

BAB II

LANDASAN TEORI

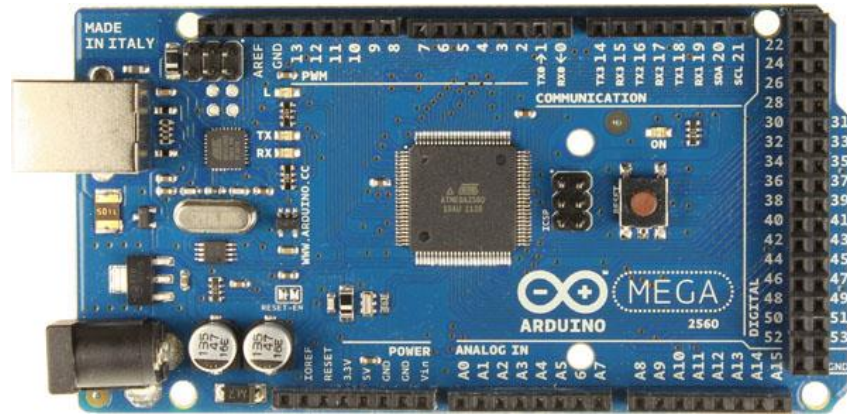
2.1 Tinjauan Pustaka

Setelah penulis mempelajari referensi yang ada, terdapat keterkaitan antara sumber referensi dengan perancangan alat yang penulis lakukan. Referensi yang dipelajari penulis adalah metode untuk menangani lonjakan arus yang terjadi saat *starting* motor induksi. Dikatakan bahwa untuk menangani lonjakan arus ada beberapa metode yaitu DOL (*direct on line*), star-delta, auto transformer, dan *soft start*. Penulis mendapatkan sumber referensi dari tugas akhir tentang “*Rancang Bangun Modul Starting Start Delta Pada Motor Induksi Tiga Fasa Berbasis Sensor Kecepatan Menggunakan Mikrokontroler Arduino Mega 2560*”^[1]

Perbedaan tugas akhir yang akan dikerjakan penulis dengan referensi diatas adalah penulis akan menggunakan metode *soft start* yang dimana hampir sama fungsinya seperti referensi diatas tetapi berbeda dengan prinsip kerjanya. Selain itu tugas akhir yang penulis buat menggunakan TRIAC Optoisolator sebagai komponen utama penyusun *soft start* serta sebagai pusat control Arduino untuk menjalankan motor secara *soft start* secara manual apabila Arduino yang dipakai mengalami sedikit masalah. Alat yang penulis buat juga akan dilengkapi dengan sensor ACS712 sebagai sensor arus, sensor optocoupler sebagai sensor kecepatan 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^[1]

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^[1]

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 Mega 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. ^[1]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) 3V3

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 (*Vage 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 *Serial17* (RX) dan 16 (TX), pin *Serial15* (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 Mega 2560 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 *analog Reference()*.

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 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 rangkaian dari rangkaian yang lain, dan untuk menghambat arus searah atau mengalirkan arus bolak-balik.^[1] 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:

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

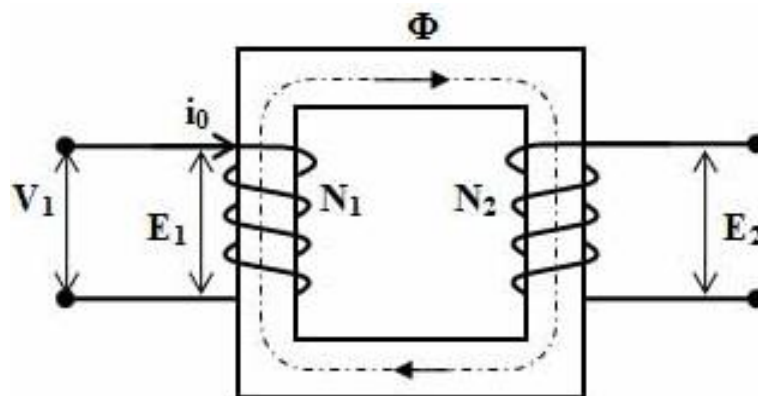
$$V_1.I_1 = P_2.I_2 \dots \dots \dots \text{Persamaan (2-6)}$$

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

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 tap (CT). Pada pembuatan realisasi ini yang digunakan adalah Trafo CT. Trafo CT Adalah trafo yang mempunyai besar keluaran yang berjumlah dua atau bepasangan (6 dengan 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.^[1]



Gambar 2.2 Konstruksi transformator^[1]

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

ϕ = fluks magnetik pada inti (Weber)

2.2.3 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.

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 dikonfigursikan 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

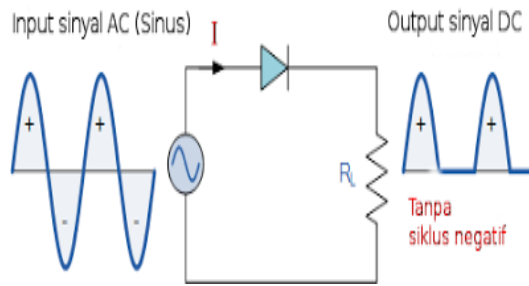
transformator *stepdown*. Ada 3 bagian utama dalam penyearah gelombang pada suatu *power supply* yaitu, penyearah gelombang / *rectifier* (dioda), penurun tegangan (transformer), dan filter (kapasitor).

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^[1]

2.2.3.1 Power Supply setengah gelombang

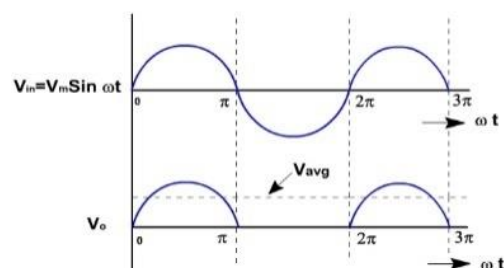
Penyearah setengah gelombang (*half wave rectifier*) adalah sistem penyearah yang menggunakan satu blok dioda tunggal (bisa satu dioda atau banyak dioda yang diparalel) untuk mengubah tegangan dengan arus bolak-balik (AC) menjadi tegangan dengan arus searah (DC). Prinsip kerja penyearah setengah gelombang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

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 2.3 *Power Supply* setengah gelombang^[1]

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 2.4 Gelombang Output *power supply* setengah gelombang^[1]

Formulasi yang digunakan pada penyearah setengah gelombang sebagai berikut.

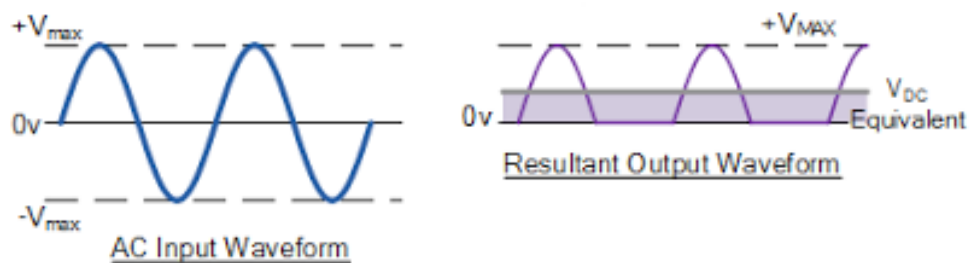
$$V_{avg} = \frac{V_m}{\pi} \dots \dots \dots (2-9)$$

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.^[1]



Gambar 2.5 Output Penyearah Setengah Gelombang^[1]

Berdasarkan kondisi diatas maka dapat dirumuskan bahwa besarnya tegangan output dari penyearah setengah gelombang adalah V_{max} dibagi dengan π (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 $0.45V_{rms}$.

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

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.

