tidak mungkin diberikan pengaturan tahanan luar seperti pada motor induksi dengan rotor belitan.

Untuk membatasi arus mula yang besar, tegangan sumber harus dikurangi dan biasanya digunakan oto transformator atau saklar Y – D. Tetapi berkurangnya arus akan berakibat berkurangnya kopel mula, untuk mengatasi hal ini dapat digunakan jenis rotor dengan sangkar ganda.

b. Motor rotor belitan

Motor rotor lilit atau motor cincin slip berbeda dengan motor rotor sangkar dalam konstruksi rotornya. Bentuk motor rotor belitan dapat dilihat pada gambar 2.15. Seperti namanya rotor dililit 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 rangkaian motor. Motor

rotor lilit kurang banyak digunakan dibandingkan dengan motor rotor sangkar karena harganya mahal dan biaya pemeliharaan lebih besar.



Gambar 2.15. Motor induksi rotor belitan

(Sumber: <http://eprints.polsri.ac.id/376/3/3.%20BAB%20II.pdf> )

Seperti yang terlihat pada gambar 2.15, penambahan tahanan luar sampai harga tertentu dapat membuat kopel mula mencapai harga maksimum, kopel mula yang besar ini memang diperlukan pada waktu start.

Motor induksi dengan rotor lilit memungkinkan penambahan (Pengaturan Tahanan Luar) tahanan luar yang dapat diatur ini dihubungkan ke rotor melalui cincin, selain untuk menghasilkan kopel mula yang besar tahanan luar tadi diperlukan untuk membatasi arus mula yang besar pada saat start motor. Disamping itu dengan mengubah tahanan luar, kecepatan motor dapat diatur.

### **2.2.3.2 Prinsip Kerja Motor Induksi Tiga Fasa**

Motor Induksi tiga fasa bekerja sebagai berikut. Misalkan kita memiliki sumber AC tiga fasa yang terhubung dengan stator pada motor. Karena stator

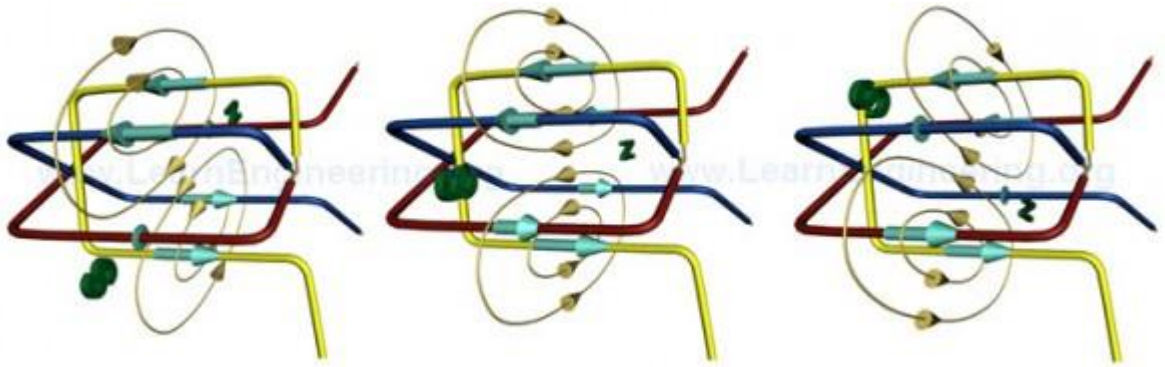
terhubung dengan sumber AC maka arus dapat masuk ke stator melalui kumparan stator. Sekarang kita hanya melihat 1 kumparan stator saja. Sesuai hukum Faraday bahwa apabila terdapat arus yang mengalir pada suatu kabel maka arus itu dapat menghasilkan fluks magnet pada kabel tersebut, dimana arahnya mengikuti kaidah tangan kanan.



