

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*.^[1]

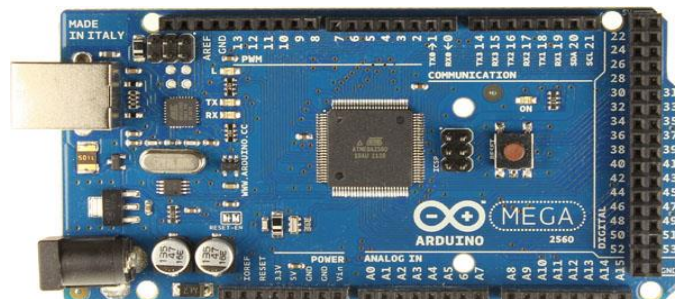
Perbedaan tugas akhir yang akan dikerjakan penulis dengan referensi diatas adalah penulis akan menggunakan *Arduino Mega 2560* sebagai pusat kendali dari *starting star delta* dan menggunakan IoT sebagai *monitoring* dan kontrol jarak jauh. Selain itu tugas akhir yang penulis buat menggunakan rangkaian *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

Arduino Mega 2560 adalah papan pengembangan mikrokontroller yang berbasis Arduino dengan menggunakan chip Atmega 2560. 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 dibuthkan untuk sebuah mikrokontroller. Dengan penggunaan yang cukup sederhana, kita hanya tinggal menghubungkan power dari USB ke PC anda atau melalui adaptor AC/DC ke jack DC.^[1] Berikut ini gambar 2.1 menunjukkan sebuah Arduino Mega 2560.



Gambar 2.1 Arduino Mega 2560

(Gambar ini diambil pada tanggal 19 Juni 2019)

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.^[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) 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 (*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 *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 berubah 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 *analog Reference*.

Ada beberapa pin lainnya yang tersedia, antara lain:

1) AREF

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

2) RESET

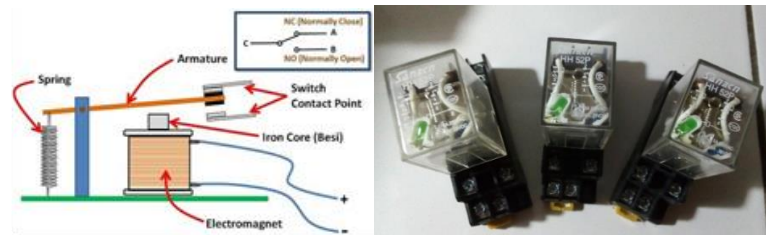
Merupakan jalur *LOW* ini digunakan untuk me-*reset* (menghidupkan ulang) mikrokontroler. Jalur ini biasanya digunakan untuk menambahkan tombol *reset* pada *shield* yang menghalangi papan utama *Arduino*.

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).^[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. Berikut ini gambar 2.2 menunjukkan sebuah Relay 12VDC 250VAC.^[2]



Gambar 2.2 Relay 12VDC 250VAC.

(Gambar ini diambil pada tanggal 19 Juni 2019)

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 gandingan 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 gandingan impedansi antara sumber dan beban, untuk memisahkan satu rangkain 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

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

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:

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

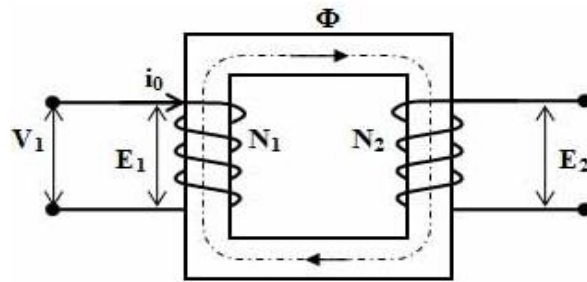
$$V_1 \cdot I_1 = P_2 \cdot I_2 \dots\dots\dots \text{Persamaan (2-6)}$$

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

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:

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

Trafo catu daya dibedakan menjadi dua, yaitu trafo engkel dan trafo center tab (CT). Pada pembuatan tugas akhir 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. Berikut ini gambar 2.3 menunjukkan sebuah Konstruksi Transformator.^[2]



Gambar 2.3 Konstruksi Transformator.^[2]

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)

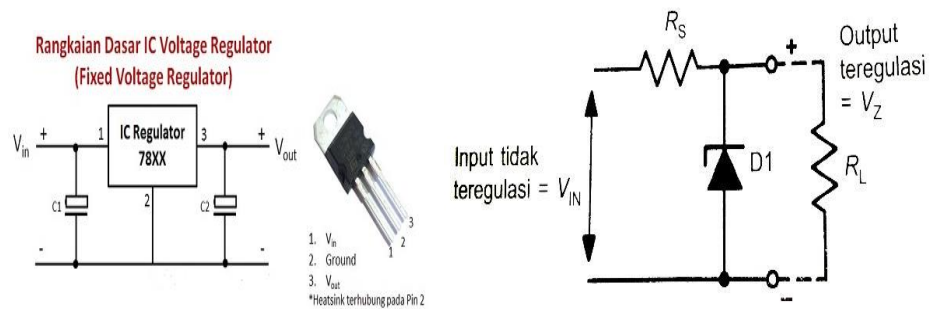
I_0 = Arus beban nol

ϕ = fluks magnetik pada inti (Weber)

2.2.4. 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.^[7] Berikut ini Gambar 2.4 menunjukkan sebuah Rangkaian IC Voltage Regulator.