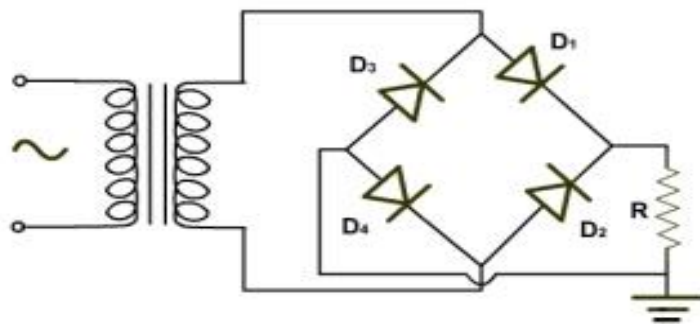
Kelemahan dari penyearah setengah gelombang adalah keluarannya memiliki riak (*ripple*) yang sangat besar sehingga tidak halus dan membutuhkan kapasitor besar pada aplikasi frekuensi rendah seperti listrik PLN 50Hz. Kelemahan

ini tidak berlaku pada aplikasi *power supply* frekuensi tinggi seperti pada rangkaian SMPS yang mempunyai duty cycle diatas 90%.

Kelemahan penyearah setengah gelombang lainnya 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.

2.2.3.2 Power Supply Gelombang Penuh

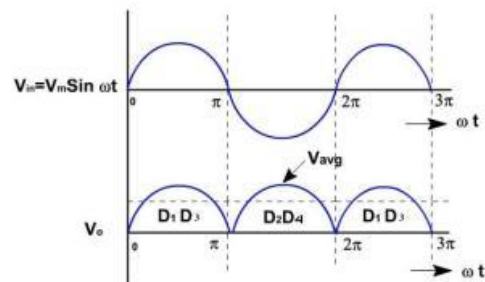
Penyearah Gelombang Penuh (Full wave *Rectifier*) Penyearah gelombang penuh dapat dibuat dengan 2 macam yaitu, menggunakan 4 dioda dan 2 dioda. Untuk membuat penyearah gelombang penuh dengan 4 dioda menggunakan transformator non-CT seperti terlihat pada gambar berikut:



Gambar 2.6 Rangkaian Pemyearah Gelombang Penuh 4 Dioda^[1]

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.^[1]

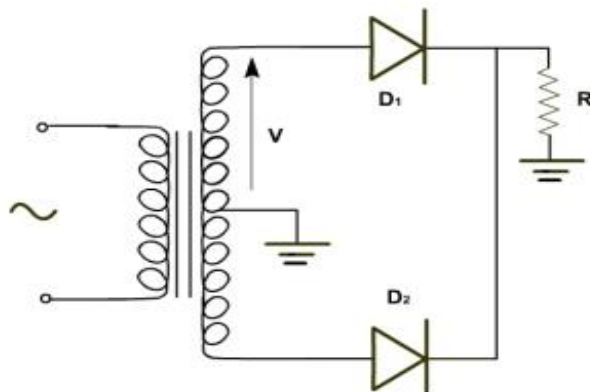
Kemudian pada saat *output* transformator memberikan level tegangan sisi puncak negatif maka D2, D4 pada posisi forward bias dan D1, D2 pada posisi reverse bias sehingga level tegangan sisi negatif tersebut dialirkan melalui D2, D4. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada grafik *output* berikut.



Gambar 2.7 Output Penyearah Gelombang Penuh^[1]

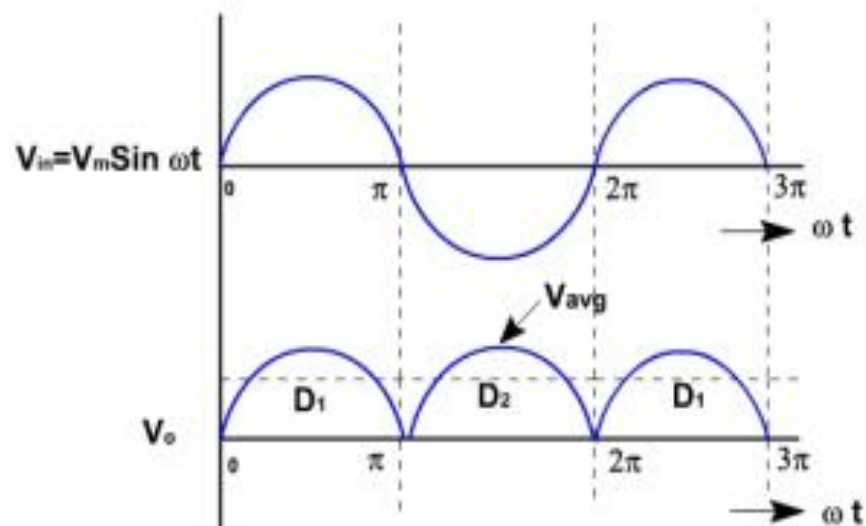
2.2.3.3 Penyearah Gelombang Penuh dengan Trafo CT

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



Gambar 2.8 Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh 2 Dioda^[1]

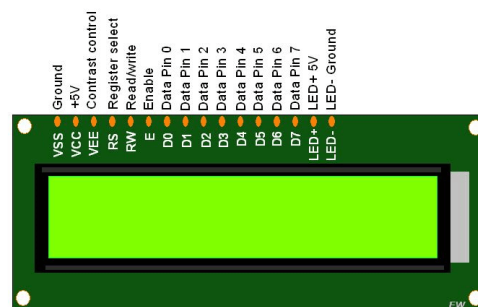
Prinsip kerja rangkaian penyearah gelombang penuh dengan 2 dioda ini dapat bekerja karena menggunakan transformator dengan CT. Transformator dengan CT seperti pada gambar diatas dapat memberikan *output* tegangan AC pada kedua terminal *output* sekunder terhadap terminal CT dengan level tegangan yang berbeda fasa 180°. 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.^[1]



Gambar 2.9 Output Penyearah Gelombang Penuh^[1]

2.2.4 LCD (*Liquid Crystal Display*)

Display LCD sebuah liquid crystal atau perangkat elektronik yang dapat digunakan untuk menampilkan angka atau teks. Ada dua jenis utama layer LCD yang dapat menampilkan numerik (digunakan dalam jam tangan, kalkulator dll) dan menampilkan teks alfanumerik (sering digunakan pada mesin foto kopi dan telpon genggam). Dalam menampilkan numerik ini kristal yang dibentuk menjadi bar, dan dalam menampilkan alfanumerik kristal hanya diatur kedalam pola titik. Setiap kristal memiliki sambungan listrik individu sehingga dapat dikontrol secara independen. Ketika kristal off (yakni tidak ada arus yang melalui kristal) cahaya kristal terlihat sama dengan bahan latar belakangnya, sehingga kristal tidak dapat terlihat. Namun ketika arus listrik melewati kristal, itu akan merubah bentuk dan menyerap lebih banyak cahaya. Hal ini membuat kristal terlihat lebih gelap dari penglihatan mata manusia sehingga bentuk titik atau bar dapat dilihat dari perbedaan latar belakang.^[7]



Gambar 2.10 LCD 16x2

(Sumber : <https://www.tindie.com/products/lesthersk/lcd-16x2-arduino-compatible/>. Diakses tanggal 12 Mei 2019)

2.2.5 Push Button

Push Button adalah saklar tekan yang berfungsi sebagai pemutus atau penyambung arus listrik dari sumber arus ke beban listrik. Suatu sistem saklar tekan push button terdiri dari saklar tekan start, stop reset dan saklar tekan untuk emergency. Push button memiliki kontak NC (*normally close*) dan NO (*normally open*)^[10].



