

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Materi tentang sistem perubahan kecepatan motor induksi 3 fasa sudah banyak diangkat sebagai judul untuk menyelesaikan tugas akhir. Penyusunan tugas akhir ini menggunakan beberapa referensi dari laporan tugas akhir yang sebelumnya sudah ada. Terdapat 3 referensi yang digunakan untuk menyusun tugas akhir.

Tugas Akhir yang dibuat oleh Fandy Hartono mahasiswa Teknik Elektro ITS dengan judul "*Pengaturan Kecepatan Dan Posisi Motor Ac 3 Fasa Menggunakan Dc Avr Low Cost Micro System*" membahas tentang Kecepatan putar motor AC 3 fasa dapat dikontrol dengan cara mengontrol frekuensi tegangan AC 3 fasa yang digunakan untuk menggerakkan motor, Frekuensi tegangan output dari VSD dapat dikontrol oleh *mikrokontroler Atmega 16* dengan cara memberikan tegangan antara 0 volt hingga 5 volt pada pin analog input pada VSD. [1]

Tugas akhir kedua dengan judul "*Sistem Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Kontroler PID Berbasis Genetic Algorithm*." yang dibuat oleh Fatih Wildan Mutammimul Wildan pada tahun 2016, menyatakan bahwa pengaturan kecepatan pada motor induksi tiga fasa diperlukan adanya 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 GA dalam penentuan parameter kontrol PID. [2]

Adapun Tugas akhir yang dibuat oleh Deni Nurul Huda mahasiswa Politeknik Negeri Bandung pada tahun 2016 dengan judul “*Pengujian Unjuk Kerja Variabel Speed Drive Vf-S9 Dengan Beban Motor Induksi 3 Fasa 1 Hp*” berisi tentang *Variabel Speed Drive* adalah alat yang digunakan untuk mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC, kemudian tegangan DC tersebut diubah lagi menjadi tegangan AC dengan frekuensi yang diinginkan dengan tujuan untuk mengatur kecepatan motor induksi. Kecepatan motor induksi dapat diubah dengan cara mengubah nilai frekuensi. [3]

Perbedaan dengan Tugas Akhir diatas adalah pada sistem monitoring menggunakan *HMI* untuk menampilkan hasilnya. Selain itu perbedaan terletak pada mikrokontroler yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah menggunakan *PLC Schneider Modicon*.

2.2 PLC

PLC merupakan suatu bentuk khusus pengontrol berbasis-mikroprosesor yang memanfaatkan memori yang dapat diprogram untuk menyimpan instruksi-instruksi dan untuk mengimplementasikan fungsi-fungsi semisal logika,

sequencing, pewaktuan (*timing*), pencacahan (*counting*) dan aritmetika guna mengontrol mesin-mesin dan proses-proses dan dirancang untuk dioperasikan oleh para insinyur yang hanya memiliki sedikit pengetahuan mengenai computer dan bahasa pemrograman. Piranti ini dirancang sedemikian rupa agar tidak hanya programmer computer yang dapat membuat atau mengubah program-programnya. Oleh karena itu, para perancang PLC telah menempatkan sebuah program awal di dalam piranti ini (pre-program) yang memungkinkan program-program control dimasukkan dengan menggunakan suatu bentuk bahasa pemrograman yang sederhana dan intinsif. [4]

Istilah logika (*logic*)dipergunakan karena pemrograman yang harus dilakukan sebagian besar berkaitan dengan pengimplementasianoperasi-operasi logika dan penyambungan (*switching*), misalnya jika A atau B terjadi maka sambungkan (atau hidupkan) C, jika A dan B terjadi maka sambungkan D. Perangkat-perangkat input yaitu sensor-sensor semisal saklar, dan perangkat-perangkat output di dalam sistem dikontrol, misalnya motor, katup dsb. Disambungkan ke *PLC* sang operator kemudian memasukkan serangkaian instruksi yaitu sebuah program ke dalam memori *PLC*. Perangkat pengontrol tersebut kemudian memantau input-input dan output-output sesuai dengan instruksi-instruksi di dalam program dan melaksanakan aturan-aturan kontrol yang telah diprogramkan.

PLC memiliki keunggulan yang signifikan, karena sebuah perangkat pengontrol yang sama dapat dipergunakan di dalam beraneka ragam sistem

kontrol. Untuk memodifikasi sebuah sistem kontrol dan aturan-aturan pengontrolan yang dijalankannya, yang harus dilakukan oleh seorang operator hanyalah melakukan seperangkat instruksi yang berbeda dari yang digunakan sebelumnya. Penggantian rangkaian kontrol tidak perlu dilakukan. Hasilnya adalah sebuah perangkat yang fleksibel dan hemat biaya yang dapat dipergunakan dalam sistem-sistem kontrol yang sifat dan kompleksitasnya sangat beragam. *PLC* serupa dengan komputer namun, bedanya: komputer dioptimalkan untuk tugas-tugas penghitung dan penyajian data, sedangkan *PLC* dioptimalkan untuk tugas-tugas pengontrolan dan pengoperasian di dalam lingkungan industri.

Dengan demikian *PLC* memiliki karakteristik:

1. Kokoh dan dirancang untuk tahan terhadap getaran, suhu, kelembaban dan kebisingan.
2. Antarmuka untuk input dan output telah tersedia secara built-in di dalamnya.
3. Mudah diprogram dan menggunakan sebuah bahasa pemrograman yang mudah dipahami, yang sebagian besar berkaitan dengan operasi-operasi logika dan penyambungan.

Perangkat *PLC* pertama dikembangkan pada tahun 1969. Dewasa ini *PLC* secara luas digunakan dan telah dikembangkan dari unit-unit kecil yang berdiri sendiri (*self-contained*) yang hanya mampu menangani sekitar 20 input/output menjadi sistem-sistem modular yang dapat menangani input/output dalam jumlah besar, menangani input/output analog maupun digital, dan melaksanakan mode

mode kontrol proporsional-integral-derivatif. Berikut ini adalah gambar 2.1 yang menunjukkan bentuk fisik dari PLC Schneider TM221CE16R.



Gambar 2.1 PLC Schneider TM221CE16R

2.2.1 Hardware

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

1. Unit *Procesor* 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 ddidalam 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 perangkat-perangkat eksternal.

2.2.2 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 pada operator.

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. [5]

2.2.3 Konsep Perancangan Sistem kendali dengan PLC

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

1. Rancangan Sistem Kendali

Dalam tahapan ini siperancang 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 *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. Perancaan 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*)

2.2.4 *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 *address* sesuai dengan tipe *PLC* yang digunakan. *Address* 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*

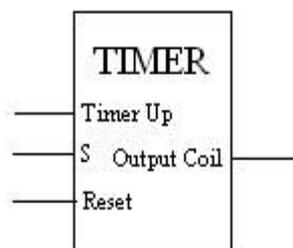
Penggunaan *Normally close Contact* harus disertai dengan *address* sesuai dengan tipe *plc* yang digunakan. *Address* bertujuan untuk memberikan perintah sebagai input atau set *Output Coil*.

