

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

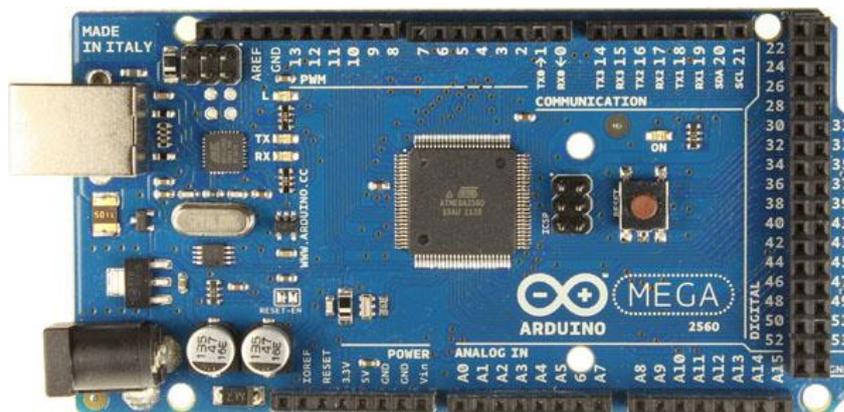
Setelah penulis mempelajari referensi yang ada, terdapat keterkaitan antara sumber referensi dengan perancangan alat yang penulis lakukan. Tugas Akhir Rancang Bangun Pengasutan Star Delta Pada Motor Induksi Tiga Fasa Berbasis Sensor Kecepatan Menggunakan Mikrokontroler Atmega 16 ini membahas tentang pendeteksian lonjakan arus starting motor induksi tiga fasa dan cara menurunkan lonjakan arus yang tadinya tujuh kali arus nominal menjadi hanya tiga sampai empat kali dari arus nominalnya dan juga merubah konfigurasi dari star menjadi delta berdasarkan kecepatan putar motor induksi itu sendiri. Pengukuran arus dan tegangan pada alat ini dilakukan dengan menggunakan metering yang terpasang secara lokal dan analog pada alat tersebut. Selain itu karya tugas akhir sebelumnya ini menggunakan *AT Mega 16* sebagai pusat kendali dari *input* berupa sensor *optocoupler*. *Optocoupler* digunakan untuk mendeteksi putaran kecepatan motor induksi tiga fasa untuk merubah konfigurasi dan ditampilkan pada *LCD*.<sup>[6]</sup>

Perbedaan tugas akhir yang akan dikerjakan penulis dengan referensi diatas adalah penulis akan menggunakan *Arduino Mega 2560*

sebagai pusat kendali dari modul *starting star delta*. Selain itu tugas akhir yang penulis buat menggunakan rangkaian *interlock relay* sebagai pusat control selain Arduino untuk menjalankan motor secara dol star, dol delta, ataupun star delta secara manual apabila Arduino yang dipakai mengalami sedikit masalah. Alat yang penulis buat juga akan dilengkapi dengan *Current Transformer* sebagai sensor arus serta rangkaian pembagi tegangan sebagai sensor tegangan penggunaan sensor tersebut diperuntukan agar besarnya arus serta tegangan dapat di monitor secara jarak jauh dan real time.

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Arduino Mega 2560



**Gambar 2.1** Arduino Mega 2560<sup>[1]</sup>

Arduino Mega 2560 adalah papan pengembangan mikrokontroler yang berbasis Arduino dengan menggunakan chip ATmega2560. Board ini

memiliki pin I/O yang cukup banyak, sejumlah 54 buah digital I/O pin (15 pin diantaranya adalah PWM), 16 pin analog input, 4 pin UART (serial port hardware). Arduino Mega 2560 dilengkapi dengan sebuah oscillator 16 Mhz, sebuah port USB, power jack DC, ICSP header, dan tombol reset. Board ini sudah sangat lengkap, sudah memiliki segala sesuatu yang dibutuhkan untuk sebuah mikrokontroler. Dengan penggunaan yang cukup sederhana, kita hanya tinggal menghubungkan power dari USB ke PC anda atau melalui adaptor AC/DC ke jack DC.<sup>[1]</sup>

**Tabel 2.1** Spesifikasi Arduino Mega 2560

Chip mikrokontroler	ATmega2560
Tegangan operasi	5V
Tegangan input (yang direkomendasikan, via jack DC)	7V - 12V
Tegangan input (limit, via jack DC)	6V - 20V
Digital I/O pin	54 buah, 6 PWM
Analog Input pin	16 buah
Arus DC per pin I/O	20 mA
Arus DC pin 3.3V	50 mA
Memori Flash	256 KB, 8 KB telah digunakan untuk bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB

Clock speed	16 Mhz
Dimensi	101.5 mm x 53.4 mm
Berat	37 g

*Arduino Mega* dapat diaktifkan melalui koneksi *USB* atau dengan catu daya eksternal. Sumber daya dipilih secara otomatis. Sumber daya eksternal (non-*USB*) dapat berasal dari adaptor *AC-DC* atau baterai. Papan *Arduino Atmega 2560* dapat beroperasi dengan daya eksternal 6 V sampai 20 V. Jika tegangan kurang dari 7 V, maka pin 5 V mungkin akan menghasilkan tegangan kurang dari 5 V dan ini akan membuat papan menjadi tidak stabil. Jika sumber tegangan menggunakan lebih dari 12 V, regulator tegangan akan mengalami panas berlebihan dan bisa merusak papan. Rentang sumber tegangan yang dianjurkan adalah 7 V sampai 12 V.<sup>[1]</sup> Pin tegangan yang tersedia pada papan *Arduino* adalah sebagai berikut:

**1) VIN**

*Input* tegangan untuk papan *Arduino* ketika menggunakan sumber daya eksternal.

**2) 5 Volt**

Sebuah pin yang mengeluarkan tegangan ter-regulator 5 V, dari pin ini tegangan sudah diatur (ter-regulator) dari regulator yang tersedia.

### 3) GND

Pin *Ground*.

### 4) 3 V3

Sebuah pin yang menghasilkan tegangan 3,3 V. Tegangan ini dihasilkan oleh regulator yang terdapat pada papan (*on-board*). Arus maksimum yang dihasilkan adalah 50 mA.

### 5) IOREF

Pin ini berfungsi untuk memberikan referensi tegangan yang beroperasi pada mikrokontroler. Sebuah perisai (*shield*) dikonfigurasi dengan benar untuk dapat membaca pin tegangan IOREF dan memilih sumber daya yang tepat atau mengaktifkan penerjemah tegangan (*Voltage translator*) pada *output* untuk bekerja pada tegangan 5 V atau 3,3 V.

#### A. Memori

*Arduino ATmega2560* memiliki 256 KB *flash memory* untuk menyimpan kode (yang 8 KB digunakan untuk *bootloader*), 8 KB SRAM dan 4 KB EEPROM (yang dapat dibaca dan ditulis dengan perpustakaan EEPROM).

#### B. *Input dan Output*

*Arduino Mega 2560* memiliki 54 digital pin pada *Arduino Mega* dapat digunakan sebagai *input* atau *output*, menggunakan fungsi *pinMode()*, *digitalWrite()*, dan *digitalRead()*. Beberapa pin memiliki fungsi khusus, antara lain:

### 1) *Serial*

Terdiri atas pin 0 (RX) dan 1 (TX), pin *Serial* 19 (RX) dan 18 (TX), pin *Serial*17 (RX) dan 16 (TX), pin *Serial*15 (RX) dan 14 (TX). Digunakan untuk menerima (RX) dan mengirimkan (TX) data *serial* TTL. Pins 0 dan 1 juga terhubung ke pin chip ATmega16U2 *Serial USB-to-TTL*.

### 2) **Eksternal interupsi**

Berupa pin 2 (*interrupt* 0), pin 3 (*interrupt* 1), pin 18 (*interrupt* 5), pin 19 (*interrupt* 4), pin 20 (*interrupt* 3), dan pin 21 (*interrupt* 2). Pin ini dapat dikonfigurasi untuk memicu sebuah interupsi pada nilai yang rendah, meningkat atau menurun, atau perubah nilai.