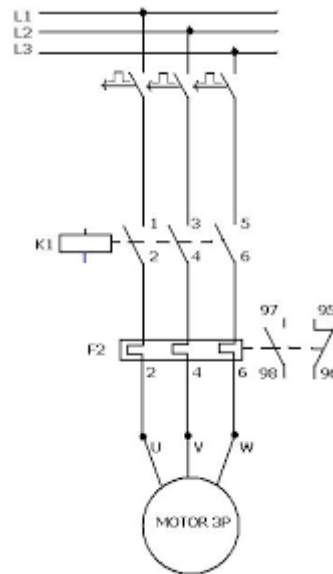
Gambar 2.11 Push Button

(Sumber : <http://listrikduniaterang.blogspot.com/2016/05/pengertian-push-button-dan-prinsip.html>. Diakses pada tanggal 12 Mei 2019)

2.2.6 Starting Motor Induksi

2.2.6.1 Direct On Line Starter

Direct On Line starter merupakan starting langsung. Penggunaan metoda ini sering dilakukan untuk motor-motor a.c yang mempunyai kapasitas daya yang kecil. Pengertian penyambungan langsung disini, motor yang akan dijalankan langsung di swich On ke sumber tegangan jala-jala sesuai dengan besar tegangan nominal motor. Artinya tidak perlu mengatur atau menurunkan tegangan pada saat starting (lihat gambar 2.12).^[8]



Gambar 2.12 Diagram *Direct On Line starter*.^[8]

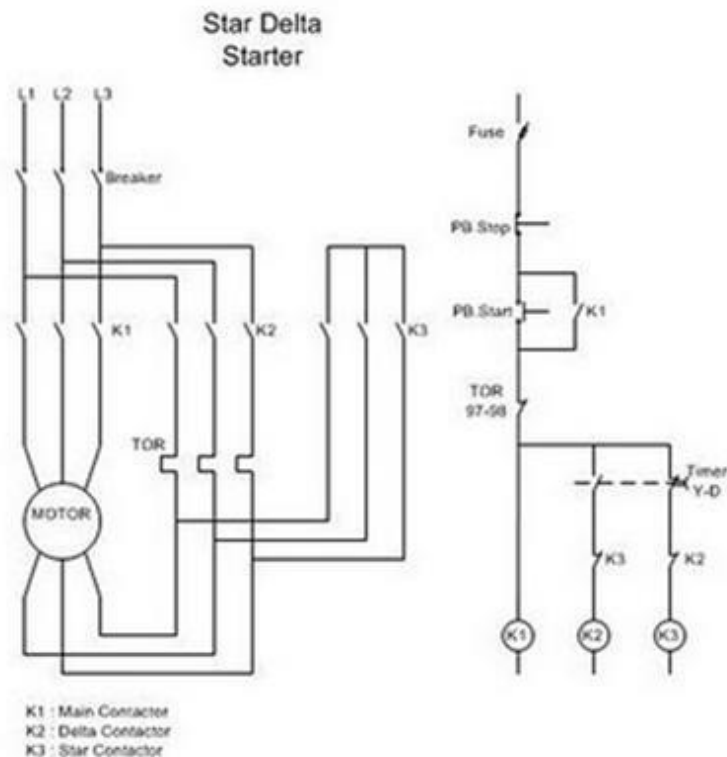
Besar arus startnya dari 4 sampai 7 dari arus beban penuhnya (bila tidak diketahui biasanya dipakai 6x arus beban penuhnya). Hal ini terjadi karena motor pada saat diam memiliki momen inersia (motor dalam keadaan diam), sehingga untuk mengalahkan momen inersia ini dibutuhkan arus yang besar.

Starter ini terdiri dari Breaker sebagai proteksi hubung singkat, Magnetik Contactor, Over Current Relay dan komponen control seperti push button, MCB dan pilot lamp. Kontrol Start dan Stop dilakukan dengan push button yang mengontrol tegangan pada coil contactor. Sementara itu output OCR terangkai secara serrie sehingga jika OCR trip, maka output OCR akan melepas tegangan ke coil contactor.

Komponen penyusun starter ini harus mempunyai ampacity yang cukup besar. Perlu diperhitungkan juga arus saat start motor, demikian juga ukuran range overloadnya.

2.2.6.2 Star – Delta starter

Starter ini mengurangi lonjakan arus dan torsi pada saat start. Tersusun atas 3 buah contactor yaitu Main Contactor, Star Contactor dan Delta Contactor, Timer untuk pengalihan dari Star ke Delta serta sebuah overload relay. Pada saat start, starter terhubung secara Star. Gulungan stator hanya menerima tegangan sekitar 0,578 (seper akar tiga) dari tegangan line. Jadi arus dan torsi yang dihasilkan akan lebih kecil dari pada DOL Starter. Setelah mendekati speed normal starter akan berpindah menjadi terkoneksi secara Delta. Starter ini akan bekerja dengan baik jika saat start motor tidak terbebani dengan berat.



Gambar 2.13 Star – Delta Starter^[8]

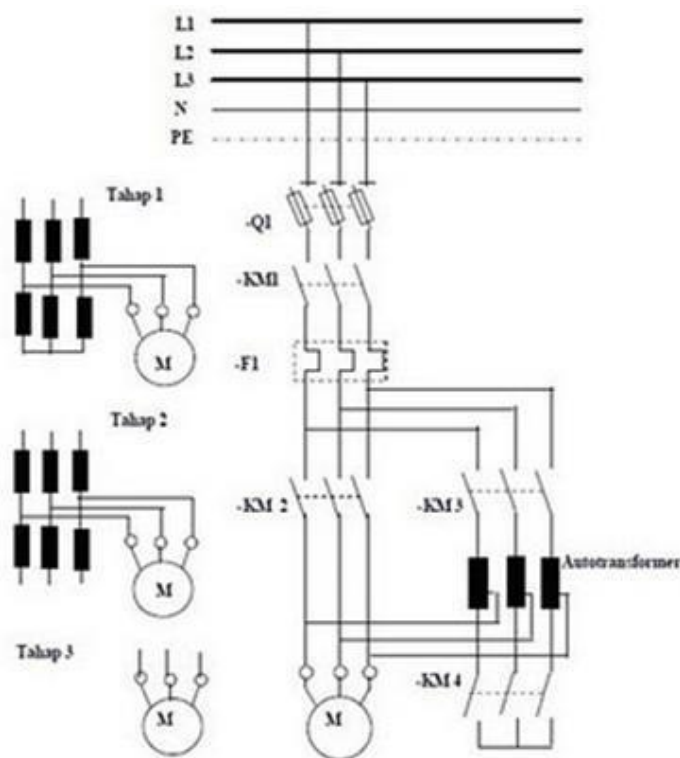
Pada star delta starter, arus yang mengalir adalah

$$I = \frac{I_{DOL}}{3}$$

Dimana I_{DOL} = Arus start langsung

2.2.6.3 Autotransformer Starter

Starting dengan cara ini adalah dengan menghubungkan motor pada tap tegangan sekunder autotransformer terendah. Setelah beberapa saat motor dipercepat tap autotransformer diputuskan dari rangkaian dan motor terhubung langsung pada tegangan penuh.



Gambar 2.14 Autotransformer Starter^[8]

Diagram starter dengan autotransformer starter

Pada autotransformer starter, arus yang mengalir adalah

$$I = \left[\frac{V_m}{V_1} \right]^2 \times I_{DOL}$$

Dimana :

V_m = Tegangan sekunder dari Auto-Transformer

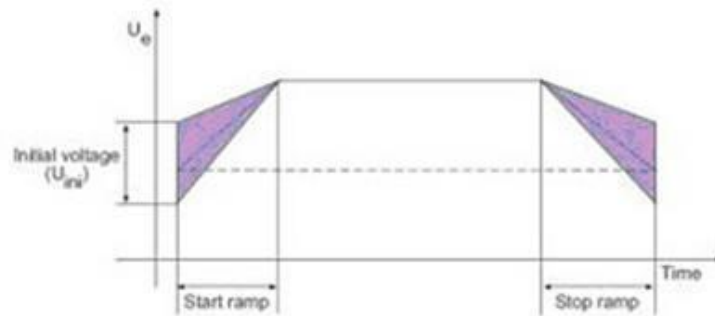
V_1 = Tegangan supply

I_{DOL} = Arus start langsung

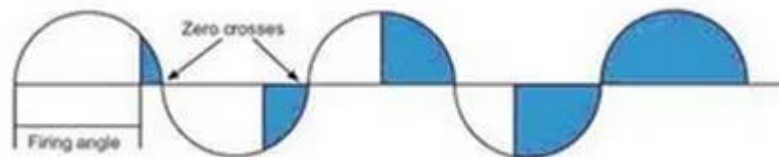
2.2.6.4 *Soft Starter*

Soft starter dipergunakan untuk mengatur/ memperhalus start dari elektrik motor.