1. 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. Berdasarkan cara kerjanya, *timer* dibagi dalam beberapa macam, antara lain :

a. *Timer Up*

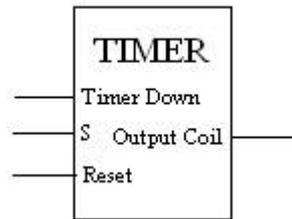
Timer Up merupakan perintah untuk menunda ketika waktu yang di tunda telah sampai maka *timer* akan aktif. dengan catatan pada saat waktu berjalan *timer* keadaan *LOW* atau dalam bahasa *logic* '0' ketika waktu sampai maka *timer* akan aktif *HIGH* atau *Logic* '1'. Di bawah ini gambar 2.4 merupakan contoh gambar perintah dari *timer Up*



Gambar 2.4 *Ladder Diagram* perintah *Timer Up*

b. *Timer Down*

Timer Down merupakan kebalikan dari *timer Up* *timer* ini akan ber*logic* 1 atau *high* saat waktu berjalan dan apabila waktu telah sampai batasnya maka keadaan *timer* akan *low* atau *logic* '0' dibawah ini Gambar 2.5 merupakan contoh perintah *timer down*.



Gambar 2.5 Ladder Diagram perintah *Timer Down*

2. 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.

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. Di dalam penggunaan counter, terdapat 2 jenis counter yang sering digunakan yaitu :

1. *Counter Up*

Counter Up adalah serangkaian *flip-flop* yang dihubungkan secara seri dengan cara *output flip-flop* yang pertama menjadi *input flip-flop* berikutnya. Pulsa dari *clock* menjadi *input* untuk *flip-flop* yang pertama dan akan menyebabkan perubahan pada kondisi *output* untuk saat yang di kehendaki. *Counter Up* ini berfungsi untuk menghitung secara maju.

2. Counter Down

Counter Down adalah serangkaian *flip-flop* yang dihubungkan secara seri dengan cara *output flip-flop* yang pertama menjadi *input flip-flop* berikutnya.

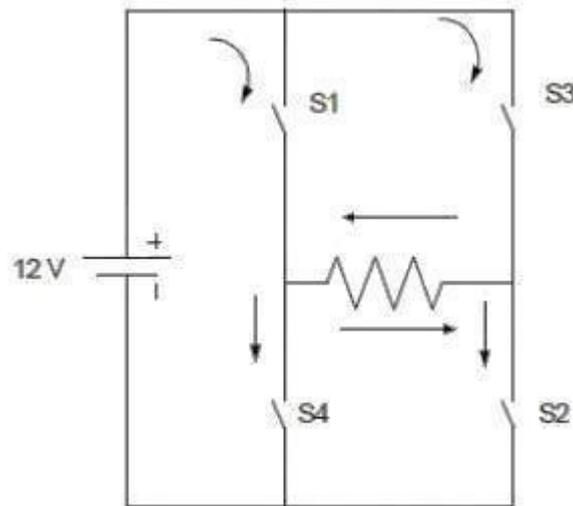
Pulsa dari *clock* menjadi *input* untuk *flip-flop* yang pertama dan akan menyebabkan perubahan pada kondisi *output* untuk saat yang di kehendaki.

2.3 Inverter

Inverter adalah perangkat elektronika yang dipergunakan untuk mengubah tegangan *DC (Direct Current)* menjadi tegangan *AC (Alternating Current)*. Output suatu inverter dapat berupa tegangan AC dengan bentuk gelombang sinus (*sine wave*), gelombang kotak (*square wave*) dan sinus modifikasi (*sine wave modified*). Inverter tidak bisa memproduksi listrik AC hanya berfungsi mengubah dari tegangan sumber arus *DC* yang sering kali berupa baterai/aki, *solar cell*/panel dan lain-lain.

2.3.1 Prinsip Kerja Inverter

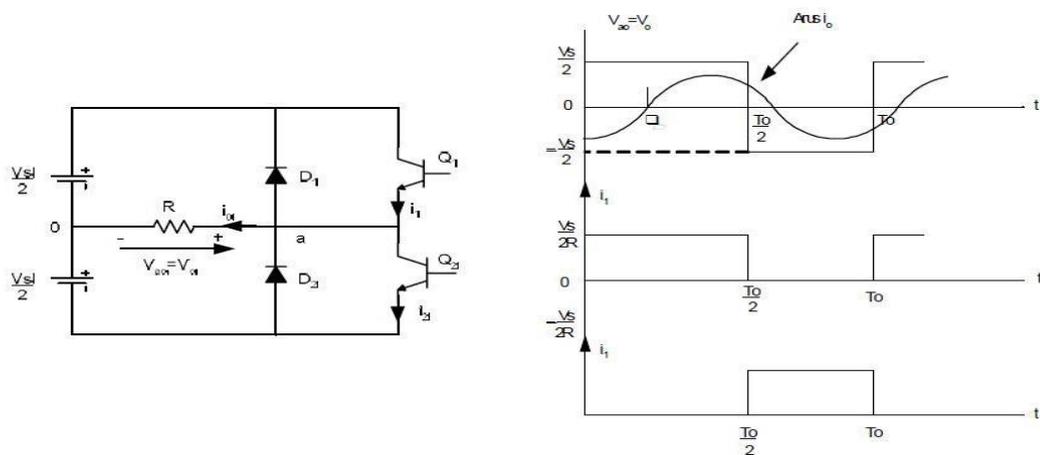
Prinsip kerja inverter dapat dijelaskan dengan menggunakan 4 sakelar seperti ditunjukkan pada dibawah. Bila sakelar S1 dan S2 dalam kondisi on maka akan mengalir aliran arus *DC* ke beban R dari arah kiri ke kanan, jika yang hidup adalah sakelar S3 dan S4 maka akan mengalir aliran arus *DC* ke beban R dari arah kanan ke kiri. Gambar 2.6 merupakan skema rangkaian Inverter yang biasanya menggunakan rangkaian modulasi lebar pulsa (*pulse width modulation – PWM*) dalam proses konversi tegangan *DC* menjadi tegangan *AC*. [6]



Gambar 2.6 Konsep Kerja Inverter

2.3.2 Inverter Gelombang penuh

yaitu inverter yang memiliki tegangan output dengan bentuk gelombang sinus murni. Inverter jenis ini dapat memberikan supply tegangan ke beban (Induktor) atau motor listrik dengan efisiensi daya yang baik. Gambar 2.7 menunjukkan gelombang penuh inverter.



Gambar 2.7 Gelombang Penuh Inverter

Rangkaian dasar inverter gelombang penuh dan bentuk gelombang output dengan beban resistif ditunjukkan pada gambar diatas. Ketika transistor Q1 dan Q2 bekerja (*ON*), tegangan V_s akan mengalir ke beban tetapi Q3 dan Q4 tidak bekerja (*OFF*). Selanjutnya, transistor Q3 dan Q4 bekerja (*ON*) sedangkan Q1 dan Q2 tidak bekerja (*OFF*), maka pada beban akan timbul tegangan $-V_s$.

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam memilih inverter DC ke AC diantaranya adalah.

- **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**, Sinewave ataupun square wave untuk tegangan output AC inverter. Hal ini berkaitan dengan kesesuaian dan efisiensi inverter DC ke AC tersebut. [7]

2.4 Motor Induksi

Motor induksi merupakan motor arus bolak-balik (ac) yang paling luas digunakan. penamaannya berasal dari kenyataan bahwa arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu. Tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relative antara putaran rotor dengan medan putar (*rotating magnetic fiend*). [8]

Belitan stator yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan tiga fasa akan menghasilkan medan magnet yang berputar dengan kecepatan sinkron

$$(n_1 = \frac{120 \cdot f}{p}) \dots\dots\dots (2.1)$$

n= kecepatan sinkron (rpm)

f= frekuensi (Hz)

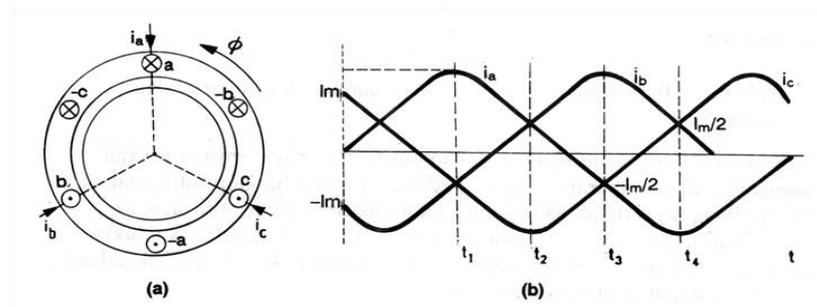
p= jumlah kutub

2.4.1 Medan Putar

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.