### 3) **SPI**

Terdiri dari pin 50 (MISO), pin 51 (MOSI), pin 52 (SCK), pin 53 (SS). Pin ini mendukung komunikasi SPI menggunakan perpustakaan SPI. Pin SPI juga terhubung dengan *header* ICSP, yang secara fisik kompatibel dengan *Arduino Uno*, *Arduino Duemilanove* dan *Arduino Diecimila*.

### 4) **LED**

Berupa pin 13. Tersedia secara built-in pada papan Arduino ATmega2560. LED terhubung ke pin digital 13. Ketika pin diset bernilai *HIGH*, maka LED menyala (*ON*), dan ketika pin diset bernilai *LOW*, maka LED padam (*OFF*).

## 5) TWI

Terdiri atas pin 20 (SDA) dan pin 21 (SCL). Yang mendukung komunikasi TWI menggunakan perpustakaan *Wire*. Perhatikan bahwa pin ini tidak di lokasi yang sama dengan pin TWI pada Arduino Duemilanove atau Arduino Diecimila.

*Arduino Mega2560* memiliki 16 pin sebagai analog *input*, yang masing-masing menyediakan resolusi 10 bit (yaitu 1024 nilai yang berbeda). Secara default pin ini dapat diukur/diatur dari mulai *Ground* sampai dengan 5 V, juga memungkinkan untuk mengubah titik jangkauan tertinggi atau terendah mereka menggunakan pin AREF dan fungsi *analogReference*.

Ada beberapa pin lainnya yang tersedia, antara lain:

### 1) AREF

Merupakan referensi tegangan untuk *input* analog. Digunakan dengan fungsi *analogReference()*.

### 2) RESET

Merupakan jalur *LOW* ini digunakan untuk *me-reset* (menghidupkan ulang) mikrokontroler. Jalur ini biasanya digunakan untuk menambahkan tombol *reset* pada *shield* yang menghalangi papan utama *Arduino*.

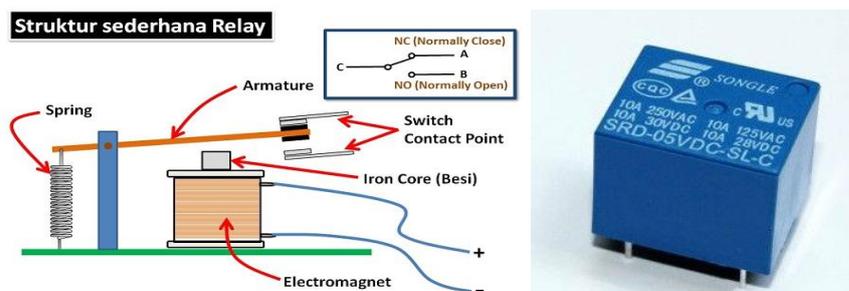
### C. Komunikasi

*Arduino Mega 2560* memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, *Arduino* lain, bahkan mikrokontroler lain. *ATmega 2560* menyediakan empat UART *hardware* untuk TTL (5V) komunikasi *serial*. Sebuah *chip ATmega16U2* yang terdapat pada papan digunakan sebagai media komunikasi *serial* melalui USB dan muncul sebagai COM *Port Virtual* (pada *Device* komputer) untuk berkomunikasi dengan perangkat lunak pada komputer. Perangkat lunak *Arduino* termasuk di dalamnya serial monitor memungkinkan data tekstual sederhana dikirim ke dan dari papan *Arduino*. LED RX dan TX (pada pin 13) akan berkedip ketika data sedang dikirim atau diterima melalui chip *USB-to-serial* yang terhubung melalui USB komputer (tetapi tidak berlaku untuk komunikasi serial seperti pada pin 0 dan 1).

#### 2.2.2 Relay

Relay adalah Saklar (*Switch*) yang dioperasikan secara listrik dan merupakan komponen Electromechanical (Elektromekanikal) yang terdiri dari 2 bagian utama yakni Elektromagnet (Coil) dan Mekanikal (seperangkat Kontak Saklar/Switch). Relay menggunakan Prinsip Elektromagnetik untuk menggerakkan Kontak Saklar sehingga dengan arus listrik yang kecil (*low power*) dapat menghantarkan listrik yang bertegangan lebih tinggi. Sebagai contoh, dengan Relay yang menggunakan

Elektromagnet 5V dan 50 mA mampu menggerakkan Armature Relay (yang berfungsi sebagai saklarnya) untuk menghantarkan listrik 220V 2A. [6]



**Gambar 2.2** Relay 12VDC 250VAC dan bagian-bagiannya [6]

### 2.2.3 Transformator

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi-elektromagnet. Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai, dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh. Dalam bidang elektronika, transformator digunakan antara lain sebagai gandengan impedansi antara sumber dan beban, untuk memisahkan satu rangkain dari rangkaian yang lain, dan untuk menghambat arus searah atau mengalirkan arus bolak-balik.<sup>[1]</sup> Adapun rumus untuk menghitung tegangan dan arus pada masing-masing sisi primer dan sekunder yaitu :

$$E_1 = 4,44.N_1.f_1.\phi \dots \dots \dots \text{Persamaan (2-1)}$$

$$E_2 = 4,44.N_2.f_2.\phi \dots \dots \dots \text{Persamaan (2-2)}$$

Sehingga

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \dots \dots \dots \text{Persamaan (2-3)}$$

Dengan mengabaikan rugi tahanan dan adanya fluks bocor, maka perbandingan transformasi menjadi:

$$a = \frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \dots \dots \dots \text{Persamaan (2-4)}$$

Karena rugi rugi daripada lilitan ini diabaikan maka dapat dikatakan bahwa transformator ini dalam kondisi ideal sehingga berlaku persamaan:

$$P_1 = P_2 \dots \dots \dots \text{Persamaan (2-5)}$$

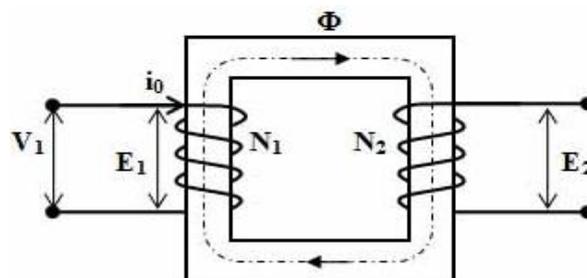
$$V_1.I_1 = P_2.I_2 \dots \dots \dots \text{Persamaan (2-6)}$$

$$\frac{V_1}{I_2} = \frac{V_2}{I_1} \dots \dots \dots \text{Persamaan (2-7)}$$

Ketika kumparan sekunder dihubungkan dengan beban L, maka pada belitan sekunder akan mengalir arus  $I_2$  sebesar  $I_2 = V_2/L$ . Pada transformator keadaan berbeban berlaku hubungan:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} \dots \dots \dots \text{Persamaan (2-8)}$$

Trafo catu daya dibedakan menjadi dua, yaitu trafo engkel dan trafo center tab (CT). Pada pembuatan realisasi ini yang digunakan adalah Trafo CT. Trafo CT Adalah trafo yang mempunyai besar keluaran yang berjumlah dua atau bepasangan (6 dgn 6) selain itu trafo ini punya ujung CT. CT ini digunakan sebagai arus negatif. Selain itu trafo CT keluarannya dapat di paralel (keluarannya dapat digabungkan tapi syaratnya harus pasangannya yaitu 6 dengan 6 atau 12 dengan 12). Inti besi pada trafo sengaja dibuat berkeping-keping, karena dengan bentuk kepingan terdapat rongga udara, ini juga digunakan sebagai pendingin trafo serta untuk mengurangi arus pusar yang menyebabkan rugi-rugi daya.<sup>[6]</sup>



**Gambar 2.3** Konstruksi transformator <sup>[6]</sup>

Dimana :

$V_1$  = Tegangan primer (Volt)

$N_1$  = Jumlah belitan primer

$V_2$  = Tegangan sekunder (Volt)

$N_2$  = Jumlah belitan sekunder

$E_1$  = Gaya gerak listrik pada belitan primer (Volt)

$E_2$  = Gaya gerak listrik pada belitan sekunder (Volt)

$I_0$  = Arus beban nol

$\phi$  = fluks magnetik pada inti (Weber)

#### 2.2.4 IC LM 7812 Voltage Regulator

Regulator tegangan diperlukan untuk menyetabilkan tegangan hasil dari penyearahan. *Voltage regulator* merupakan suatu komponen yang mengambil tegangan input tak teregulasi yang bisa berfluktuasi dari waktu ke waktu, dan menghasilkan tegangan konstan yang teregulasi yaitu tegangan stabil yang tidak terpengaruh oleh perubahan input, perubahan beban, dan perubahan arus. Regulator tegangan dengan keluaran bervariasi berarti tegangan yang dihasilkan dapat diatur dengan *range* tertentu.