Komponen utama softstarter adalah thyristor dan rangkaian yang mengatur trigger thyristor. Seperti diketahui Prinsip kerjanya adalah mengatur tegangan yang masuk ke motor dengan cara mengatur output thyristor di via pin gate nya. Rangkaian tersebut akan mengontrol level tegangan yang akan dikeluarkan oleh thyristor.. Pertama-tama motor hanya diberikan tegangan yang rendah sehingga arus dan torsi pun juga rendah. Pada level ini motor hanya sekedar bergerak perlahan atau hanya berbunyi dan tidak menimbulkan kejutan. Selanjutnya tegangan akan dinaikan secara bertahap sampai ke nominal tegangannya dan motor akan berputar dengan dengan kondisi RPM yang nominal. Berikut pada gambar 2.15 adalah diagram prinsip kerja *soft start* serta gambar 2.16 adalah gelombang sinus yang dihasilkan terhadap *soft start*.

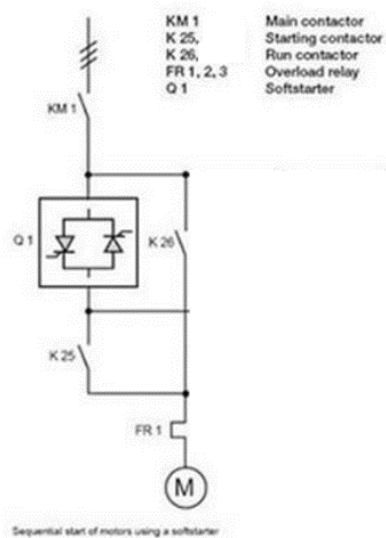


Gambar 2.15 Prinsip *Soft Start*^[8]



Gambar 2.16 Gelombang Sinus Terhadap *Soft Start*^[8]

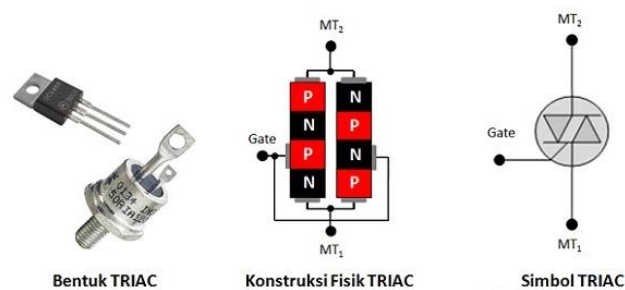
Selain untuk starting motor, Softstarter juga dilengkapi fitur soft stop. Jadi saat stop, tegangan juga dikurangi secara perlahan atau tidak dilepaskan begitu saja seperti pada starter yang menggunakan contactor.



Gambar 2.17 *Soft Start*^[8]

2.2.7 Triac (Triode for Alternating Current)

TRIAC adalah perangkat semikonduktor berterminal tiga yang berfungsi sebagai pengendali arus listrik. Nama TRIAC ini merupakan singkatan dari *TRIode for Alternating Current* (Trioda untuk arus bolak balik). Sama seperti SCR, TRIAC juga tergolong sebagai Thyristor yang berfungsi sebagai pengendali atau Switching. Namun, berbeda dengan SCR yang hanya dapat dilewati arus listrik dari satu arah (unidirectional), TRIAC memiliki kemampuan yang dapat mengalirkan arus listrik ke kedua arah (bidirectional) ketika dipicu. Terminal Gate TRIAC hanya memerlukan arus yang relatif rendah untuk dapat mengendalikan aliran arus listrik AC yang tinggi dari dua arah terminalnya. TRIAC sering juga disebut dengan *Bidirectional Triode Thyristor*. Pada dasarnya, sebuah TRIAC sama dengan dua buah SCR yang disusun dan disambungkan secara antiparalel (paralel yang berlawanan arah) dengan Terminal Gerbang atau Gate-nya dihubungkan bersama menjadi satu. Jika dilihat dari strukturnya, TRIAC merupakan komponen elektronika yang terdiri dari 4 lapis semikonduktor dan 3 Terminal, Ketiga Terminal tersebut diantaranya adalah MT1, MT2 dan Gate. MT adalah singkatan dari Main Terminal.^[5]



Gambar 2.18 Bentuk dan Simbol TRIAC

(Sumber : <https://teknikelektronika.com/wp-content/uploads/2015/12/Pengertian-TRIAC-dan-Aplikasinya.jpg?x69694>. Diakses pada tanggal 25 Mei 2019)

TRIAC merupakan komponen yang sangat cocok untuk digunakan sebagai AC Switching (Saklar AC) karena dapat mengendalikan aliran arus listrik pada dua arah siklus gelombang bolak-balik AC. Kemampuan inilah yang menjadi kelebihan dari TRIAC jika dibandingkan dengan SCR. Namun TRIAC pada umumnya tidak digunakan pada rangkaian switching yang melibatkan daya yang sangat tinggi. Salah satu alasannya adalah karena karakteristik Switching TRIAC yang non-simetris dan juga gangguan elektromagnetik yang diciptakan oleh listrik yang berdaya tinggi itu sendiri.

Beberapa aplikasi TRIAC pada peralatan-peralatan Elektronika maupun listrik diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Pengatur pada Lampu Dimmer.
2. Pengatur Kecepatan pada Kipas Angin.
3. Pengatur Motor kecil.
4. Pengatur pada peralatan-peralatan rumah tangga yang berarus listrik AC.^[5]

2.2.8 Optoisolator MOC 3021

Optoisolator dengan tipe MOC3021 dimana penggeraknya menggunakan diode infra merah dan keluarannya berupa *photo triac*.

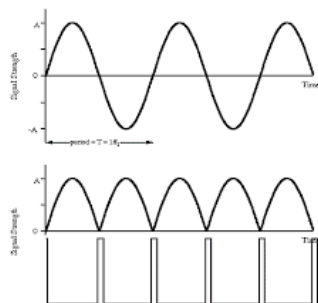
Pada rangkaian driver ini yang perlu diperhatikan adalah besarnya arus yang diperlukan untuk menggerakkan *photo triac* agar terhubung, dan besarnya arus yang dibutuhkan oleh rangkaian tegangan ac (*triac*). Besarnya arus yang diperlukan pada led infra merah agar *photo triac* terhubung adalah berkisar antara 8 – 15 mA, sedangkan arus maksimum yang diperbolehkan melewati *photo triac* adalah sebesar

100 mA. Dengan menggunakan V_{cc} sebesar 5 volt, untuk mengalirkan arus pada led sebesar 15 mA.

Besarnya arus yang mengalir pada *photo triac* ditentukan melalui arus yang diperlukan oleh *gate* pada *triac* daya. Hal ini tergantung pada *triac* yang dipakai. Pada system ini *triac* yang digunakan membutuhkan arus *gate* maksimum 50mA.^[5]

2.2.9 Zero Crossing Detector

Agar bisa menentukan waktu tunda dengan tepat untuk mendapatkan hasil pengaturan tegangan yang akurat, mikrokontroller harus mengetahui saat titik nol (*zero crossing*). *Zero crossing detector* adalah rangkaian yang digunakan untuk mendeteksi gelombang sinus AC 220 volt saat melewati titik tegangan nol. Perpotongan titik nol ini merupakan acuan yang digunakan sebagai awal pemberian nilai waktu tunda untuk pemicuan *triac*. Rangkaian pembentuk dari *zero crossing detector* berupa optocoupler dan diode bridge. Rangkaian *zero crossing detector* ini sering digunakan pada perangkat pengontrolan beban AC yang dikendalikan menggunakan *triac*.^[5]



Gambar 2.19 Fasa dimana tidak ada tegangan input adalah *zero crossing*^[5]

Titik persilangan dengan nol tegangan sumber untuk beban yang dikendalikan dengan komponen saklar berupa *triac* diperlukan untuk menentukan waktu mulai pemberian *trigger* atau sinyal control pada *triac* tersebut. Pemberian sinyal input pada *triac* yang tepat pada titik persilangan nol bertujuan agar data yang diolah dengan keluarannya bisa sinkron^[5].