Gambar 2.16. Arus pada Kabel menghasilkan Fluks

(Sumber : [www.learnengineering.org](http://www.learnengineering.org))

Setiap fasa dalam kumparan stator akan mengalami hal yang sama karena setiap fasa dialiri arus, namun besarnya fluks yang dihasilkan tidak sama di setiap waktu. Hal ini disebabkan besarnya arus yang berbeda-beda pada tiap fasa di tiap waktunya. Misalkan fasa-fasa ini diberi nama a, b, dan c. Ada kalanya arus pada fasa a maksimum sehingga menghasilkan fluks maksimum dan arus fasa b tidak mencapai maksimum, dan ada kalanya arus pada fasa b maksimal sehingga menghasilkan fluks maksimum dan arus pada fasa a tidak mencapai maksimum. Hal ini mengakibatkan fluks yang dibangkitkan lebih cenderung pada fasa mana yang mengalami kondisi arus paling tinggi

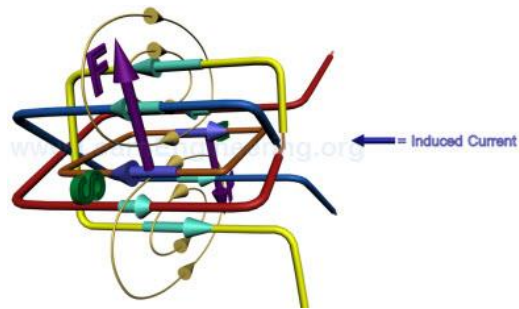


Gambar 2.17. Berputarnya Medan Magnet Akibat Arus Tiga Fasa pada Rangkaian

(Sumber : [www.learnengineering.org](http://www.learnengineering.org))

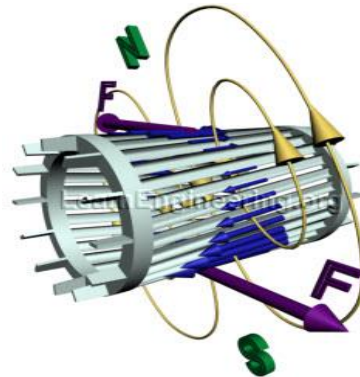
Sekarang ditinjau kasus rotor sudah dipasang dan kumparan stator sudah dialiri arus. Akibat adanya fluks pada kumparan stator maka arus akan terinduksi pada rotor. Anggap rotor dibuat sedemikian sehingga arus dapat mengalir pada rotor (seperti rotor tipe squirrel cage). Akibat munculnya arus pada rotor dan adanya medan magnet pada stator maka rotor akan berputar mengikuti hukum Lorentz. Hal yang menarik disini ialah kecepatan putaran rotor tidak akan pernah mencapai kecepatan sinkron atau lebih. Hal ini disebabkan karena apabila kecepatan sinkron dan rotor sama, maka tidak ada arus yang terinduksi pada rotor sehingga tidak ada gaya yang terjadi pada rotor sesuai dengan hukum Lorentz. Akibat tidak adanya gaya pada rotor maka rotor jadi melambat akibat gaya-gaya kecil (seperti gaya gesek dengan sumbu rotor atau pengaruh udara). Namun saat rotor melambat kecepatan sinkron dan kecepatan rotor jadi berbeda. Akibatnya pada rotor akan terinduksi arus sehingga rotor mendapatkan gaya berdasarkan hukum Lorentz. Dari gaya itulah motor dapat menambah kecepatannya kembali. Fenomena perbedaan kecepatan ini dikenal sebagai slip.





Gambar 2.18. Gaya timbul akibat dari hukum Lorentz

(Sumber : [www.learnengineering.org](http://www.learnengineering.org))



Gambar 2.19. Gaya Akibat Fluks pada Stator dan Rotor

(Sumber : [www.learnengineering.org](http://www.learnengineering.org))

Cara lain kita memperlakukan atau mengendalikan motor-motor listrik sesuai dengan kebutuhan industr atau dalam bidang rekayasa adalah membuat rangkaian untuk mengendalikan agar motor listrik dapat dibalik putarannya (putaran maju dan putaran mundur). Membalik putaran motor listrik dapat ditemukan dalam sistem lift, pesawat angkat (crane), belt conveyor, escalator, dan

sebagainya. Timer juga dapat diterapkan dalam sistem pengendalian arah putaran motor induksi tiga fasa. Hal ini dilakukan untuk mengantisipasi agar tidak terjadi kerusakan pada lilitan motor sebagai akibat dari operasi mendadak dengan putaran dengan arah yang berlawanan. Hal ini lebih tepat dilakukan terutama jika motor induksi fasa beroperasi dalam kapasitas tegangan dalam beban yang tinggi. Dalam membalik putaran motor, operasi dari arah maju (forward) ke putaran mundur (reverse) tidak boleh dilakukan secara langsung atau mendadak tetapi harus ada selang waktu beberapa detik atau menit