**Gambar 2.4** Rangkaian IC Voltage Regulator <sup>[1]</sup>

Komponen elektronika yang digunakan sebagai regulator tegangan adalah dioda zener. Ciri khas dioda zener yakni bila dibias *forward*, maka dioda zener akan bertindak sebagai dioda pada umumnya, sedangkan bila dibias *reverse* dioda zener akan mengalirkan arus dari katoda ke anoda dengan syarat diberi catu tegangan yang lebih besar dari tegangan spesifikasi dioda tersebut.

Oleh karena itu, meski mendapatkan catu secara *reverse*, apabila tegangan catu kurang dari tegangan tembus maka arus dari katoda tidak akan mengalir menuju anoda. Dioda zener akan memberikan tegangan *output* yang relatif tetap sesuai dengan spesifikasi tegangan zener tersebut. Misalnya dioda zener memiliki spesifikasi tegangan 5 Volt, maka ketika dilewati sebuah tegangan 6,5 Volt, tegangan *output* dioda akan tetap pada batas 5 Volt. Namun ketika tegangan yang melewati dioda zener sudah melewati batas toleransi yang diizinkan, maka dioda zener sudah tidak mampu lagi menahan tegangan spesifikasi 5 Volt tersebut. Akibatnya, kondisi dioda zener akan mengalami kerusakan.<sup>[1]</sup>

Batasan nilai tegangan masukan IC regulator yang terdapat dalam tabel adalah nilai DC, bukan tegangan sekunder dari trafo. Berdasarkan tabel 2-1 diatas, diambil kesimpulan bahwa nilai tegangan *output* akan tetap konstan meskipun tegangan *input* bervariasi, namun dalam *range* tertentu.

**Tabel 2.1** Tegangan *Input* IC L7805 dan IC L7812

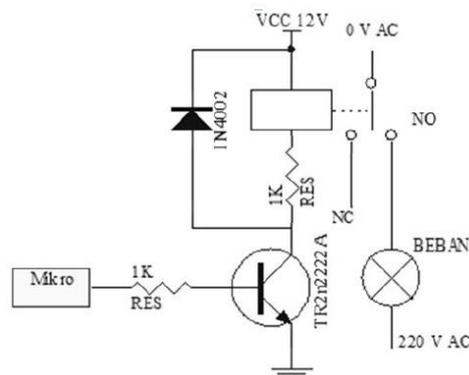
<b>Tipe</b>	<b>Vin min</b>	<b>Vin maks</b>	<b>Vout</b>
<b>Regulator</b>			
<b>7805</b>	8 V	20 V	5 V
<b>7808</b>	11,5 V	23 V	8 V
<b>7812</b>	15,5 V	27 V	12 V
<b>7824</b>	28 V	38 V	24 V

### 2.2.5 *Driver Relay*

*Driver relay* adalah rangkaian elektronika yang biasanya digunakan untuk mengendalikan serta pengoperasian sesuatu dari jarak jauh atau semacam *remote*. Tentunya rangkaian ini bisa mempermudah dan juga memperlancar pekerjaan yang memang kadang membutuhkan rangkaian dari *relay* ini. Dengan menggunakan rangkaian *relay* tersebut, anda bisa melakukan kontrol dan juga mengoperasikan perangkat elektronik yang anda miliki dari jarak jauh dan tentu saja anda tidak perlu bergeser serta berpindah tempat duduk.<sup>[1]</sup>

Komponen inti dari *driver relay* adalah transistor. Cara yang termudah untuk menggunakan sebuah transistor adalah sebagai sebuah *switch* artinya bahwa kita mengoperasikan transistor pada salah satu dari saturasi atau titik sumbat, tetapi tidak di tempat-tempat sepanjang garis beban. Jika sebuah transistor berada dalam keadaan saturasi, transistor

tersebut seperti sebuah *switch* yang tertutup dari kolektor emiter. Jika transistor tersumbat (*cutoff*), transistor seperti sebuah *switch* yang terbuka.<sup>[6]</sup>



**Gambar 2.5** Rangkaian *Driver Relay* <sup>[6]</sup>

Gambar 2.29 merupakan gambar rangkaian driver relay dimana rangkaian tersebut merupakan rangkaian *switching* transistor yang digerakkan oleh tegangan *step* yang berasal dari *power supply*. Jika tegangan input (dari mikrokontroler) nol, transistor tersumbat (*cutoff*). Dalam hal ini, transistor kelihatannya seperti sebuah *switch* yang terbuka.

### 2.2.6 *Power Supply*

Peralatan kecil portabel kebanyakan menggunakan baterai sebagai sumber dayanya, namun sebagian besar peralatan menggunakan sumber daya AC 220 volt - 50Hz. Didalam peralatan tersebut terdapat rangkaian yang sering disebut sebagai adaptor atau penyearah yang mengubah sumber AC menjadi DC. Di Bagian terpenting dari adaptor adalah berfungsinya

diode sebagai penyearah (*rectifier*). Pada bagian ini dipelajari bagaimana rangkaian dasar adaptor tersebut bekerja.<sup>[9]</sup>

Penyearah gelombang (*rectifier*) adalah bagian dari *power supply* / catu daya yang berfungsi untuk mengubah sinyal tegangan AC (*Alternating Current*) menjadi tegangan DC (*Direct Current*). Komponen utama dalam penyearah gelombang adalah dioda yang dikonfigurasikan secara *forward bias*. Dalam sebuah *power supply* tegangan rendah, sebelum tegangan AC tersebut di ubah menjadi tegangan DC maka tegangan AC tersebut perlu di turunkan menggunakan transformator *stepdown*. Ada 3 bagian utama dalam penyearah gelombang pada suatu *power supply* yaitu, penyearah gelombang / *rectifier* (dioda), penurun tegangan (transformer), dan filter (kapasitor).<sup>[9]</sup>

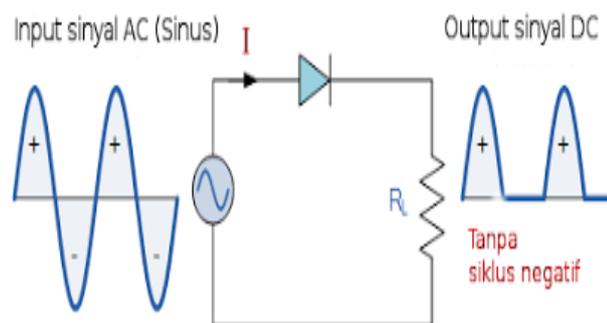
Pada dasarnya konsep penyearah gelombang dibagi dalam 2 jenis yaitu, Penyearah setengah gelombang dan penyearah gelombang penuh. Namun selain dua konsep penyearah tersebut, terdapat pula rangkaian penyearah dengan filter untuk menyaring arus yang masuk pada rangkaian.<sup>[9]</sup>

#### **2.2.6.1 Power Supply setengah gelombang**

Penyearah setengah gelombang (*half wave rectifier*) adalah sistem penyearah yang menggunakan satu blok dioda tunggal (bisa satu dioda atau banyak dioda yang diparalel) untuk mengubah tegangan dengan arus bolak-balik (AC) menjadi tegangan dengan arus searah (DC). sinyal. Prinsip kerja penyearah setengah gelombang memanfaatkan karakteristik dioda yang

hanya bisa dilalui arus satu arah saja. Disebut penyearah setengah gelombang karena penyearah ini hanya melewatkan siklus positif dari sinyal AC.<sup>[10]</sup>