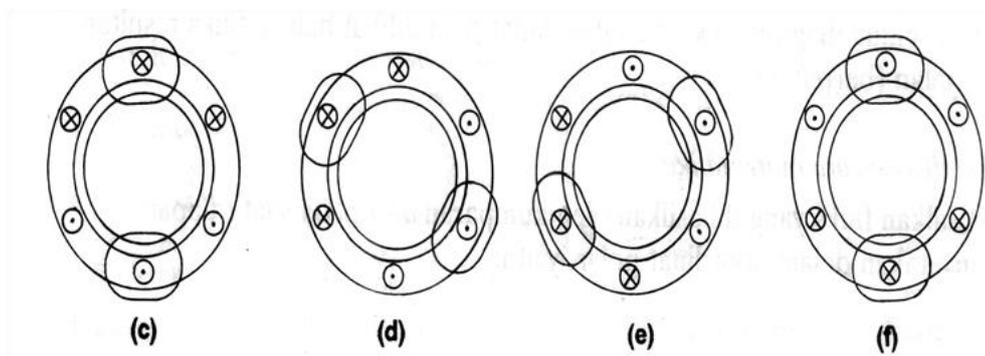
Misalkan kumparan a – a; b – b; c – c dihubungkan 3 fasa, dengan beda fasa masing – masing 120° yang ditunjukkan oleh Gambar 2.8a dan dialiri arus sinusoid. Distribusi arus i_a, i_b, i_c sebagai fungsi waktu adalah seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 28b. Pada keadaan $t_1, t_2, t_3,$ dan t_4 , fluks resultan yang ditimbulkan oleh kumparan tersebut masing – masing adalah seperti Gambar 2.9c, d, e, dan f.

Pada t_1 *fluks* resultan mempunyai arah sama dengan arah *fluks* yang dihasilkan oleh kumparan a – a; sedangkan pada t_2 , *fluks* resultannya mempunyai arah sama dengan arah *fluks* yang dihasilkan oleh kumparan c – c; dan untuk t_3 *fluks* resultan mempunyai arah sama dengan *fluks* yang dihasilkan oleh kumparan b – b. Untuk t_4 , *fluks* resultannya berlawanan arah dengan *fluks* resultan yang dihasilkan pada saat t_1 keterangan ini akan lebih jelas pada analisa vektor.



Gambar 2.8(a) Diagram fasor fluksi tiga fasa

(b) arus tiga fasa setimbang



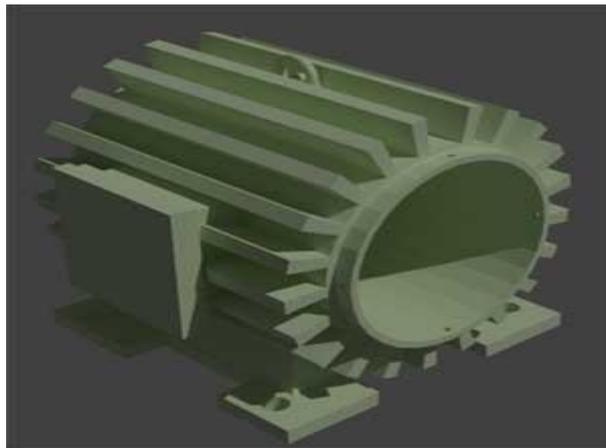
Gambar 2.9 Medan putar pada motor induksi tiga Fasa

2.4.2 Konstruksi Motor 3 fasa

Sama seperti mesin-mesin listrik pada umumnya, motor 3 fasa memiliki 2 komponen penting, yaitu: stator dan rotor.

1. **Stator** merupakan komponen yang tidak berputar pada mesin. Pada komponen ini dipasang stator winding berupa kumparan. Stator ini dihubungkan dengan suplai 3 fasa untuk memutar rotor. Stator sendiri memiliki 3 bagian penting. Berikut adalah gambar 2.10 yang menunjukkan gambar Frame Stator.

- **Frame**



Gambar 2.10 Frame Stator

Frame merupakan bagian terluar dari stator. Berfungsi sebagai tempat untuk memasang inti stator (stator core) dan juga melindungi keseluruhan komponen dari gangguan benda benda dari luar (seperti batu yang dilemparkan ke motor atau semacamnya). Umumnya *frame* dibuat dari besi agar frame menjadi kuat. Dalam konstruksinya, air gap (celah udara) pada motor haruslah sangat kecil agar rotor dan stator konsentris dan mencegah induksi yang tidak merata. Air gap yang dimaksud disini ialah celah yang mungkin terbentuk pada

permukaan frame bukan lingkaran besar seperti pada gambar, karena lingkaran tersebut akan diisi oleh inti stator dan rotor.

- **Inti**

Inti stator merupakan tempat dimana stator winding dipasang. Inti stator bertugas untuk menghasilkan fluks. Fluks ini dihasilkan oleh kumparan pada stator winding dan dialiri oleh arus 3 fasa dari suplai 3 fasa. Untuk mencegah arus *eddy* yang besar pada stator winding umumnya inti stator dilapisi oleh lamina. Lamina sendiri terbuat oleh campuran besi silikon untuk mencegah rugi-rugi histerisis. Pada inti stator juga dipasang kutub-kutub magnet untuk menghasilkan fluks

- **Winding**

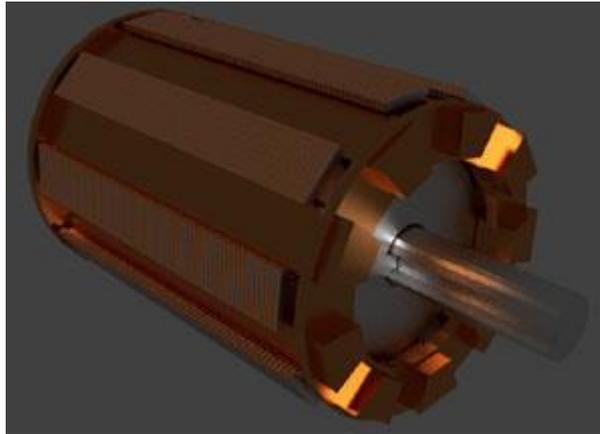
Stator winding merupakan kumparan yang masing-masing kumparannya dihubungkan menjadi rangkaian *star* atau *delta*, tergantung dari bagaimana metode untuk memutar mesin yang digunakan dan jenis rotor yang digunakan. Untuk rotor jenis sarang tupai umumnya menggunakan rangkaian delta sedangkan rotor jenis slip ring bisa menggunakan salah satu dari keduanya. Stator winding dipasang pada sela-sela inti stator dan berfungsi untuk menghasilkan fluks. Stator winding juga dikenal sebagai kumparan medan.