#### **2.2.4 *Human Machine Interface (HMI)***

HMI (Human Machine Interface) adalah membuat fungsi dari teknologi nyata. Dengan membuat desain HMI yang sesuai, akan membuat pekerjaan fisik lebih mudah pada hampir semua solusi teknis, efektifitas dari HMI adalah dapat memprediksi penerimaan user terhadap seluruh solusi yang ada. konsep HMI yang Moderen pada industri adalah sebagai media komunikasi antara operator dengan perancangan yang secara ideal mampu memberikan informasi yang diperlukan, agar perencanaan yang dilakukan dengan tingkat efisiensi maksimum. HMI merupakan sarana bagi operator untuk mengakses sistem otomasi di lapangan yang mencakup operasional , pengembangan, perawatan troubleshooting. <sup>[9]</sup>

HMI biasa digunakan dalam dunia industri disebut juga sebuah tempat di mana interaksi antara manusia dan mesin terjadi. Tujuan dari interaksi antara manusia dan mesin pada antarmuka pengguna adalah pengoperasian dan kontrol mesin yang efektif, dan umpan balik dari mesin yang membantu operator dalam membuat keputusan operasional. Contoh-contoh dari konsep luas antarmuka

pengguna ini termasuk aspek-aspek interaktif dari sistem operasi komputer, alat-alat, kontrol operator mesin berat, dan kontrol proses. Pertimbangan desain berlaku ketika membuat antarmuka pengguna yang berkaitan atau melibatkan disiplin-disiplin ilmu seperti ergonomi dan psikologi.

Antarmuka pengguna mencakup perangkat keras dan perangkat lunak. Antarmuka pengguna hadir untuk berbagai sistem, dan menyediakan cara untuk:

- a. Input, memungkinkan pengguna untuk memanipulasi sebuah system.
- b. Output, memungkinkan sistem untuk menunjukkan efek dari manipulasi pengguna

Secara umum, tujuan dari teknik interaksi manusia-mesin adalah untuk menghasilkan sebuah antarmuka pengguna yang membuatnya mudah, efisien, dan menyenangkan untuk mengoperasikan sebuah mesin dengan cara yang menghasilkan hasil yang diinginkan. Ini biasanya berarti bahwa operator harus menyediakan input minimal untuk mencapai output yang diharapkan, dan juga bahwa mesin harus meminimalkan output yang tidak diinginkan. Gambar 2.23 merupakan contoh tampilan pada HMI.



Gambar 2.20. *Human Machine Interface (HMI)*

*Sumber: Dokumen pribadi*

#### **2.2.4.1 Fungsi dari HMI**

1. Memberikan informasi plant yang up-to-date kepada operator melalui graphical user interface.
2. Menerjemahkan instruksi operator ke mesin.
3. Engineering Development Station.

#### **2.2.4.2 Bagian-bagian dari Human Machine Interface (HMI)**

1. Tampilan Statis dan Dinamik

Pada tampilan HMI terdapat dua macam tampilan yaitu Obyek statis dan Obyek dinamik:

- a. Obyek statis, yaitu obyek yang berhubungan langsung dengan peralatan atau database. Contoh : teks statis, layout unit produksi
- b. Obyek dinamik, yaitu obyek yang memungkinkan operator berinteraksi dengan proses, peralatan atau database serta memungkinkan operator melakukan aksi kontrol. Contoh : push buttons, lights, charts

2. Manajemen Alarm

Suatu sistem produksi yang besar dapat memonitor sampai dengan banyak alarm. dengan banyak alarm tersebut dapat membingungkan operator. Setiap alarm harus di-acknowledged oleh operator agar dapat dilakukan aksi yang sesuai dengan jenis alarm. Oleh karena itu dibutuhkan suatu manajemen alarm dengan tujuan mengeleminir alarm yang tidak berarti.

### 3. Trending

Perubahan dari variable proses kontinyu paling baik jika dipresentasikan menggunakan suatu grafik berwarna. Grafik yang dilaporkan tersebut dapat secara summary atau historical.

### 4. Reporting

Dengan reporting akan memudahkan pembuatan laporan umum dengan menggunakan report generator seperti alarm summary reports. Selain itu, reporting juga bisa dilaporkan dalam suatu database, messaging system, dan web based monitoring. Pembuatan laporan yang spesifik dibuat menggunakan report generator yang spesifik pula. Laporan dapat diperoleh dari berbagai cara antara lain melalui aktivasi periodik pada selang interfalt.