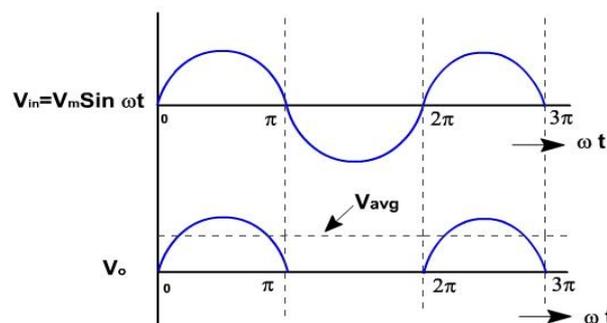
Rangkaian penyearah setengah gelombang banyak dipakai pada *power supply* dengan frekuensi tinggi seperti pada *power supply* SMPS dan keluaran transformator *Flyback* Televisi. Sistem penyearah setengah gelombang kurang baik diaplikasikan pada frekuensi rendah seperti jala-jala listrik rumah tangga dengan frekuensi 50Hz karena membuang satu siklus sinyal AC dan mempunyai riak (*rippe*) yang besar pada keluaran tegangan DC-nya sehingga membutuhkan kapasitor yang besar. Berikut gambar rangkaian penyearah setengah gelombang:



**Gambar 2.6** *Power Supply* setengah gelombang<sup>[10]</sup>

Penyearah setengah gelombang (half wave rectifier) hanya menggunakan 1 buah dioda sebagai komponen utama dalam menyearahkan gelombang AC.

Prinsip kerja dari penyearah setengah gelombang ini adalah mengambil sisi sinyal positif dari gelombang AC dari transformator. Pada saat transformator memberikan *output* sisi positif dari gelombang AC maka dioda dalam keadaan forward bias sehingga sisi positif dari gelombang AC tersebut dilewatkan dan pada saat transformator memberikan sinyal sisi negatif gelombang AC maka dioda dalam posisi reverse bias, sehingga sinyal sisi negatif tegangan AC tersebut ditahan atau tidak dilewatkan seperti terlihat pada gambar sinyal *output* penyearah setengah gelombang berikut:



**Gambar 2.7** Gelombang Output *power supply* setengah gelombang<sup>[10]</sup>

Formulasi yang digunakan pada penyearah setengah gelombang sebagai berikut.

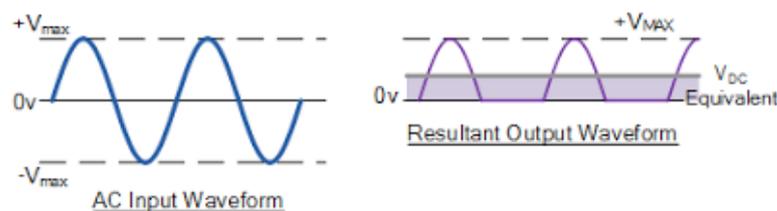
$$V_{avg} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \dots \dots \dots (2-9)$$

Dimana :

$V_{avg}$  = Tegangan rata-rata

$V_m$  = Tegangan puncak

Perhitungan tegangan DC keluaran dari penyearah setengah gelombang mengacu pada kondisi saat fasa on dan *OFF* pada gelombang *output*. Pada saat fase positif, dioda menghantar sehingga tegangan keluaran saat itu sama dengan  $V_{max}$  dari sinyal *input*. Kemudian saat fase negatif, dioda tidak menghantar sehingga tegangan keluaran pada fase ini sama dengan nol.<sup>[10]</sup>



**Gambar 2.8** Output Penyearah Setengah Gelombang<sup>[10]</sup>

Berdasarkan kondisi diatas maka dapat dirumuskan bahwa besarnya tegangan output dari penyearah setengah gelombang adalah  $V_{max}$  dibagi dengan  $\pi$  (pi). Dimana besarnya  $V_{max}$  adalah tegangan puncak (*V-peak*) dari salah satu siklus sinyal AC. Atau sebesar  $0.318V_{max}$ . Dan jika dihitung dengan nilai RMS menjadi  $0.318$  kali  $\sqrt{2}$  sama dengan  $0.45V_{rms}$ .<sup>[10]</sup>

$$V_{dc} = \frac{V_{max}}{\pi} = 0,318V_{max} = 0,45V_{rms} \dots \dots \dots (2-10)$$

Dimana:

$V_{dc}$  = Tegangan DC

$V_{max}$  = tegangan maksimum

Rangkaian penyearah setengah gelombang ini memiliki kelemahan pada kualitas arus DC yang dihasilkan. Arus DC rata-rata yang dihasilkan

dari rangkaian ini hanya 0,318 dari arus maksimum-nya, jika dituliskan dalam persamaan matematika adalah sebagai berikut;

$$I_{AV} = 0,318.I_{MAX} \dots\dots\dots(2-11)$$

Ket:

$I_{av}$  = Arus Rata-Rata

$I_{max}$  = Arus maksimum

Oleh sebab itu rangkaian penyearah setengah gelombang lebih sering digunakan sebagai rangkaian yang berfungsi untuk menurunkan daya pada suatu rangkaian elektronika sederhana dan digunakan juga sebagai demodulator pada radio penerima AM.

Penyearah setengah gelombang memiliki kelebihan dari segi rangkaian yang sangat simpel dan sederhana. Karena menggunakan satu dioda maka biaya yang dibutuhkan untuk rangkain lebih murah.

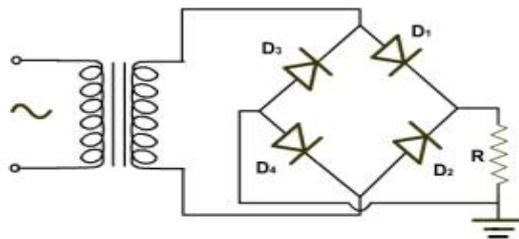
Kelemahan dari penyearah setengah gelombang adalah keluarannya memiliki riak (*rippe*) yang sangat besar sehingga tidak halus dan membutuhkan kapasitor besar pada aplikasi frekuensi rendah seperti listrik PLN 50Hz. Kelemahan ini tidak berlaku pada aplikasi *power supply* frekuensi tinggi seperti pada rangkaian SMPS yang mempunyai duty cycle diatas 90%.

Kelemahan penyearah setengah gelombang lainnnya adalah kurang efisien karena hanya mengambil satu siklus sinyal saja. Artinya siklus yang

lain tidak diambil alias dibuang. Ini mengakibatkan keluaran dari penyearah setengah gelombang memiliki daya yang lebih kecil.

### 2.2.6.2 *Power Supply Gelombang Penuh*

Penyearah Gelombang Penuh (*Full wave Rectifier*) Penyearah gelombang penuh dapat dibuat dengan 2 macam yaitu, menggunakan 4 dioda dan 2 dioda. Untuk membuat penyearah gelombang penuh dengan 4 dioda menggunakan transformator non-CT seperti terlihat pada gambar berikut:

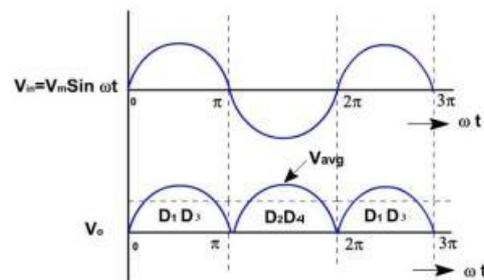


**Gambar 2.9** Rangkaian Pemyearah Gelombang Penuh 4 Dioda<sup>[10]</sup>

Prinsip kerja dari penyearah gelombang penuh dengan 4 dioda diatas dimulai pada saat *output* transformator memberikan level tegangan sisi positif, maka D1, D4 pada posisi forward bias dan D2, D3 pada posisi reverse bias sehingga level tegangan sisi puncak positif tersebut akan di lewatkan melalui D1 ke D4.<sup>[10]</sup>

Kemudian pada saat *output* transformator memberikan level tegangan sisi puncak negatif maka D2, D4 pada posisi forward bias dan D1, D2 pada posisi reverse bias sehingga level tegangan sisi negatif tersebut dialirkan

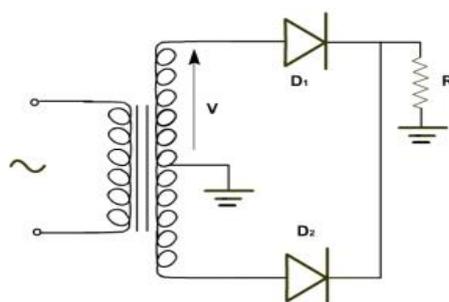
melalui D2, D4. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada grafik *output* berikut.