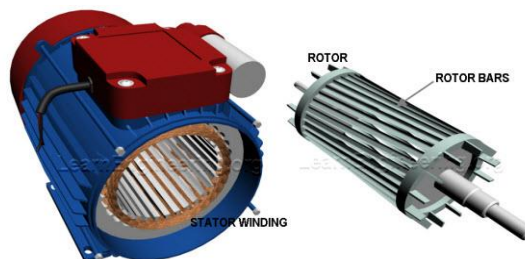
2.2.10 Motor Induksi 1 Fasa



Gambar 2.20 Motor Induksi 1 fasa

(Sumber: <http://www.insinyoer.com/wp-content/uploads/2015/11/Gambar-1-Motor-Induksi-Satu-Fasa.jpg>. Diakses pada tanggal 25 Mei 2019)

Suatu motor induksi terdiri atas dua bagian utama, yaitu yang pertama adalah stator atau bagian yang diam tempat dibangkitkannya medan magnet putar, yang kedua ialah rotor atau bagian yang berputar tempat diinduksikannya gaya gerak listrik oleh medan putar.



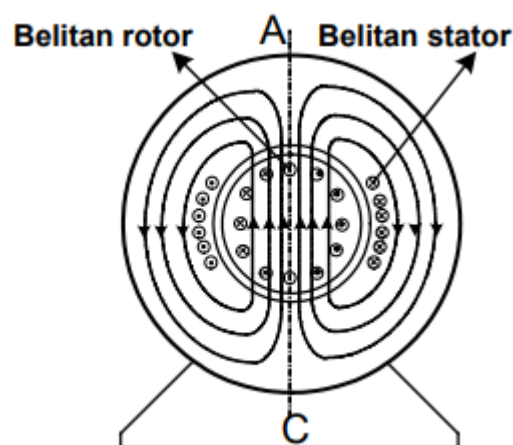
Gambar 2.21 Bagian Utama Motor Induksi 1 Fasa

(Sumber: <http://www.insinyoer.com/wp-content/uploads/2015/11/Gambar-1-Motor-Induksi-Satu-Fasa.jpg>. Diakses pada tanggal 25 Mei 2019)

Putaran rotor motor induksi tidak sama dengan putaran medan stator, dengan kata lain putaran rotor dengan putaran medan stator terdapat selisih putaran yang disebut slip.

Kecepatan putaran motor induksi ditentukan oleh kecepatan medan stator dan slip akibat beban yang dihubungkan dengan poros motor. Kecepatan putaran rotor selalu lebih rendah dari pada kecepatan medan stator. Perbedaan relative antara putaran rotor dan kecepatan stator disebut slip. Nilai slip dipengaruhi oleh beban. Pada keadaan tanpa beban, slip motor induksi sangat rendah sehingga putaran rotor mendekati kecepatan sinkron. Jika motor dibebani maka slip akan bertambah sehingga putaran motor menjadi berkurang

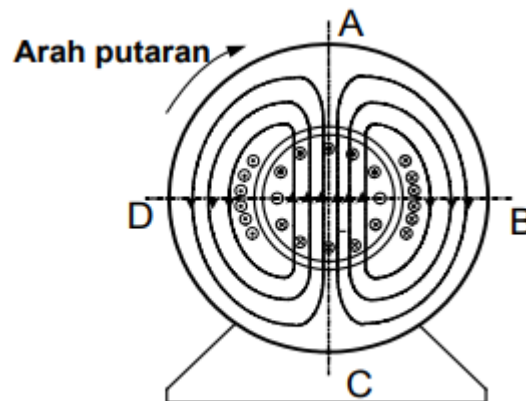
Jika motor induksi satu fasa diberikan tegangan bolak – balik satu fasa maka arus bolak – balik akan mengalir pada kumparan stator. Arus pada kumparan stator ini menghasilkan medan magnet seperti yang di tunjukkan oleh garis putus – putus pada gambar 2.22^[6]



Gambar 2.22 Medan Magnet Stator Berpulsa Segaris Garis AC^[6]

Arus stator yang mengalir setengah periode pertama akan membentuk kutub utara di A dan kutub selatan di C pada permukaan stator. Pada setengah periode berikutnya, arah kutub – kutub stator menjadi terbalik. Meskipun kuat medan magnet stator berubah – ubah yaitu maksimum pada saat arus maksimum dan nol pada saat arus nol serta polaritasnya terbalik secara periodic, aksi ini akan terjadi hanya sepanjang sumbu AC. Dengan demikian, medan magnet ini tidak berputar tetapi hanya merupakan sebuah medan magnet yang berpulsa pada posisi yang tetap (*stationary*).

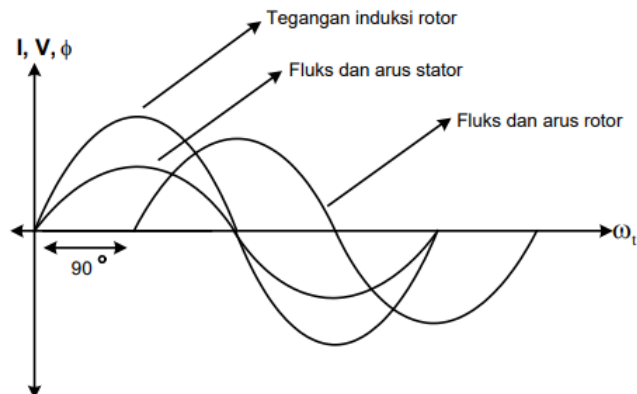
Seperti halnya pada transformator, tegangan terinduksi pada belitan sekunder, dalam hal ini adalah kumparan rotor. Karena rotor dari motor induksi satu fasa pada umumnya adalah rotor sangkar dimana belitannya terhubung singkat, maka arus akan mengalir pada kumparan rotor tersebut. Sesuai dengan hukum Lenz, arah dari arus ini (seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.22) adalah sedemikian rupa sehingga medan magnet yang dihasilkan melawan medan magnet yang menghasilkannya. Arus rotor ini akan menghasilkan medan magnet rotor dan membentuk kutub – kutub pada permukaan rotor. Karena kutub – kutub ini juga berada pada sumbu AC dengan arah yang berlawanan terhadap kutub – kutub stator, maka tidak ada momen putar yang dihasilkan pada kedua arah sehingga rotor tetap diam. Dengan demikian, motor induksi satu fasa tidak dapat diasut sendiri dan membutuhkan rangkaian bantu untuk menjalankannya.



Gambar 2.23 Motor Dalam Keadaan Berputar^[6]

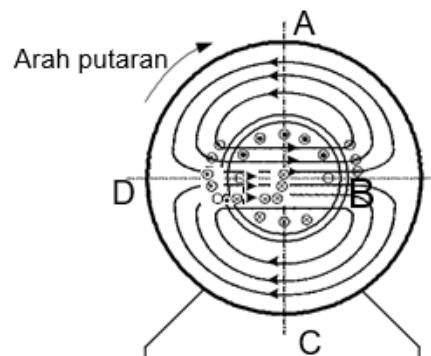
Misalkan sekarang motor sedang berputar. Hal ini dapat dilakukan dengan memutar secara manual (dengan tangan) atau dengan rangkaian bantu. Konduktor – konduktor rotor akan memotong medan magnet stator sehingga timbul gaya gerak listrik pada konduktor – konduktor tersebut. Hal ini diperlihatkan pada Gambar 2.23 yang menunjukkan rotor sedang berputar searah jarum jam.

Jika fluks rotor seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.23 mengarah ke atas sesuai dengan kaidah tangan kanan Fleming, arah gaya gerak listrik (ggl) rotor akan mengarah keluar kertas pada setengah bagian atas rotor dan mengarah ke dalam kertas pada setengah bagian bawah rotor. Pada setengah periode berikutnya arah dari gaya gerak listrik yang dibangkitkan akan terbalik. Gaya gerak listrik yang diinduksikan ke rotor adalah berbeda dengan arus dan fluks stator. Karena konduktor – konduktor rotor terbuat dari bahan dengan tahanan rendah dan induktansi tinggi, maka arus rotor yang dihasilkan akan tertinggal terhadap gaya gerak listrik rotor mendekati 90^0 . Gambar 2.24 menunjukkan hubungan fasa dari arus dan fluks stator, gaya gerak listrik, arus dan fluks rotor.