2. **Rotor**

Merupakan bagian yang dapat berputar dari motor. Rotor dihubungkan dengan beban yang akan diputar dengan sebuah shaft yang terpasang pada pusat

rotor. Berdasarkan konstruksinya, rotor Sarang Tupai Atau Squirrel Cage yang ditunjukkan oleh gambar 2.11.

- **Sarang Tupai Atau *Squirrel Cage***



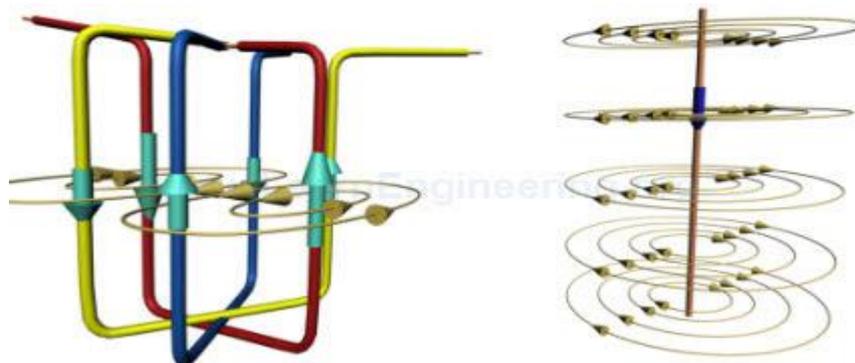
Gambar 2.11 Rotor tipe *Squirrel Cage*

Rotor tipe ini memiliki bentuk seperti roda gear, berbentuk tabung dan diberi beberapa slot dipermukaannya. Slot ini tidak dibuat lurus namun sedikit miring untuk memperhalus kerja motor dan membuat “konduktor” pada rotor. Dikedua ujung rotor dipasang cincin alumunium. Umumnya rotor jenis ini terbuat dari alumunium atau tembaga. Rotor jenis ini sangat sering digunakan karena mudah dibuat dan dapat digunakan berapapun kutub pada stator. Rotor jenis ini dapat ditemui pada kipas angin dan blower pada printer.

2.4.3 Prinsip Kerja Motor Induksi

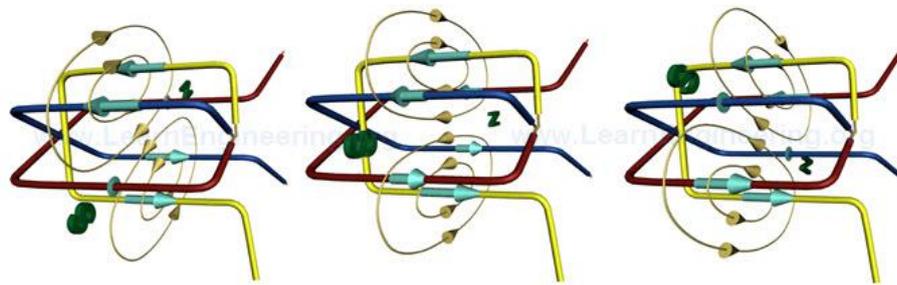
Motor Induksi 3 Fasa bekerja sebagai berikut. Misalkan kita memiliki sumber AC 3 fasa yang terhubung dengan stator pada motor. Karena stator terhubung dengan sumber AC maka arus dapat masuk ke stator melalui kumparan stator. Sekarang kita hanya melihat 1 kumparan stator saja. Sesuai

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. Dibawah ini gambar 2.12 yang menjelaskan tentang bagaimana arus pada kabel menghasilkan fluks.



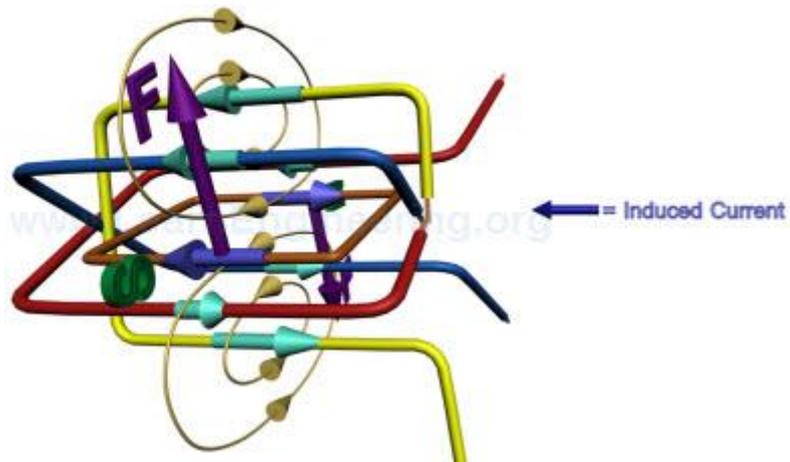
Gambar 2.12 Arus pada Kabel menghasilkan Fluks

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. Secara tidak langsung dapat dikatakan bahwa medan magnet yang dibangkitkan juga ikut “berputar” seiring waktu. Kecepatan putaran medan magnet ini disebut kecepatan sinkron. Berikut adalah gambar 2.13 yang menunjukkan berputarnya medan magnet akibat arus 3 fasa.



Gambar 2.13 Berputarnya Medan Magnet akibat Arus 3 Fasa

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 seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.14. Dari gaya itulah motor dapat menambah kecepatannya kembali. Fenomena perbedaan kecepatan ini dikenal sebagai slip.



Gambar 2.14 Gaya timbul akibat dari hukum Lorentz

2.4.4 Slip

Berubah-ubahnya kecepatan motor induksi mengakibatkan berubahnya harga slip dari 100% pada saat start sampai 0% pada saat motor diam ($n_r = n_s$). hubungan frekuensi dengan slip dapat dilihat sebagai berikut:

$$N_s = 120f/p$$

Atau

$$f_1 = \frac{p n_s}{120} \dots\dots\dots (2.2)$$

Pada rotor berlaku hubungan :

$$f_2 = \frac{p(n_s - n_r)}{120} \dots\dots\dots (2.3)$$

f_2 =frekuensi arus rotor

atau

$$f_2 = \frac{p n_s}{120} \times \frac{n_s - n_r}{n_s} \dots\dots\dots (2.4)$$

Karena

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \text{ dan } f_1 = \frac{pn_s}{120} \dots\dots\dots (2.5)$$

Maka

$$f_2 = f_1 \times S \dots\dots\dots (2.6)$$

Pada saat start: $S = 100\%$; $S = 100\%$; $f_2 = f_1$

Demikianlah terlihat bahwa pada saat start dan rotor belum berputar, frekuensi pada saat stator dan rotor sama. Dalam keadaan rotor berputar, frekuensi arus motor dipengaruhi oleh slip ($f_2 = Sf_1$). Karena tegangan induksi dan reaktansi kumparan rotor merupakan fungsi frekuensi, maka harganya turut pula dipengaruhi oleh slip.

$$E_{2s} = 4.44 f_2 N_{2\phi_m} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$E_{2s} = 4.44 f_1 N_{2\phi_m} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$E_{2s} = SE_2 \dots\dots\dots (2.9)$$

E_2 = tegangan induksi pada saat start (diam)

E_{2s} = tegangan induksi pada saat motor berputar.

$$X_{2s} = 2\pi f_2 L_{2s} \dots\dots\dots (2.10)$$

$$X_{2s} = 2\pi S f_1 L_{2s} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$X_{2s} = SX_2 \dots\dots\dots (2.12)$$

X_{2s} adalah reaktansi pada saat rotor berputar

X_2 adalah reaktansi pada saat start

2.5 *Variable Speed Drive (VSD)*

Variable Speed Drive atau *VSD* adalah suatu alat yang digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor listrik (*AC*) dengan mengontrol frekuensi daya listrik yang dipasok ke motor. *VSD* mengontrol kecepatan motor induksi dengan mengubah frekuensi dari grid untuk nilai disesuaikan pada sisi mesin sehingga memungkinkan motor listrik dengan cepat dan mudah menyesuaikan kecepatan dengan nilai yang diinginkan. Dua fungsi utama dari *Variable Speed Drive* adalah untuk melakukan konversi listrik dari satu frekuensi ke yang lain, dan untuk mengontrol frekuensi keluaran.