**Gambar 2.10** Output Penyearah Gelombang Penuh<sup>[10]</sup>

### 2.2.6.3 Penyearah Gelombang Penuh dengan Trafo CT

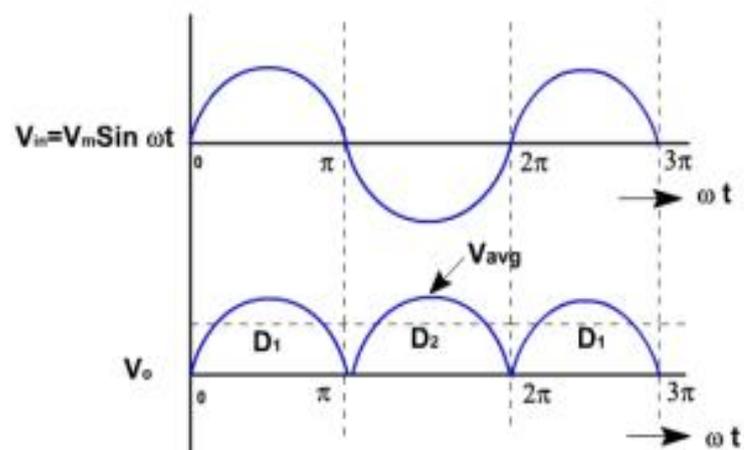
Penyearah gelombang dengan 2 dioda menggunakan transformator dengan CT (*Center Tap*). Rangkaian penyearah gelombang penuh dengan 2 dioda dapat dilihat pada gambar berikut :



**Gambar 2.11** Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh 2 Dioda<sup>[10]</sup>

Prinsip kerja rangkaian penyearah gelombang penuh dengan 2 dioda ini dapat bekerja karena menggunakan transformator dengan CT. Transformator dengan CT seperti pada gambar diatas dapat memberikan

*output* tegangan AC pada kedua terminal *output* sekunder terhadap terminal CT dengan level tegangan yang berbeda fasa  $180^\circ$ . Pada saat terminal *output* transformator pada D1 memberikan sinyal puncak positif maka terminal *output* pada D2 memberikan sinyal puncak negatif, pada kondisi ini D1 pada posisi forward dan D2 pada posisi reverse. Sehingga sisi puncak positif dilewatkan melalui D1. Kemudian pada saat terminal *output* transformator pada D1 memberikan sinyal puncak negatif maka terminal *output* pada D2 memberikan sinyal puncak positif, pada kondisi ini D1 posisi reverse dan D2 pada posisi forward. Sehingga sinyal puncak positif dilewatkan melalui D2. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar *output* penyearah gelombang penuh berikut.<sup>[9]</sup>



**Gambar 2.12** Output Penyearah Gelombang Penuh<sup>[10]</sup>

### 2.2.7 MCB (*Mini Circuit Breaker*)

Adalah saklar atau perangkat elektromekanis yang berfungsi sebagai pelindung rangkaian instalasi listrik dari arus lebih (*over current*). Terjadinya arus lebih ini, mungkin disebabkan oleh beberapa gejala, seperti: hubung singkat (*short circuit*) dan beban lebih (*overload*).

MCB sebenarnya memiliki fungsi yang sama dengan sekering (*fuse*), yaitu akan memutus aliran arus listrik *circuit* ketika terjadi gangguan arus lebih. Yang membedakan keduanya adalah saat terjadi gangguan, MCB akan trip dan ketika rangkaian sudah normal, MCB bisa di ON-kan lagi (reset) secara manual, sedangkan fuse akan terputus dan tidak bisa digunakan lagi.<sup>[6]</sup>

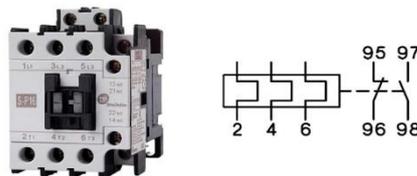


**Gambar 2.13** *Miniature circuit breaker*<sup>[6]</sup>

Pada rangkaian daya motor induksi tiga fasa, MCB digunakan untuk melindungi motor dari gangguan arus lebih sehingga motor dapat diamankan apabila terjadi gangguan.

### 2.2.8 Kontaktor Magnetik Tiga Fasa

Kontaktor magnet atau saklar magnet merupakan saklar yang bekerja berdasarkan prinsip kemagnetan. Artinya sakelar ini bekerja jika ada gaya kemagnetan pada penarik kontakannya. Magnet berfungsi sebagai penarik dan sebagai pelepas kontak-kontaknya dengan bantuan pegas pendorong. Sebuah kontaktor harus mampu mengalirkan dan memutuskan arus dalam keadaan kerja normal. Arus kerja normal ialah arus yang mengalir selama pemutusan tidak terjadi. [6]



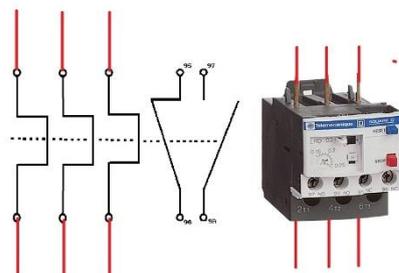
**Gambar 2.14** Kontaktor magnetik tiga fasa<sup>[6]</sup>

Kontaktor magnetik berfungsi untuk mengoperasikan motor listrik berdaya besar agar tidak menimbulkan loncatan bunga api pada alat penghubungnya. Kontaktor magnet yaitu suatu alat penghubung listrik yang bekerja atas dasar magnet yang dapat menghubungkan antara sumber arus dengan muatan. Bila inti koil pada kontaktor diberikan arus,

maka koil akan menjadi magnet dan menarik kontak sehingga kontaknya menjadi terhubung dan dapat mengalirkan arus listrik.

### 2.2.9 *Thermal Overload Relay*

*Thermal relay* atau *overload relay* adalah peralatan *switching* yang peka terhadap suhu dan akan membuka atau menutup kontaktor pada saat suhu yang terjadi melebihi batas yang ditentukan atau peralatan kontrol listrik yang berfungsi untuk memutuskan jaringan listrik jika terjadi beban lebih. [6]



**Gambar 2.15** *Thermal Overload Relay*[6]

Karakteristik:

1. Terdapat konstruksi yang berhubungan langsung dengan terminal kontaktor magnet.
2. *Full automatic function*, *Manual reset*, dan memiliki pengaturan batas arus yang dikehendaki untuk digunakan.
3. Tombol trip dan tombol reset trip, dan semua sekerup terminal berada di bagian depan Indikator trip

4. Mampu bekerja pada suhu  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  hingga  $+55\text{ }^{\circ}\text{C}$  atau ( $-13\text{ }^{\circ}\text{F}$  hingga  $+131\text{ }^{\circ}\text{F}$ )

*Thermal overload relay* (TOR) mempunyai tingkat proteksi yang lebih efektif dan ekonomis, yaitu:

1. Pelindung beban lebih / *Overload*
2. Melindungi dari ketidakseimbangan fasa / *Phase failure imbalance*
3. Melindungi dari kerugian / kehilangan tegangan fasa / *Phase Loss*.