Gambar 2.24 Fluks Rotor Tertinggal Terhadap Fluks Stator Sebesar 90^0 [6]

Sesuai dengan kaidah tangan kanan Fleming, arus rotor ini akan menghasilkan medan magnet, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.24 karena medan rotor ini terpisah sebesar 90^0 dari medan stator, maka disebut sebagai medan silang (*cross-field*). Nilai maksimum dari medan ini seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.25, terjadi pada saat seperempat periode setelah gaya gerak listrik rotor yang dibangkitkan adalah telah mencapai nilai maksimumnya. Karena arus rotor yang mengalir disebabkan oleh suatu gaya gerak listrik bolak – balik maka medan magnet yang dihasilkan oleh arus ini adalah juga bolak – balik dan aksi ini terjadi sepanjang sumbu DB (lihat Gambar 2.25).



Gambar 2.25 Medan Silang yang Dibangkitkan Arus Stator [6]

Karena medan silang beraksi pada sudut 90^0 terhadap medan magnet stator dengan sudut fasa yang juga tertinggal 90^0 terhadap medan stator, kedua medan bersatu untuk membentuk sebuah medan putar.^[6]

2.2.10.1 Jenis – Jenis Motor Induksi 1 Fasa

1) Motor Kapasitor

Motor kapasitor satu fasa banyak digunakan dalam peralatan rumah tangga seperti motor pompa air, motor mesin cuci, motor lemari es, motor air conditioning. Konstruksinya sederhana dengan daya kecil dan bekerja dengan tegangan suplai PLN 220 V, oleh karena itu menjadikan motor kapasitor ini banyak dipakai pada peralatan rumah tangga.

Ada 3 macam motor kapasitor :

- a. Motor kapasitor start (starting capacitor motor)
- b. Motor kapasitor tetap/ running (permanent capacitor motor)
- c. Motor kapasitor start running (start-running capacitor motor)^[9]

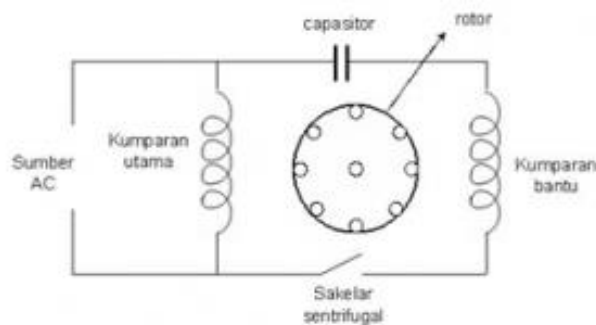
A. Motor Kapasitor Start

Motor ini adalah merupakan jelmaan dari motor fasa belah, tetapi mempunyai kapasitor yang dihubungkan seri dengan belitan bantu dan sakelar sentrifugal, secara konstruktif sama persis, hanya ditambah satu unit kapasitor untuk memperbesar kopel awal (start). Seperti dikatakan di awal prinsip kerja motor kapasitor start ini sama seperti motor induksi, yaitu jika pada lilitan utama diberikan sumber arus maka akan terjadi medan magnet putar (fluks magnet) yang ada dan

besarnya sama, tidak ada resultan gaya. Tetapi dengan adanya lilitan bantu dan kapasitor maka ada beda fasa diantara keduanya, disinilah terjadi fluksi magnet dan resultan gaya yang berbeda maju atau mundur tergantung besarnya resultan gaya itu sendiri dan pada umumnya terjadi resultan gaya searah jarum jam sehingga motor dapat berputar ke kanan. Setelah motor berputar 75% dari putaran nominal maka sakelar sentrifugal bekerja memutuskan rangkaian lilitan bantu dan motor bekerja hanya dengan lilitan utama.

Keuntungan motor jenis ini dibanding dengan type motor fasa belah adalah:

1. Mempunyai kopel yang lebih kuat.
2. Faktor kerjanya lebih besar (mendekati 1)



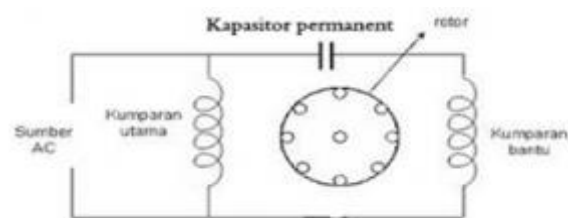
Gambar 2.26 Motor Start Kapasitor^[9]

B. Motor Kapasitor Running

Motor listrik ini mempunyai kapasitor yang dihubungkan seri dengan kumparan bantu, terhubung paralel dengan kumparan utama dan terhubung langsung paralel dengan sumber listrik. Belitan utama, lilitan bantu dan kapasitor tetap terhubung pada sirkuit jala-jala saat motor listrik bekerja.

Jenis motor listrik ini banyak digunakan pada jenis-jenis motor listrik 1 fasa yaitu pompa air, dimana lilitan utama dan bantu jumlah lilitannya sama banyak

tetapi diameter kawatnya berbeda diantara keduanya. Diameter kawat lilitan utama lebih besar dibanding diameter lilitan bantu. Type motor listrik ini kopel awalnya kurang bagus, tetapi kopel jalan (torsi jalan) merata. Kebanyakan pompa air berbagai merek banyak menggunakan jenis motor kapasitor running dengan kecepatan mendekati 3000 rpm, untuk lebih jelasnya rangkaian listrik motor kapasitor running dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.27 Motor Running Kapasitor^[9]

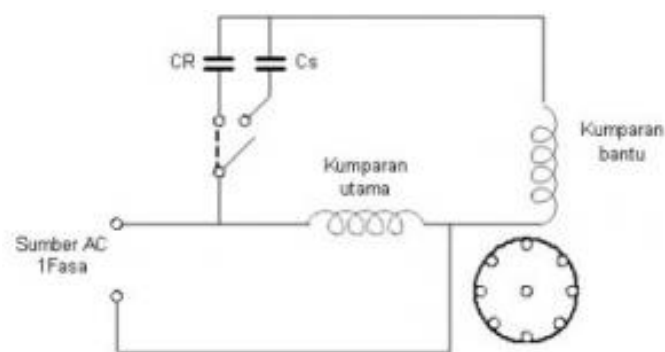
C. Motor Kapasitor Start – Running

Pada projek Tugas Akhir ini jenis motor yang digunakan pada alat ini adalah motor induksi satu fasa jenis *start – running capacitor*. Konstruksi motor kapasitor start ditunjukkan pada Gambar 2.28a



Gambar 2.28a Konstruksi Motor Induksi Satu Fasa *Start Capacitor*
(Sumber: <http://www.insinyoer.com/wp-content/uploads/2015/11/Gambar-1-Motor-Induksi-Satu-Fasa.jpg>. Diakses pada tanggal 25 Mei 2019)

Jenis motor listrik ini adalah perpaduan antara motor kapasitor start dan motor kapasitor running, dimana tujuan dibuatnya double kapasitor adalah untuk memperoleh kopel awal yang lebih besar dan kopel jalan yang merata. Jenis motor listrik ini banyak digunakan pada room air conditioner. Untuk lebih jelasnya dapat anda lihat pada gambar 2.28b^[9]



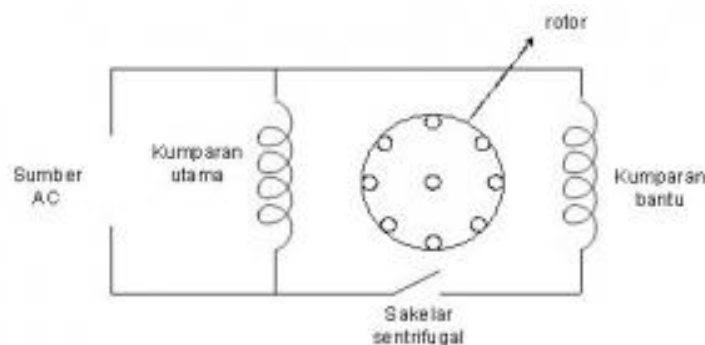
Gambar 2.28b Motor Start – Running Capacitor^[9]

Tabel 2.2 Spesifikasi Motor yang Digunakan

No.	Besaran	Nominal
1	Tegangan	220 V
2	Daya	0,75 KW
3	Frekuensi	50 Hz
4	Arus	4,9 A
5	Kecepatan	2800 rpm