2.5.1 Prinsip Kerja VSD

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

1. Tegangan yang masuk dari jala- jala 220/380 volt dan frekuensi 50 *Hz* merupakan tegangan arus bolak-balik (*AC*) dengan nilai tegangan dan frekuensi yang konstan. Kemudian tegangan dan frekuensi yang masuk dialirkan ke *board Rectifier/* penyearah DC, dan ditampung ke kapasitor bank.
2. Untuk meratakan tegangan DC, maka tegangan dimasukkan ke DC link. Komponen yang terdapat pada DC *link* berupa kapasitor atau induktor.
3. Tegangan DC kemudian diumpankan ke *board inverter* untuk dijadikan AC kembali dengan frekuensi sesuai kebutuhan. Jadi dari DC ke AC yang komponen utamanya adalah Semikonduktor aktif seperti IGBT. Dengan

menggunakan frekuensi *carrier* (bisa sampai 20 kHz), tegangan DC dicacah dan dimodulasi sehingga keluar tegangan dan frekuensi yang diinginkan. [9]

2.5.2 Operasi Variable Speed Drive

Variable Speed Drive mempertahankan nilai tegangan keluaran ke frekuensi (V/F) dengan nilai rasio konstan pada semua kecepatan untuk alasan yang berikut. Tegangan fasa (V), frekuensi (F) dan fluks magnetik (Φ) motor terkait dengan persamaan:

$$V = 4,44 f N \Phi_m \dots\dots\dots (2.13)$$

$$V/f = 4,44 N \Phi_m \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan :

N = jumlah lilitan stator berubah per fasa.

Φ_m = fluks magnetik

Jika tegangan yang sama diterapkan pada frekuensi yang berkurang, maka fluks magnetik akan meningkat dan menjenuhkan inti magnetik, secara signifikan mendistorsi kinerja motor sehingga bekerja pada daerah yang tidak sesuai dengan perancangannya. Saturasi magnetik dapat dihindari dengan menjaga konstan Φ_m sesuai dengan perancangannya sebagaimana persamaan . Selain itu, torsi motor dihasilkan dari *fluks* stator dan arus rotor. [3]

Untuk mempertahankan nilai torsi, maka harus menjaga rating nilai pada *fluks*, yang dilakukan dengan menjaga tegangan ke frekuensi (V/F) rasio konstan. Untuk itu dibutuhkan penurunan dari tegangan motor dalam proporsi yang sama dengan frekuensi untuk menghindari kejenuhan magnetik. Pengendalian *VSD*

dengan metode kendali volt/ hertz konstan kontrol ini menggunakan sistem loop terbuka dengan bentuk yang sederhana mengambil perintah referensi dari sumber luar yaitu dari potensiometer. Prinsip kerjanya adalah ketika fluks stator dijaga konstan, torsi yang dihasilkan tidak bergantung pada suplai frekuensi. Atau dalam kata lain kecepatan motor sangat bergantung pada frekuensi. Untuk menjaga *fluks* dalam kondisi konstan, bekerja pada *rating* level tertentu. Tegangan stator harus dapat diatur secara proporsional terhadap suplai frekuensi. Pada operasi kecepatan rendah, tegangan jatuh pada resistansi stator harus dimasukkan dalam hitungan fluks konstan, dan tegangan stator.

2.6 Sensor *Optocoupler*

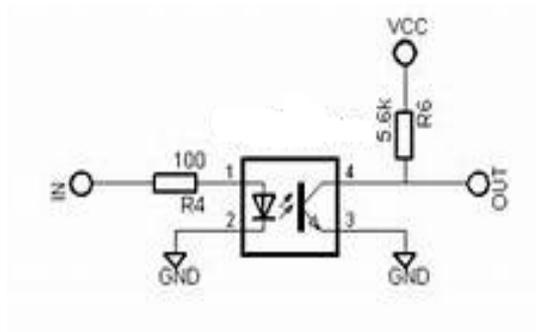
Optocoupler adalah suatu piranti yang terdiri dari 2 bagian yaitu *transmitter* dan *receiver*, yaitu antara bagian cahaya dengan bagian deteksi sumber cahaya terpisah. *Optocoupler* merupakan salah satu jenis komponen yang memanfaatkan sinar sebagai pemicu *on/off*-nya. *Opto* berarti *optic* dan *coupler* berarti pemicu. Sehingga bisa diartikan bahwa *optocoupler* merupakan suatu komponen yang bekerja berdasarkan picu *cahaya optic opto-coupler* termasuk dalam sensor, dimana terdiri dari dua bagian yaitu *transmitter* dan *receiver*. LED infra merah ini merupakan komponen elektronika yang memancarkan cahaya infra merah dengan konsumsi daya sangat kecil. [10]

Jika diberi prasiap maju, LED infra merah yang terdapat pada *optocoupler* akan mengeluarkan panjang gelombang sekitar 0,9 mikrometer. *Phototransistor* memiliki sambungan kolektor–basis yang besar dengan cahaya

infra merah, karena cahaya ini dapat membangkitkan pasangan lubang elektron. Dengan diberi prasiikap maju, cahaya yang masuk akan menimbulkan arus pada kolektor. Phototransistor memiliki bahan utama yaitu germanium atau silikon yang sama dengan bahan pembuat transistor. Tipe phototransistor juga sama dengan transistor pada umumnya yaitu PNP dan NPN. Perbedaan transistor dengan phototransistor hanya terletak pada rumahnya yang memungkinkan cahaya infra merah mengaktifkan daerah basis, sedangkan transistor biasa ditempatkan pada rumah logam yang tertutup.

2.6.1 Prinsip Kerja sensor *optocoupler*

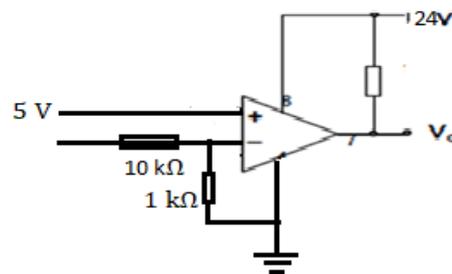
Transmitter pada alat pengaturan kecepatan motor ini akan selalu menyala, karena *transmitter* selalu mendapatkan input 5 volt dari catu daya. Jika antara phototransistor dan LED terdapat penghalang maka *phototransistor* tersebut akan off sehingga output dari kolektor akan berlogika high atau menghasilkan tegangan keluaran 5 Volt. Sebaliknya jika antara phototransistor dan LED tidak terdapat penghalang maka phototransistor tersebut akan on sehingga output-nya akan berlogika *low* atau menghasilkan tegangan keluaran 0 Volt. Selanjutnya output dari sensor optocoupler ini akan dimasukkan kedalam rangkaian komparator. Gambar 2.15 merupakan gambar skematik instalasi dari sensor optocoupler.