#### **2.2.10 Motor Induksi Tiga Fasa**

Motor induksi adalah suatu mesin listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi gerak dengan menggunakan gandingan listrik dan mempunyai slip antara medan stator dan medan rotor. Stator adalah bagian dari mesin yang tidak berputar dan terletak pada bagian luar. Stator terbuat dari besi bundar berlaminasi dan mempunyai alur-alur sebagai tempat meletakkan kumparan. Rotor adalah bagian dari mesin yang berputar bebas dan letaknya di bagian dalam. Rotor terbuat dari besi laminasi yang mempunyai slot dengan batang aluminium / tembaga yang terhubung singkat pada ujungnya. Motor induksi merupakan salah satu mesin asinkronous (*asynchronous motor*) karena mesin ini beroperasi pada kecepatan di bawah kecepatan sinkron. <sup>[3]</sup>



**Gambar 2.16** Motor Induksi Tiga Fasa 380/660<sup>[6]</sup>

Kecepatan sinkron ini dipengaruhi oleh frekuensi mesin dan banyaknya kutub pada mesin. Motor induksi selalu berputar dibawah kecepatan sinkron karena medan magnet yang terbangkitkan pada stator akan menghasilkan fluks pada rotor sehingga rotor tersebut dapat berputar.<sup>[5]</sup>

Namun fluks yang terbangkitkan pada rotor mengalami *lagging* dibandingkan fluks yang terbangkitkan pada stator sehingga kecepatan rotor tidak akan secepat kecepatan putaran medan magnet.

Motor AC 3 phase bekerja dengan memanfaatkan perbedaan fasa sumber untuk menimbulkan gaya putar pada rotornya. Apabila sumber tegangan 3 fase dipasang pada kumparan stator, akan timbul medan putar dengan kecepatan seperti rumus berikut :

$$N_s = 120 f/p$$

dimana  $N_s$  merupakan Kecepatan medan putar,  $f$  yaitu Frekuensi Sumber, dan  $P$  adalah Kutub motor. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor. Akibatnya pada batang konduktor dari rotor akan timbul GGL induksi. Karena batang konduktor merupakan rangkaian yang tertutup maka GGL akan menghasilkan arus ( $I$ ). Adanya arus ( $I$ ) di dalam medan magnet akan menimbulkan gaya ( $F$ ) pada rotor. Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya ( $F$ ) pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator. GGL induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan putar stator. Artinya agar GGL induksi tersebut timbul, diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator ( $n_s$ ) dengan kecepatan berputar rotor ( $n_r$ ).<sup>[3]</sup>

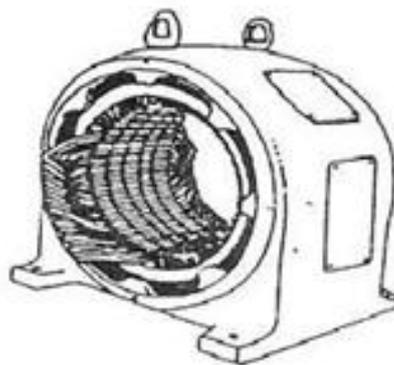
#### **2.2.10.1 Bagian – Bagian Motor Induksi 3 Fasa**

Secara umum motor induksi terdiri dari rotor dan stator. Rotor merupakan bagian yang bergerak, sedangkan stator yang diam. Diantara stator dengan rotor ada celah udara (*gap*) yang jaraknya sangat kecil.<sup>[5]</sup>

Komponen stator adalah bagian terluar dari motor yang merupakan bagian yang diam dan mengalirkan arus fasa. Stator terdiri dari susunan laminasi inti yang memiliki alur (*slot*) yang menjadi tempat kedudukan kumparan yang dililitkan dan berbentuk silindris.<sup>[5]</sup>

Motor induksi memiliki dua komponen yang utama, kedua komponen tersebut adalah :

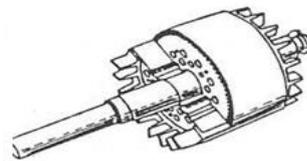
1. Stator, merupakan suatu bagian dari motor yang diam. Stator terdiri dari tiga buah kumparan, ujung-ujung belitan kumparan dihubungkan melalui terminal untuk memudahkan penyambungan dengan sumber tegangan. Masing-masing kumparan memiliki kutub. Banyaknya kutub tersebut mempengaruhi kecepatan motor induksi. <sup>[5]</sup>



**Gambar 2.17** Stator<sup>[5]</sup>

2. Rotor, merupakan bagian dari motor yang bergerak. Rotor dapat dikategorikan menjadi dua kategori yaitu :
  - a. Rotor Sangkar, motor induksi jenis rotor sangkar lebih banyak digunakan daripada jenis rotor lilit, sebab rotor sangkar mempunyai bentuk yang sederhana. Belitan rotor terdiri atas batang-batang penghantar yang ditempatkan di

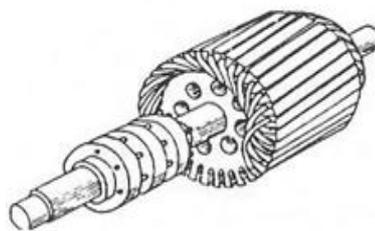
dalam alur rotor. Batang penghantar ini terbuat dari tembaga, *alloy* atau alumunium. Ujung-ujung batang penghantar dihubungkan singkat oleh cincin penghubung singkat, sehingga berbentuk sangkar tupai. Motor induksi yang menggunakan rotor ini disebut motor induksi rotor sangkar. Karena batang penghantar rotor yang telah dihubungkan singkat, maka tidak dibutuhkan tahanan luar yang dihubungkan seri dengan rangkaian rotor pada saat awal berputar. Alur-alur rotor biasanya tidak dihubungkan sejajar dengan sumbu tetapi sedikit miring. <sup>[5]</sup>



**Gambar 2.18** Rotor Sangkar<sup>[5]</sup>

- b. Rotor Lilit, rotor lilit terdiri atas belitan fasa banyak, belitan ini dimasukkan ke dalam alur-alur inti rotor. Belitan ini sama dengan belitan dan stator, tetapi belitan selalu dihubungkan secara bintang. Tiga buah ujung-ujung belitan dihubungkan ke terminal-terminal sikat/cincin seret yang terletak pada poros rotor. Pada jenis rotor lilit dapat mengatur kecepatan motor dengan cara mengatur tahanan belitan rotor tersebut.

Pada keadaan kerja normal sikat karbon yang berhubungan dengan cincin seret tadi dihubung singkat. Motor induksi rotor lilit dikenal dengan sebutan Motor Induksi *Slipring* atau Motor Induksi Rotor Lilit. <sup>[5]</sup>



**Gambar 2.19** Rotor Lilit<sup>[5]</sup>

### 2.2.10.2 Prinsip Kerja Motor Induksi 3 Fasa

Ada beberapa prinsip kerja motor induksi :

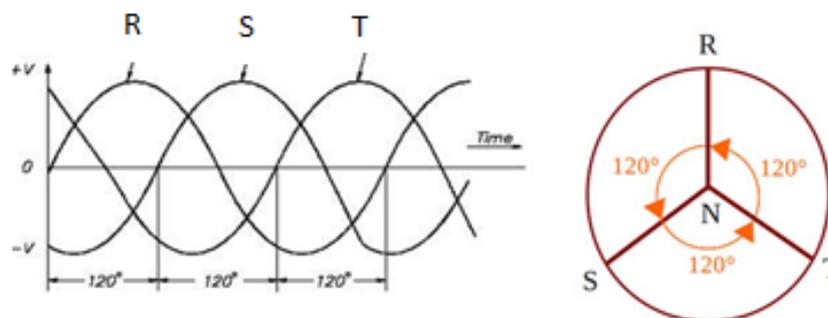
1. Apabila sumber tegangan 3 fasa dipasang pada kumparan medan (stator), timbulah medan putar dengan kecepatan,  $n_s = \frac{120f}{p}$ . <sup>[3]</sup> .....(2-12)
2. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor. <sup>[3]</sup>
3. Akibatnya pada kumparan jangkar (rotor) timbul tegangan induksi (ggl). <sup>[3]</sup>
4.  $E_{2s}$  adalah tegangan induksi pada saat rotor berputar. <sup>[3]</sup>