2) Motor Fasa Belah (Split Phase Motor)

Jenis motor fasa belah ini termasuk motor yang menggunakan rotor sangkar (Squirrel Cage winding) terdiri dari sejumlah batang tembaga yang dimasukkan ke dalam alur rotor, pada ujung-ujungnya dihubungkan oleh cincin tembaga sehingga terdapat sirkuit tertutup. Sedangkan kumparan statornya terdiri dari dua lilitan yaitu kumparan utama (main winding) dan kumparan bantu (starting winding). Kedua kumparan tersebut terhubung paralel pada saat start, kedua-duanya terhubung pada jala-jala kemudian setelah motor berputar mencapai $\pm 75\%$ putaran nominal, sebuah saklar sentrifugal akan memutuskan rangkaian kumparan bantu dan selanjutnya motor listrik bekerja hanya dengan kumparan utama. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.29 Motor Fasa Belah^[9]

Motor jenis ini bekerja berdasarkan perbedaan fasa antara kumparan bantu berupa induktor dengan resistor dengan kumparan utama. Jika kumparan bantu ini ditempatkan secara paralel dengan belitan utama maka nilai R/X_{L1} dari belitan bantu dapat diatur sedemikian rupa sehingga dihasilkan perbedaan fasa dibawah 90° . Dengan menaikkan nilai R maka dihasilkan perbandingan R/X_{L1} yang lebih tinggi sehingga perbedaan fasa lebih mendekati 90° dan torka starting yang

dihasilkan lebih besar. Motor jenis ini memiliki torka starting yang rendah. Karakteristik dan rangkaian ekuivalen motor jenis ini diperlihatkan pada gambar 2.29 Pada kumparan bantu juga dipasang saklar sentrifugal untuk memutuskan arus listrik pada kumparan bantu bila putaran motor mencapai 75% dari putaran nominal.^[9]

3) Motor Universal

Motor universal adalah motor arus bolak balik, konstruksi maupun karakteristik motor universal sama dengan motor arus searah. Keuntungan motor universal ini dapat dioperasikan dengan sumber tegangan bolak balik atau dengan tegangan arus searah pada nilai tegangan yang sama.

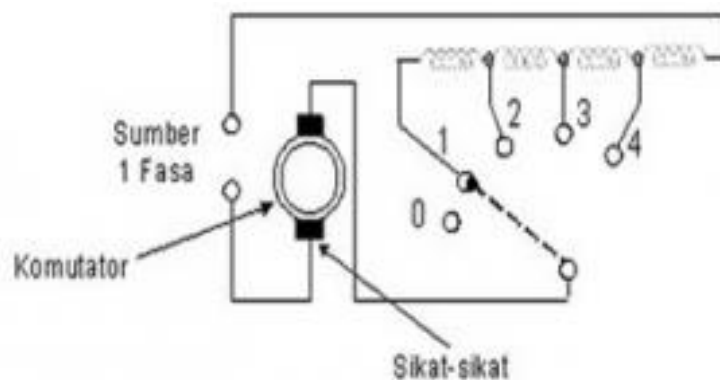
Stator motor universal dapat berupa sepatu kutub (salient pole) maupun stator silinder (non salient). Motor universal dengan stator sepatu kutub umumnya beroperasi untuk daya 250 Watt (1/4 HP) ke bawah. Sedangkan stator non salient dioperasikan untuk daya di atas 250 Watt.

Kecepatan beban nol motor ini sangat tinggi, tetapi pada saat beban dipasang kecepatan motor berkurang dan akan terus berkurang jika bebannya bertambah lagi. Pengaturan kecepatan motor universal dapat dilakukan dengan cara memasang tahanan depan (rheostat resistance) dihubungkan seri dengan motor listrik. Tahanan depan yang di atur bervariasi pada motor listrik akan memberikan tegangan masuk bervariasi pada motor, sehingga fungsi tegangan terhadap kecepatan sesuai dengan formula dasar dari motor listrik. Pengaturan kecepatan kedua adalah dengan kumparan medan dibuat dalam beberapa tingkat (step) untuk memberikan variasi

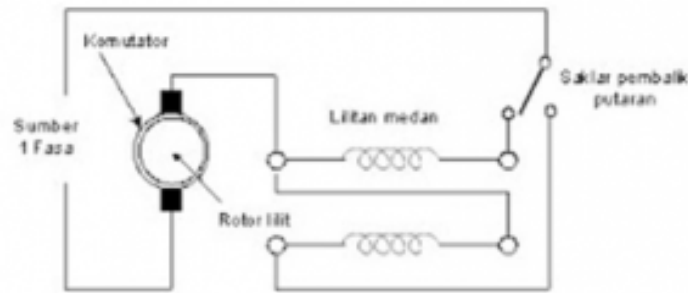
impedansi lilitan medan, sehingga fluksi medan terhadap kecepatan sesuai dengan rumus dasar motor listrik.

Karakteristik dari motor universal salah satunya dapat dilihat di sisi kecepatannya. Mempunyai kapabilitas berkecepatan tinggi, motor universal memberikan rating horsepower yang lebih kecil daripada macam – macam motor AC lainnya yang beroperasi pada frekuensi yang sama. Torsi awal dari motor-motor AC relatif tinggi. Karakteristik ini membuat motor universal ideal untuk alat/perengkapan seperti hand drills, gerinda, mixers, vaccum cleaners, dll yang membutuhkan operasi motor yang kompak berkecepatan lebih dari 3000/3600 rev/minutes.

Dengan pengaturan tap-tap lilitan medan (impedansi medan) maka kecepatan motor dapat diatur. Kopel start motor universal cukup besar dan kecepatannya bervariasi menurut beban. Di bawah diperlihatkan gambar rangkaian motor universal dengan variasi kecepatan.



Gambar 2.30 Motor universal dengan pengaturan kecepatan^[9]



Gambar 2.31 Motor universal dengan pembalik arah putaran^[9]

Di atas telah dijelaskan bahwa motor ini dapat dijalankan dengan sumber AC maupun DC karena sifatnya ini maka motor ini juga mempunyai belitan medan dan jangkar yang tidak jauh berbeda dengan motor DC umumnya. Motor jenis ini banyak digunakan pada alat rumah tangga misalnya blender, mixer, mesin jahit dan sebagainya.

4) Motor Kutub Bayangan (Shaded Pole)

Motor kutub bayangan (bahasa Inggris: *Shaded-pole motor*) atau biasa disebut juga *shaded pole* adalah salah satu jenis dari motor induksi AC baik daya listrik satu fase maupun tiga fase. Pada dasarnya motor ini adalah motor sangkar bajing yang kumparan bantu diberi cincin tembaga yang melingkar di setiap kutubnya.^[1] Kumparan bantu ini disebut juga dengan kumparan bayangan. Arus terinduksi kedalam kumparan dengan menunda fase medan magnet dari fluks magnetik pada kutub bayangan (*shaded pole*) sehingga cukup untuk membentuk medan yang berputar untuk memutar rotor. Arah dari medan putar pada *motor shaded pole* adalah dari kutub utama ke kutub bayangannya. Karena perbedaan

sudut fase antara kutub utama dengan kutub bayangannya sangat kecil, menyebabkan motor ini hanya menghasilkan torsi yang kecil.

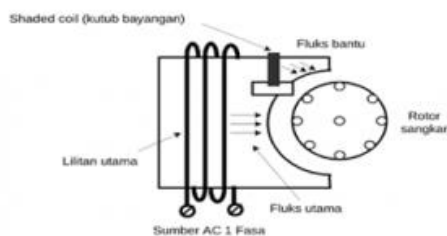
Motor kutub bayangan hanya mempunyai satu buah kumparan, stator dibagi menjadi 2 bagian yaitu kutub utama dengan kutub bayangan. Lalu pada kutub bayangan diberi cincin tembaga yang melingkar yang mengakibatkan keterlambatan medan magnet pada bagian kutub bayangan(*shaded pole*)

Pada kutub bayangan(*shaded pole*) diberi cincin tembaga yang melingkar sehingga mengakibatkan medan magnet pada daerah *shaded pole* mengalami perbedaan sudut fase dengan kutub utama(*unshaded pole*). Kemudian medan putar akan timbul dan mempunyai arah dari kutub utama ke kutub bayangannya.