Gambar 2.15 Skematik instalasi sensor optocoupler

2.7 Rangkaian Komparator

Komparator tegangan adalah sebuah rangkaian yang dapat dengan cermat membandingkan besar tegangan yang di hasilkan. Rangkaian ini biasanya menggunakan komparator *Op-Amp* sebagai piranti utama dalam sebuah rangkaian. Komparator digunakan sebagai pembanding dua buah tegangan. Komparator bisa dibuat dari konfigurasi *open-loop Op Amp* seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.16. Pada topik ini, komparator digunakan untuk pembanding dua buah tegangan tegangan yang berasal dari input sensor dengan tegangan referensi pada Pengkondisi Sinyal. [12]



Gambar 2.16 Komparator

2.8 *Human Machine Interface (HMI)*

Human Machine Interface merupakan media komunikasi antara manusia dan mesin dari suatu sistem. *HMI* membantu operator secara lebih dekat untuk

mengontrol suatu plan sistem dan operasi *PLC* pada setiap tahap pengoperasian plan sebagai basis proses visualisasi sistem yang menghubungkan semua komponen dalam sistem dengan baik. Dengan menggunakan *HMI* sebagai console operator. Operator bisa menyajikan berbagai macam analisa grafis, hystorial information, database, data login untuk, keamanan, dan animasi kedalam bentuk *software*. [13]

Gambar 2.17 merupakan contoh tampilan pada HMI.



Gambar 2.17 Human Machine Interface

Dengan membuat desain HMI yang sesuai, akan membuat pekerjaan fisik lebih mudah. Pada hampir semua solusi teknis, efektifitas dari HMI adalah dapat berupa pengendali dan visualisasi status, baik dengan manual maupun melalui visualisasi komputer yang bersifat *real time*. Sistem HMI biasanya bekerja secara *real time* dengan membaca data yang dikirimkan melalui *I/O port* yang digunakan oleh sistem *controller*-nya. *Port* yang biasanya digunakan untuk *controller* dan akan dibaca oleh HMI antara lain adalah *port com*, *port USB*, *port Rj45* dan ada pula yang menggunakan *port serial*.

2.8.1 Fungsi *HMI*

1. Memberikan informasi *plant* yang *up-to-date* kepada operator melalui *graphical user-interface*.
2. Menerjemahkan instruksi operator ke mesin.
3. Memonitor keadaan yang ada di *plant*.
4. Mengatur nilai parameter yang ada di *plant*.
5. Mengambil tindakan yang sesuai dengan keadaan yang terjadi.
6. Menampilkan pola data kejadian yang ada di *plant* baik secara real time maupun historical atau real time.

2.8.2 Bagian Dari *HMI*

Pada tampilan *HMI* terdapat dua macam tampilan objek yaitu statis dan objek dinamis:

1. Objek Statis

Yaitu objek yang berhubungan dengan peralatan atau *database*. Contoh: teks statis, *layout* unit produksi.

2. Objek Dinamis

Yaitu objek yang memungkinkan operator berinteraksi dengan proses, peralatan atau *database* serta memungkinkan operator melakukan aksi control. Contoh : *push button, light, charts*

3. Manajemen alarm

Suatu produksi yang besar dapat memonitor sampai dengan banyak alarm tersebut dapat membingungkan operator.

4. *Trending*

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

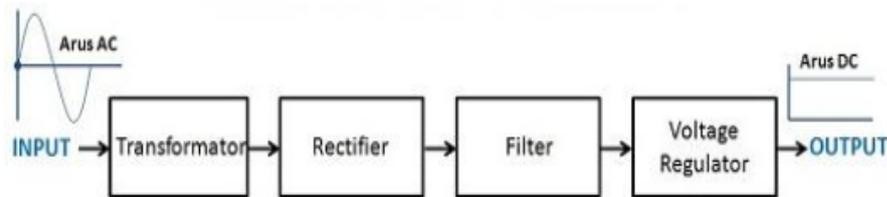
5. *Reporting*

Dengan *reporting* akan memudahkan pembuatan laporan umum dengan menggunakan report generator setiap alarm *summary reports*. Selain itu, *reporting* juga bisa dilakukan dalam suatu *database*.

2.9 **Catu Daya**

Catu daya merupakan pemberi sumber daya bagi perangkat elektronika. Perangkat elektronika mestinya dicatu oleh power supply arus searah DC (direct current) yang stabil agar dapat dengan baik. Baterai atau accu adalah sumber catu daya DC yang paling baik. Namun untuk aplikasi yang membutuhkan catu daya lebih besar, sumber dari baterai tidak cukup. Sumber catu daya yang besar adalah sumber bolak-balik AC (alternating current) dari pembangkit tenaga listrik. Untuk itu diperlukan suatu perangkat catu daya yang dapat mengubah arus AC menjadi DC. Hampir semua rangkaian elektronik membutuhkan suatu sumber tegangan DC, yang beberapa kasus, pencatuan ini dapat dilakukan secara langsung oleh baterai (misalnya 6V, 9V, 12V) berikut adalah diagram blok catu

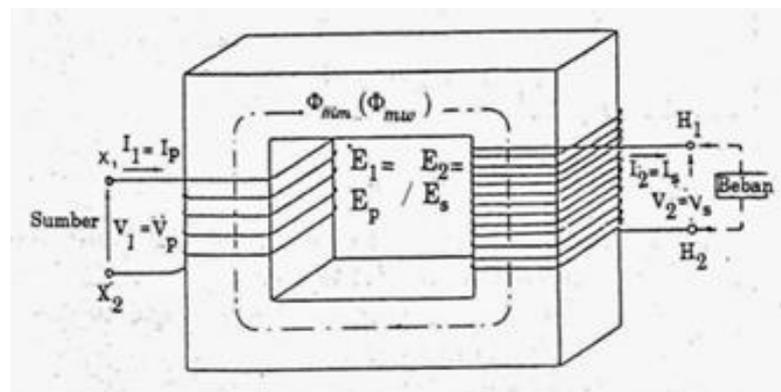
daya. Dibawah ini adalah gambar 2.18 diagram blok catu daya yang menjelaskan proses perubahan dari arus AC menjadi Arus DC.



Gambar 2.18 Diagram Blok Catu Daya

2.9.1 Transformator

Transformator atau sering disingkat dengan istilah Trafo adalah suatu alat listrik yang dapat mengubah taraf suatu tegangan AC ke taraf yang lain. Maksud dari perubahan taraf tersebut diantaranya seperti menurunkan Tegangan AC dari 220VAC ke 12 VAC ataupun menaikkan Tegangan dari 110VAC ke 220 VAC. Transformator atau Trafo ini bekerja berdasarkan prinsip Induksi Elektromagnet dan hanya dapat bekerja pada tegangan yang berarus bolak balik (AC). Gambar 2.19 menjelaskan tentang transformator ideal.



Gambar 2.19 Transformator Ideal

Sisi belitan X_1 dan X_2 adalah sisi tegangan rendah dan sisi belitan H_1H_2 adalah sisi tegangan tinggi.

Bila salah satu sisi, baik sisi tegangan tinggi (TT), maupun sisi tegangan rendah (TR), dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, maka sisi tersebut disebut dengan sisi primer, sedangkan sisi yang lain yang dihubungkan dengan beban disebut sisi sekunder.

Sisi belitan X_1 dan X_2 dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik sebesar $V_1 = V_p$, maka fluks bolak-balik akan dibangkitkan pada inti sebesar ϕ_{mm} atau sebesar ϕ_{mw} .