Karena kumparan jangkar merupakan rangkaian yang tertutup, ggl (E) akan menghasilkan arus (I). Adanya arus di dalam medan magnet menimbulkan gaya (F) pada rotor. [3]

5. Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul kopel poros, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator. [3]
6. Seperti telah dijelaskan pada poin 3 bahwa tegangan induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan putar stator. Artinya agar tegangan terinduksi diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator ( $n_s$ ) dengan kecepatan berputar rotor ( $n_r$ ). [3]
7. Perbedaan kecepatan antara  $n_r$  dan  $n_s$  disebut *slip* [3]
8. 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  $n_s$ . [3]
9. Dilihat dari cara kerjanya, motor induksi disebut juga sebagai motor tak serempak atau *asinkron*. [5]

### 2.2.11 Hubungan Bintang Segitiga (*Star-Delta*)

Pada sistem tenaga listrik 3 fase, idealnya daya listrik yang dibangkitkan, disalurkan dan diserap oleh beban semuanya seimbang,  $P$  pembangkitan =  $P$  pemakaian, dan juga pada tegangan yang seimbang. Pada tegangan yang seimbang terdiri dari tegangan 1 fase yang mempunyai magnitude dan frekuensi yang sama tetapi antara 1 fase dengan yang lainnya mempunyai beda fase sebesar  $120^\circ$  listrik, sedangkan secara fisik mempunyai perbedaan sebesar  $60^\circ$ , dan dapat dihubungkan secara bintang (Y, wye) atau segitiga (delta,  $\Delta$ , D).<sup>[2]</sup>



**Gambar 2.20** Sistem Tiga Fasa<sup>[8]</sup>

Gambar 2.20 menunjukkan fasor diagram dari tegangan fase. Bila fasor-fasor tegangan tersebut berputar dengan kecepatan sudut dan dengan arah berlawanan jarum jam (arah positif), maka nilai maksimum positif dari fase terjadi berturut-turut untuk fase R, S dan T. sistem 3 fase ini dikenal

sebagai sistem yang mempunyai urutan fasa R – S – T . sistem tegangan 3 fase dibangkitkan oleh generator sinkron 3 fase.<sup>[8]</sup>

Tegangan tiga fasa sering digambarkan dengan tiga buah garis dengan satu ujung saling bertemu, sehingga setiap garis membentuk sudut 120 derajat. Sudut itulah yang disebut sudut perbedaan fasa antara satu fasa dengan fasa lainnya sebesar 120 derajat. Seperti diperlihatkan pada gambar 2.20. Dari gambar diatas  $V_{rs}$  merupakan tegangan antara fasa R dan fasa S, sedangkan  $V_{rn}$  merupakan tegangan antara fasa R dengan netral  $V_{rn} = V_{sn} = V_{tn}$ . Sudut antara garis RN dan SN sebesar  $120^\circ$ .<sup>[8]</sup> Untuk mencari nilai RT maka kita gunakan rumus penjumlahan vektor yang berbeda sudut  $120^\circ$ . Sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$(V_{RS})^2 = (V_{RN})^2 + (V_{SN})^2 - 2 \times V_{RN} \times V_{SN} \times \cos (120^\circ) \dots\dots\dots(2-13)$$

$$= (V_{RN})^2 + (V_{RN})^2 - 2 \times V_{RN} \times V_{SN} \times (-0,5) \dots\dots\dots(2-14)$$

$$= (V_{RN})^2 + (V_{RN})^2 + (V_{RN})^2 \dots\dots\dots(2-15)$$

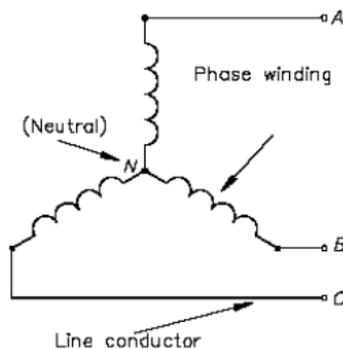
$$= 3 \times (V_{RN})^2 \dots\dots\dots(2-16)$$

$$V_{RS} = \sqrt{3} \times V_{RN} \dots\dots\dots(2-17)$$

$$V_{RN} = V_{RS} : \sqrt{3} \dots\dots\dots(2-18)$$

### 2.2.11.1 Hubungan Bintang

Pada hubungan bintang (Y, wye), ujung-ujung tiap fase dihubungkan menjadi satu dan menjadi titik netral atau titik bintang. Tegangan antara dua terminal dari tiga terminal a – b – c mempunyai besar magnitude dan beda fasa yang berbeda dengan tegangan tiap terminal terhadap titik netral. Tegangan  $V_a$ ,  $V_b$  dan  $V_c$  disebut tegangan “fase” atau  $V_f$ .<sup>[8]</sup>



**Gambar 2.21** Hubungan Bintang<sup>[8]</sup>

Dengan adanya saluran / titik netral maka besaran tegangan fase dihitung terhadap saluran / titik netralnya, juga membentuk sistem tegangan 3 fase yang seimbang dengan magnitudenya (akar 3 dikali magnitude dari tegangan fase).<sup>[8]</sup>

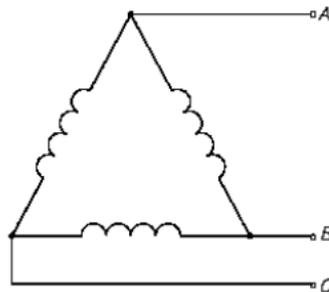
$$V_{line} = \sqrt{3}V_{fase} = 1,73V_{fase} \dots \dots \dots (2-19)$$

Sedangkan untuk arus yang mengalir pada semua fase bernilai sama

$$I_{Line} = I_{fase} \dots \dots \dots (2-20)$$

### 2.2.11.2 Hubungan Delta

Pada hubungan segitiga (delta,  $\Delta$ , D) ketiga fase saling dihubungkan sehingga membentuk hubungan segitiga 3 fase. <sup>[8]</sup>



**Gambar 2.22** Hubungan Segitiga<sup>[8]</sup>

Dengan tidak adanya titik netral, maka besarnya tegangan saluran dihitung antar fase, karena tegangan saluran dan tegangan fasa mempunyai besar magnitude yang sama, maka:

$$V_{line} = V_{fase} \dots \dots \dots (2-21)$$

Tetapi arus saluran dan arus fasa tidak sama dan hubungan antara kedua arus tersebut dapat diperoleh dengan menggunakan hukum kirchoff, sehingga:

$$I_{line} = \sqrt{3}I_{fase} = 1,73I_{fase} \dots \dots \dots (2-22)$$

### 2.2.11.3 Daya Pada Hubungan Tiga Fasa

Jumlah daya yang diberikan oleh suatu generator 3 fase atau daya yang diserap oleh beban 3 fase, diperoleh dengan menjumlahkan daya dari tiap-tiap fase. Pada sistem yang seimbang, daya total tersebut sama dengan

tiga kali daya fase, karena daya pada tiap-tiap fasenya sama. <sup>[8]</sup> Sehingga diperoleh persamaan:

$$P_{\text{fase}} = V_{\text{fase}} \cdot I_{\text{fase}} \cdot \cos \theta \dots\dots\dots(2-23)$$

sedangkan besarnya total daya adalah penjumlahan dari besarnya daya tiap fase, dan dapat dituliskan dengan,

$$P_{(\text{nyata})} = 3 \cdot V_f \cdot I_f \cdot \cos \theta \dots\dots\dots(2-24)$$

Pada hubungan bintang, karena besarnya tegangan saluran adalah  $1,73V_{\text{fase}}$  maka tegangan perfasanya menjadi  $V_{\text{line}}/1,73$ , dengan nilai arus saluran sama dengan arus fase,  $I_L = I_f$ , maka daya total ( $P_{\text{nyata}}$ ) pada rangkaian hubung bintang (Y) adalah:

$$P_{(\text{nyata})} = 3 \cdot V_L/1,73 \cdot I_L \cdot \cos \theta = 1,73 \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \theta \dots\dots\dots(2-25)$$