Motor ini tidak memiliki kapasitor, saklar sentrifugal atau alat bantu starting lainnya. Karena torsi pada saat startnya kecil. Maka motor ini digunakan pada rumah tangga seperti menggerakkan kipas angin, blender, hair dryer dan beban-beban lain yang mudah untuk digerakkan

Konstruksi Motor Shaded Pole

Konstruksi motor shaded pole sangat sederhana yaitu terdiri dari stator, rotor dan penyangga. Bagian lengkap dari motor shaded pole seperti terlihat pada gambar di bawah ini.



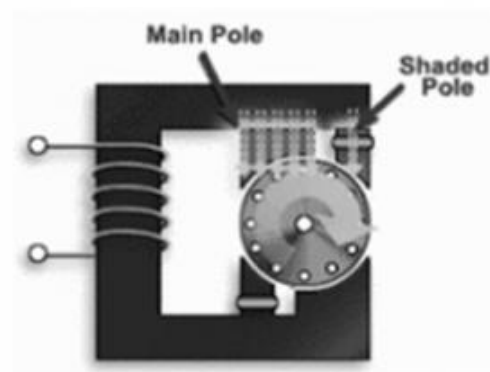
Gambar Motor Shaded Pole

Gambar 2.32 Konstruksi Motor Shaded Pole^[9]

Prinsip Kerja motor shaded pole

Stator motor shaded pole berbentuk sepatu kutub (salient). Kumparan stator hanya terdiri dari kumparan utama. Untuk membentuk medan putar dipasang shaded coil yang merupakan suatu rangkaian tertutup pada sepatu kutub tersebut. Pada kutub bayangan(shaded pole) diberi cincin tembaga yang melingkar sehingga mengakibatkan medan magnet pada daerah shaded pole mengalami perbedaan sudut fase dengan kutub utama(unshaded pole). Kemudian medan putar akan timbul dan mempunyai arah dari kutub utama ke kutub bayangannya.

Aplikasi Motor ini tidak memiliki kapasitor, saklar sentrifugal atau alat bantu starting lainnya. Karena torsi pada saat startnya kecil.



Gambar Motor Shaded Pole

Gambar 2.33 Motor Shaded Pole^[9]

Prinsip kerja dari motor ini adalah sebagai berikut;

- a. Saat kumparan stator mendapat arus sumber maka pada kumparan dibangkitkan medan elektromagnetik (ϕ_s) yang mengalir di dalam inti.

- b. ϕ_s juga mengalir pada inti yang memotong cincin tembaga yang membangkitkan tegangan induksi, arus, dan medan elektromagnetik cincin (ϕ_c)
- c. Dengan demikian terjadi perpindahan $\phi_s \rightarrow \phi_c$, $\phi_c \rightarrow \phi_s$ dan seterusnya. Hal ini identik dengan terbentuknya medan putar.
- d. Arah gerakan ϕ_s selalu pada posisi shading coil sekaligus juga arah putaran rotor.

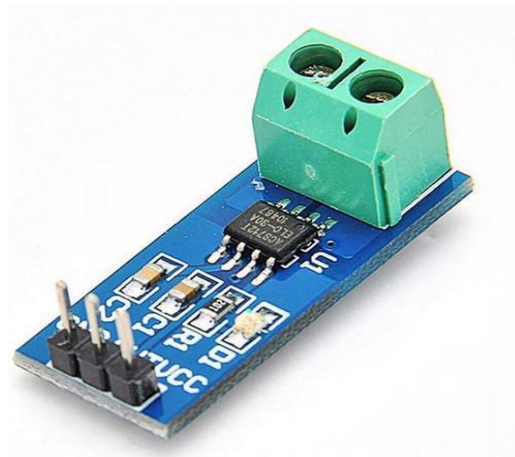
2.2.11 Sensor ACS712

ACS712 adalah sensor arus yang bekerja berdasarkan efek medan. Sensor arus ini dapat digunakan untuk mengukur arus AC atau DC. Modul sensor ini telah dilengkapi dengan rangkaian penguat operasional, sehingga sensitivitas pengukuran arusnya meningkat dan dapat mengukur perubahan arus yang kecil. Sensor ini digunakan pada aplikasi – aplikasi di bidang industry, komersial, maupun dan manajemen penggunaan daya, sensor untuk catu daya tersaklar, sensor proteksi terhadap arus lebih, dan lain sebagainya.

Berikut ini adalah karakteristik dari sensor arus ACS712 :^[7]

- 1) Memiliki sinyal analog dengan sinyal gangguan rendah (*low-noise*)
- 2) Ber-*bandwidth* 80KHz
- 3) Total output error 1.5% pada $T_a = 25^{\circ}\text{C}$
- 4) Memiliki resistansi dalam 1.2 m Ω
- 5) Tegangan sumber operasi tunggal 5.0V
- 6) Sensitivitas keluaran: 66 sd 185 mV/A

- 7) Tegangan keluaran proporsional terhadap arus AC ataupun DC
- 8) Fabrikasi kalibrasi
- 9) Tegangan *offset* keluaran yang sangat stabil
- 10) Hysterisis akibat medan magnet mendekati nol
- 11) Rasio keluaran sesuai tegangan sumber^[7]



Gambar 2.34 Sensor Arus ACS712

(Sumber : https://ecs7.tokopedia.net/img/cache/700/product-1/2018/11/2/18254211/18254211_02057783-6c49-4c97-ab9a-c7caf0edfdc6_1000_1003.jpg. Diakses pada tanggal 30 Mei 2019)

2.2.12 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.

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 220 volt. Sensor tegangan ini tidak langsung terhubung dengan sumber tegangan 220 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.^[1]

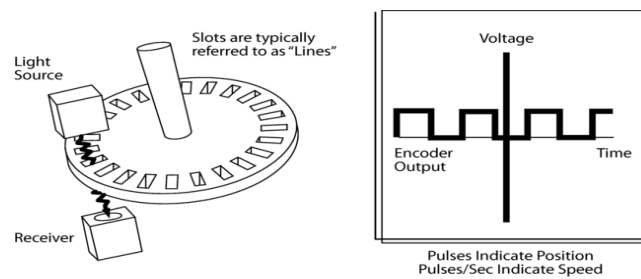
2.2.13 Sensor Optocoupler

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

Optocoupler terdiri dari dua bagian yaitu :

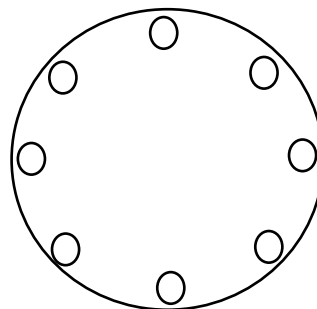
1. Pada transmitter dibangun dari sebuah LED infra merah. LED infra merah memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap sinyal tampak. Cahaya yang dipancarkan oleh LED infra merah tidak terlihat oleh mata telanjang.

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.



Gambar 2.35 Encoder^[1]

Penerapan optocoupler pada tugas akhir ini adalah sebagai *rotary encoder* yang digunakan untuk mendeteksi kecepatan putaran motor yang nantinya akan digunakan untuk pemindahan konfigurasi *soft start*. *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 2.36 Piringan Yang Digunakan^[1]

Dari gambar di atas menggunakan 8 lubang dan berikut cara mencari putaran atau RPM pada motor :

Misal diketahui lubang pada piringan adalah 8 lubang kemudian jika sensor membaca rpm tiap 3 detik dan melewati 180 lubang maka rumus yang digunakan adalah :

- $60 \text{ detik} / 3 \text{ detik} \times \text{jumlah lubang selama 3 detik} / \text{jumlah lubang pada piringan} \dots\dots\dots(2-27)$

Maka :

$$60 \text{ detik} / 3 \text{ detik} = 20 \text{ detik}$$

$$20 \times 180 / 8 = 450 \text{ rpm}$$

Maka dari rumus di atas langsung diperoleh Rpm motor = 450 rpm