Fluks sebesar $\phi_{mm} = \phi_{mw}$ akan melingkar dan menghubungkan belitan kawat primer dengan belitan kawat sekunder serta menghasilkan tegangan induksi (EMF=GGL) baik pada belitan primer sebesar $E_1=E_p$, maupun pada belitan sekunder sebesar $E_2=E_s$, yang akan mengikuti persamaan berikut:

Untuk Belitan Primer

$$E_1 = E_p = 4,44 \times f \times N_p \times \phi_{mm} \times 10^{-8} \text{ volt}$$

Atau..... (2.15)

$$E_1 = E_p = 4,44 \times f \times N_p \times \phi_{mw} \text{ volt}$$

Untuk Belitan Sekunder

$$E_1 = E_s = 4,44 \times f \times N_p \times \phi_{mm} \times 10^{-8} \text{ volt}$$

Atau..... (2.16)

$$E_1 = E_p = 4,44 \times f \times N_p \times \phi_{mw} \text{ volt}$$

Dengan, $E_1=E_p$ = EMF(GGL) atau tegangan induksi yang dibangkitkan pada belitan pada belitan primer

$E_2=E_s$ = EMF(GGL) atau tegangan induksi yang dibangkitkan pada belitan pada belitan sekunder

$N_1=N_p$ = Banyaknya belitan pada sisi primer

$N_2=N_s$ = Banyaknya belitan pada sisi sekunder

Φ_{mm} = Fluks maksimum dalam besaran Maxwell

Φ_{mw} = Fluks maksimum dalam besaran Weber

f = Frekuensi arus dan tegangan sistem

$V_1=V_p$ = Tegangan sumber yang masuk primer

$V_2=V_s$ = Tegangan sekunder ke beban

Fluks maksimum dalam besaran Maxwell dan fluks maksimum dalam besaran weber, hubungannya akan mengikuti persamaan berikut:

$$\Phi_{mm} = \Phi_{mw} = B_m = A \dots\dots\dots (2.17)$$

dengan, B_m = Kerapatan fluks maksimum

$$A = \text{Luas penampang dari inti dalam } m^2$$

Untuk trafo ideal, maka berlaku persamaan berikut.

$$V_1 = E_1 = V_p = E_p \text{ dan } V_2 = E_2 = V_s = E_s \dots\dots\dots (2.18)$$

Dari persamaan (2-2) dan persamaan (2-3) didapatkan perbandingan EMF pada primer dan sekunder sama dengan perbandingan banyaknya lilitan primer dan sekunder, merupakan perbandingan (ratio) transformasi dari transformator dan dinyatakan oleh persamaan berikut:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a$$

Berdasarkan persamaan (2-4) maka trafo ideal berlaku perbandingan transformasi berikut,

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = a$$

Jika rugi-rugi trafo tidak diperhitungkan dan efisiensi dianggap 100% maka:

$$E_1 \times I_1 \times PF_1 = E_2 \times I_2 \times PF_2$$

Secara praktis factor daya primer (PF_1) sama dengan faktor daya sekunder (PF_2) sehingga:

$$E_1 \times I_1 = E_2 \times I_2$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Maka, diperoleh rumus perbandingan transformasi sebagai berikut:

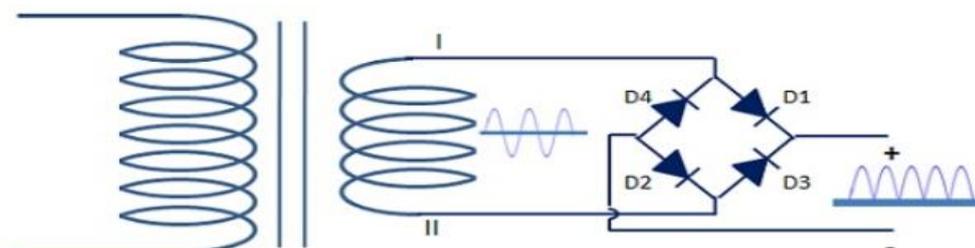
$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} = a$$

2.9.2 Rectifier

Rectifier atau dalam bahasa Indonesia disebut dengan Penyearah Gelombang adalah suatu bagian dari Rangkaian Catu Daya atau *Power Supply* yang berfungsi sebagai pengubah sinyal AC (*Alternating Current*) menjadi sinyal

DC (*Direct Current*). Rangkaian *Rectifier* atau Penyearah Gelombang ini pada umumnya menggunakan Dioda sebagai Komponen Utamanya. Hal ini dikarenakan Dioda memiliki karakteristik yang hanya melewatkan arus listrik ke satu arah dan menghambat arus listrik dari arah sebaliknya. Jika sebuah Dioda dialiri arus Bolak-balik (AC),

Penyearah Gelombang Penuh dengan menggunakan 4 Dioda adalah jenis *Rectifier* yang paling sering digunakan dalam rangkaian *Power Supply* karena memberikan kinerja yang lebih baik dari jenis Penyearah lainnya. Penyearah Gelombang Penuh 4 Dioda ini juga sering disebut dengan *Bridge Rectifier* atau Penyearah Jembatan. Gambar 2.20 menunjukkan bagaimana proses mengubah gelombang.



Gambar 2.20 Proses Mengubah Gelombang

Berdasarkan gambar, jika Transformer mengeluarkan output sisi sinyal Positif (+) maka Output maka D1 dan D2 akan berada dalam kondisi *Forward Bias* sehingga melewatkan sinyal Positif tersebut sedangkan D3 dan D4 akan menghambat sinyal sisi Negatifnya. Kemudian pada saat *Output* Transformer berubah menjadi sisi sinyal Negatif (-) maka D3 dan D4 akan berada dalam kondisi *Forward Bias* sehingga melewatkan sinyal sisi Positif (+) tersebut sedangkan D1 dan D2 akan menghambat sinyal Negatifnya.

2.9.3 Penyaring/ Filter

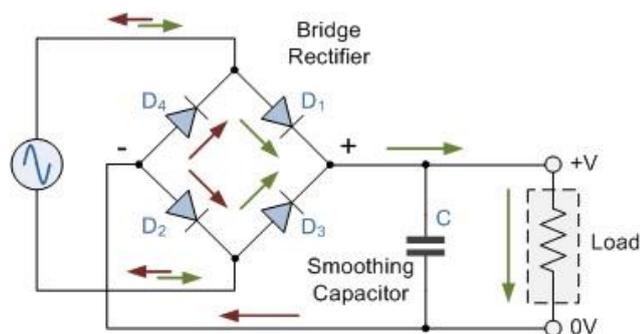
Penyaring yang digunakan pada rangkaian catu daya adalah kapasitor. Pengertian kapasitor adalah perangkat komponen elektronika yang berfungsi untuk menyimpan muatan listrik dan terdiri dari dua konduktor yang dipisahkan oleh bahan penyekat (*dielektrik*) pada tiap konduktor atau yang disebut keping.

Kapasitor biasanya disebut dengan sebutan kondensator yang merupakan komponen listrik dan dibuat sedemikian rupa, sehingga mampu menyimpan muatan listrik. Bentuk kapasitor dapat dilihat pada Gambar 2.21.