Dan pada hubung segitiga, dengan besaran tegangan line yang sama dengan tegangan fasanya,  $V_L = V_{\text{fase}}$ , dan besaran arusnya  $I_{\text{line}} = 1,73I_{\text{fase}}$ , sehingga arus perfasanya menjadi  $I_L/1,73$ , maka daya total ( $P_{\text{total}}$ ) pada rangkaian segitiga adalah:

$$P_{(\text{nyata})} = 3 \cdot I_L/1,73 \cdot V_L \cdot \cos \theta = 1,73 \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \theta \dots\dots\dots(2-26)$$

Dari persamaan total daya pada kedua jenis hubungan terlihat bahwa besarnya daya pada kedua jenis hubungan adalah sama, yang membedakan

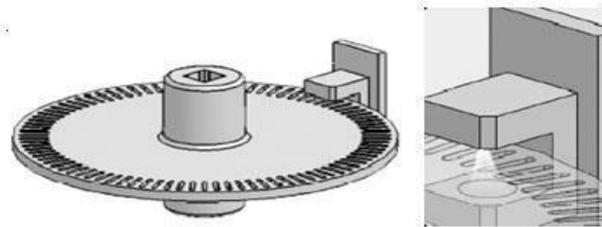
hanya pada tegangan kerja dan arus yang mengalirinya saja, dan berlaku pada kondisi beban yang seimbang.<sup>[8]</sup>

### **2.2.12 Sensor Kecepatan (*Optocoupler*)**

Optocoupler adalah suatu piranti yang terdiri dari 2 bagian yaitu transmitter dan receiver, yaitu antara bagian cahaya dengan bagian deteksi sumber cahaya terpisah. Biasanya optocoupler digunakan sebagai saklar elektrik, yang bekerja secara otomatis. Optocoupler adalah suatu komponen penghubung (coupling) yang bekerja berdasarkan picu cahaya optic.<sup>[1]</sup>

Optocoupler terdiri dari dua bagian yaitu :

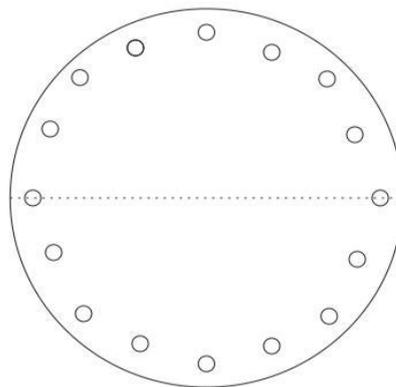
1. Pada transmitter dibangun dari sebuah LED infra merah. LED infra merah memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap sinyal tampak. Cahaya yang dipancarkan oleh LED infra merah tidak terlihat oleh mata telanjang.
2. Pada bagian receiver dibangun dengan dasar komponen phototransistor. Phototransistor merupakan suatu transistor yang peka terhadap tenaga cahaya unruk menangkap radiasi dari sinar infra merah.



Optical shaft encoder disk

**Gambar 2.23 Encoder**<sup>[6]</sup>

Penerapan optocoupler pada tugas akhir ini adalah sebagai *rotary encoder* yang digunakan untuk mendeteksi kecepatan putaran motor yang nantinya akan digunakan untuk pemindahan konfigurasi dari star ke delta. *Rotary encoder* tersebut memanfaatkan sebuah piringan yang diseluruh tepinya diberi lubang. Dan dari lubang jika berputar akan memiliki pola „1“ dan „0“ (*high dan low*). Rumus menghitung RPM pada motor menggunakan sensor optocoupler sebagai sensor kecepatan :

**Gambar 2.24 Piringan Yang Digunakan**<sup>[6]</sup>

Dari gambar di atas menggunakan 16 lubang dan berikut cara mencari putaran atau RPM pada motor :

Misal diketahui jumlah pulsa yang masuk mikrokontroler = 200

Rumus yang digunakan adalah :

- Jumlah pulsa \* 60 detik / jumlah lubang.....(2-27)

Maka :

$$200 * 60 / 16 = 750$$

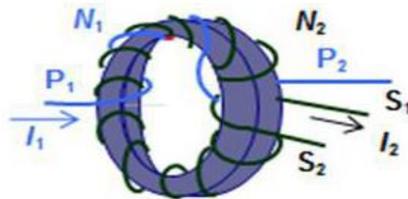
Maka dari rumus dia atas langsung diperoleh Rpm motor = 750

### 2.2.13 Trafo Arus (*Current Transformer*)

Trafo arus (*Current Transformator-CT*) yaitu perlatan yang digunakan untuk melakukan pengukuran besaran arus pada instalasi tenaga listrik di sisi primer yang berskala besar dengan melakukan transformasi dari besaran arus yang besar menjadi besaran arus yang kecil secara akurat dan teliti untuk keperluan pengukuran.<sup>[7]</sup>

Pada dasarnya prinsip kerja dari trafo arus sama dengan trafo tenaga. Jika ada arus  $I_1$  mengalir pada kumparan primer maka akan timbul gaya gerak magnet  $N_1 I_1$  yang mengakibatkan terbentuknya fluks pada inti besi. Fluks tersebut menginduksi kumparan sekunder sehingga timbul gaya gerak listrik pada kumparan sekunder. Pada saat kumparan sekunder dalam

kondisi tertutup maka akan mengalir arus  $I_2$ . Arus ini menimbulkan gaya gerak magnet  $N_2 I_2$  pada kumparan sekunder. <sup>[7]</sup>



**Gambar 2.25** Rangkaian pada CT<sup>[7]</sup>

Untuk trafo yang dihubung singkat :

$$I_1 \cdot N_1 = I_2 \cdot N_2 \dots\dots\dots(2-28)$$

Untuk trafo pada kondisi tidak berbeban:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \dots\dots\dots(2-29)$$

Dimana

$I_1 > I_2$  sehingga  $N_1 < N_2$

$N_1$  = Jumlah lilitan primer

$N_2$  = jumlah lilitan sekunder.

#### 2.2.14 Sensor Tegangan

Sensor tegangan ini digunakan untuk mendapatkan parameter tegangan antar fasa dengan mengukur tegangan tiap fasa menggunakan rangkaian sensor tegangan yang telah dirancang berjumlah tiga buah dan kemudian diproses oleh mikrokontroler *Arduino mega 2560* sehingga dapat mengetahui besar tegangan antar fasa yang ditampilkan pada *display HMI*.<sup>[1]</sup>

Rangkaian ini pada intinya terdiri dari transformator *step down* yang berfungsi untuk menurunkan tegangan, rangkaian penyearah, filter kapasitor, serta rangkaian pembagi tegangan. Pada sensor tegangan ini terdapat dua buah resistor yang digunakan sebagai rangkaian pembagi tegangan yang akan menurunkan tegangan dari tegangan sumber menjadi tegangan yang dikehendaki. Nilai tegangan awal antar fasa adalah 380 volt. Sensor tegangan ini tidak langsung terhubung dengan sumber tegangan 380 volt, Karena tegangan tersebut dirasa terlalu bahaya untuk langsung diolah, baik bagi alat maupun bagi pengguna. Untuk mengatasi hal tersebut maka dibutuhkan transformator *step down* yang digunakan untuk menurunkan tegangan tersebut menjadi tegangan yang diinginkan. Kemudian tegangan tersebut disearahkan menggunakan diode penyearah gelombang penuh sehingga didapatkan tegangan keluaran volt DC yang bervariasi karena tegangan sumber antar fasanya pun juga bervariasi. <sup>[1]</sup>

Penyearah yang dihasilkan oleh diode tersebut belum benar benar rata seperti tegangan DC pada umumnya, oleh Karena itu diperlukan kapasitor yang berfungsi sebagai *filter* (penyaring) untuk menekan *ripple* yang terjadi pada proses penyearahan gelombang AC. Kemudian tegangan DC yang sudah melewati proses penyaringan dengan kapasitor tersebut akan melewati rangkaian pembagi tegangan yang bertujuan untuk membagi tegangan yg keluar dengan tegangan yang diinginkan untuk selanjutnya di proses pada mikrokontroler *Arduino Mega 2560*. <sup>[1]</sup>