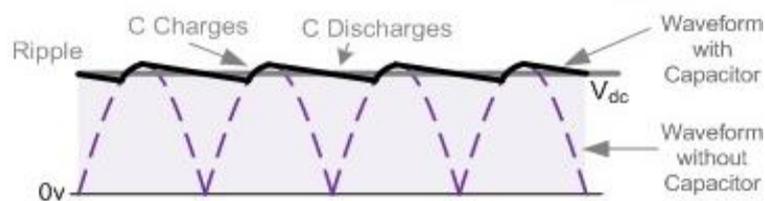


Gambar 2.21 Kapasitor

Filter pada catu daya adalah sebagai penyaring arus ripple akibat proses penyearahan yang masih terdapat arus AC. Filter yang umum dipakai adalah filter dengan kapasitor. Filter ini mampu membentuk bentuk gelombang tegangan keluarannya bisa menjadi rata, untuk dapat memahaminya perhatikan gambar 2.22 dan 2.23



Gambar 2.22 Rangkaian Filter Menggunakan Kapasitor



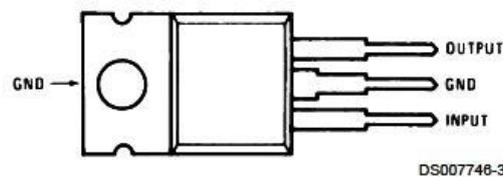
Gambar 2.23 Output gelombang dengan kapasitor

Prinsip filter kapasitor adalah proses pengisian dan pengosongan kapasitor. Saat dioda forward, kapasitor terisi dan tegangannya sama dengan periode ayunan tegangan sumber. Pengisian berlangsung sampai nilai maksimum, pada saat itu tegangan C sama dengan V_p .

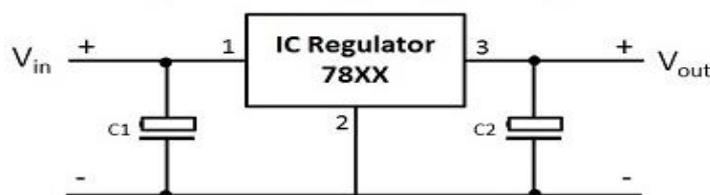
Pada ayunan turun ke arah reverse, kapasitor akan mengosongkan muatannya. Jika tidak ada beban, maka nilainya konstan dan sama dengan V_p , tetapi jika ada beban maka keluarannya (V_{out}) memiliki sedikit ripple akibat kondisi pengosongan.

2.9.4 Voltage Regulator

Regulator Voltage berfungsi sebagai filter tegangan agar sesuai dengan keinginan. Oleh karena itu biasanya dalam rangkaian power supply maka IC Regulator tegangan ini selalu dipakai untuk stabilnya outputan tegangan. Tegangan yang akan diregulasi dimasukkan pada peregulasi melalui terminal masukan. Setiap rangkaian terpadu peregulasi memiliki batas tegangan maksimal dan minimal pada tegangan masukan untuk menghasilkan keluaran yang sesuai dengan seri peregulasi tersebut. Gambar 2.24 menunjukkan susunan kaki IC regulator 7805 dan Gambar 2.25 menunjukkan rangkaian ic regulator 7805..



Gambar 2.24 Susunan Kaki IC Regulator 7805



Gambar 2.25 Rangkaian IC Voltage Regulator

Regulator tegangan ini menggunakan prinsip dioda zener yang bekerja pada daerah *breakdown*. Dioda zener adalah salah satu jenis dioda yang memiliki sisi eksklusif pada daerah *breakdown*nya, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai stabilizer atau pembatas tegangan.^[14]

Struktur dioda zener hampir sama dengan dioda pada umumnya, hanya konsentrasi doping saja yang berbeda. Kurva karakteristik dioda zener juga sama seperti dioda pada umumnya, namun pada daerah *breakdown* dimana pada saat bias mundur mencapai tegangan *breakdown* maka arus dioda naik dengan cepat seperti pada gambar karakteristik dioda zener dibawah. Daerah *breakdown* inilah yang menjadi referensi untuk penerapan dari dioda zener.

Sedangkan pada dioda biasa daerah *breakdown* merupakan daerah kritis yang harus dihindari dan tidak diperbolehkan pemberian tegangan mundur sampai pada daerah *breakdown*, karena bisa merusak dioda biasa. Titik

breakdown dari suatu dioda zener dapat dikontrol dengan memvariasi konsentrasi doping.^[15]

IC Regulator 78xx series jenis ini merupakan regulator yang tegangan keluaran-nya telah ditentukan sehingga tidak banyak komponen tambahan untuk merangkai regulator menggunakan IC ini. Contoh IC regulator ini yang paling populer adalah keluarga 78xx (positif) dan 79xx (negatif). Tanda “xx” merupakan besar tegangan keluaran yang diatur oleh IC tersebut, misalnya :

7805 / 7905 menghasilkan tegangan keluaran sebesar +5VDC / -5VDC.

7809 / 7909 menghasilkan tegangan keluaran sebesar +9VDC / -9VDC.

7812 / 7912 menghasilkan tegangan keluaran sebesar +12VDC / -12VDC.

7824 / 7924 menghasilkan tegangan keluaran sebesar +24VDC / -24VDC

Dalam penggunaan IC 78XX atau 79XX terdapat beberapa karakteristik yang harus diperhatikan diantaranya nya *Regulation Voltage*, *Maximum Current*, *Minimum Input Voltage*, contohnya :

Tabel 2.1. Karakteristik 78xx

Type Number	Regulation Voltage	Maximum Current	Minimum Input Voltage	Max Input Voltage
78L05	+5V	0.1A	+7V	20V
78L12	+12V	0.1A	+14.5V	27V
78L15	+15V	0.1A	+17.5V	30V

78M05	+5V	0.5A	+7V	20V
78M12	+12V	0.5A	+14.5V	27V
78M15	+15V	0.5A	+17.5V	30V
7805	+5V	1A	+7V	20V
7806	+6V	1A	+8V	21V
7808	+8V	1A	+10.5V	25V
7812	+12V	1A	+14.5V	27V
7815	+15V	1A	+17.5V	30V
7824	+24V	1A	+26V	38V
78S05	+5V	2A	+8V	20V
78S09	+9V	2A	+12V	25V
78S12	+12V	2A	+15V	27V
78S15	+15V	2A	+18V	30V

2.10 Modbus

Modbus adalah salah satu protokol untuk komunikasi serial yang dipublikasikan oleh Modicon pada tahun 1979 untuk di gunakan pada PLC Modicon (PLC) pertama di dunia yang di kembangkan oleh Schneider). Secara sederhana, modbus merupakan metode yang digunakan untuk mengirimkan data/informasi melalui koneksi serial antar perangkat elektronik. Perangkat yang meminta informasi disebut Modbus Master dan perangkat penyediaan informasi disebut Modbus Slave. Pada jaringan Modbus standar, terdapat sebuah master dan slave sampai dengan 247, masing-masing mempunyai Alamat Slave yang berbeda mulai dari 1 sampai 247. Master juga dapat menulis informasi kepada Slave.

Modbus memungkinkan adanya komunikasi dua-jalur antar perangkat yang terhubung ke jaringan yang sama, misalnya suatu sistem yang mengukur arus, kecepatan putar motor, dsb, kemudian mengkomunikasikan hasilnya ke web.

Modicon (PLC) pertama di dunia yang dikembangkan oleh Schneider. Secara sederhana, Modbus merupakan metode yang digunakan untuk mengirimkan data/informasi melalui koneksi serial antar perangkat elektronik. Perangkat yang meminta informasi disebut Modbus master dan perangkat penyediaan informasi disebut Modbus slave. Pada jaringan Modbus standar, terdapat sebuah master dan slave sampai dengan 247, masing-masing mempunyai alamat slave yang berbeda mulai dari 1 sampai 247. Master juga dapat menulis informasi kepada slave.

Modbus memungkinkan adanya komunikasi dua jalur antar perangkat yang terhubung ke jaringan yang sama, missal suatu sistem yang mengukur kecepatan putar motor, dsb, kemudian mengkomunikasikan hasilnya ke HMI.