Gambar 2.4 Rangkaian IC Voltage Regulator.^[7]

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 diijinkan, maka dioda zener sudah tidak mampu lagi menahan tegangan spesifikasi 5 Volt tersebut. Akibatnya, kondisi dioda zener akan mengalami kerusakan.^[1]

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

Tabel 2.2 Tegangan *Input* IC L7805 dan IC L7812

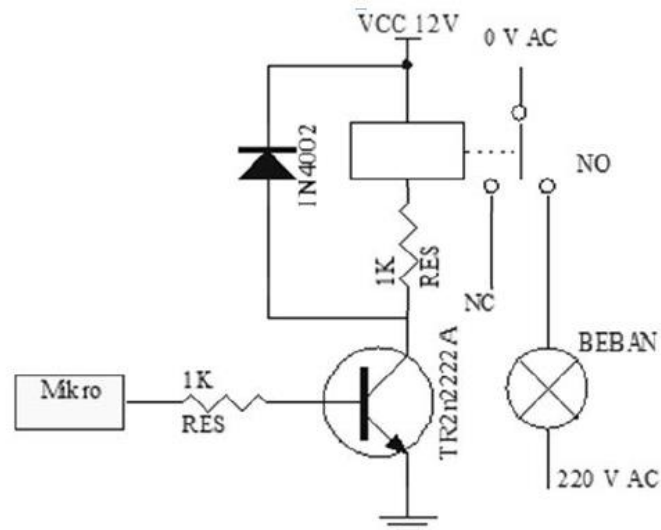
Type Regulator	Vin min	Vin maks	Vout
7805	8 V	20 V	5 V
7808	11,5 V	23 V	8 V
7812	15,5 V	27 V	12 V
7824	28 V	38 V	24 V

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.^[1]

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. Berikut ini gambar 2.5 menunjukkan sebuah rangkaian driver relay.^[2]



Gambar 2.5 Rangkaian *Driver Relay*

(Gambar ini diambil pada tanggal 19 Juni 2019)

Gambar 2.5 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.^[7]

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), penurunan tegangan (transformer), dan filter (kapasitor).^[7]

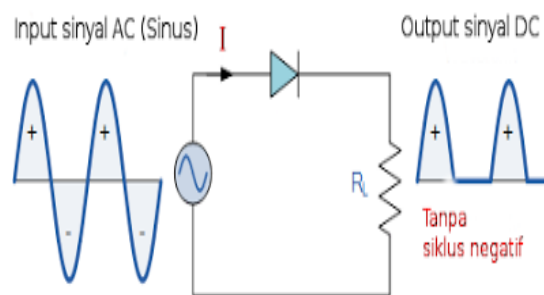
Pada dasarnya konsep penyearah gelombang dibagi dalam 2 jenis yaitu, Penyearah setengah gelombang dan penyearah gelombang penuh. Namun selain dua konsep penyearah tersebut, terdapat pula rangkaian penyearah dengan filter untuk menyaring arus yang masuk pada rangkaian.^[5]

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.^[1]

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.^[5] Berikut gambar rangkaian penyearah setengah gelombang: Berikut ini Gambar 2.6 menunjukkan *Power Supply* setengah gelombang.

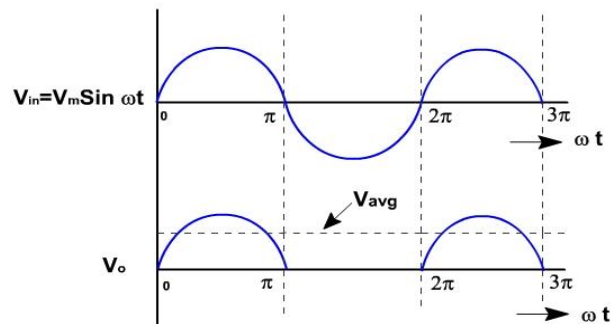


Gambar 2.6 *Power Supply* setengah gelombang^[5]

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 ini Gambar 2.7 menunjukkan Gelombang *Output Power Supply* setengah gelombang.



Gambar 2.7 Gelombang *Output Power Supply* setengah gelombang.^[5]

Formulasi yang digunakan pada penyearah setengah gelombang sebagai berikut.

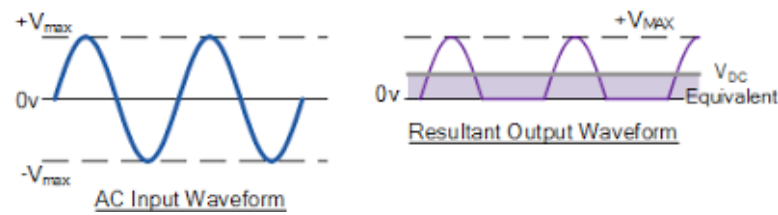
$$V_{avg} = V_m / \sqrt{2} \dots \dots \dots (2-9)$$

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. Berikut ini Gambar 2.8 menunjukkan sebuah Output Penyearah Setengah Gelombang.^[1]



Gambar 2.8 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 (π). 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 $0.45V_{rms}$.^[1]

$$V_{dc} = V_{max} / \pi = 0,138 V_{max} = 0,45 V_{rms} \dots \dots \dots (2-10)$$

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.

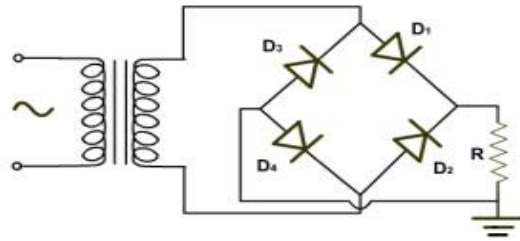
Penyearah setengah gelombang memiliki kelebihan dari segi rangkaian yang sangat simpel dan sederhana. Karena menggunakan satu dioda maka biaya yang dibutuhkan untuk rangkain lebih murah.

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 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.

2.2.6.2. 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. Berikut ini Gambar 2.9 menunjukkan sebuah Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh 4 Dioda.

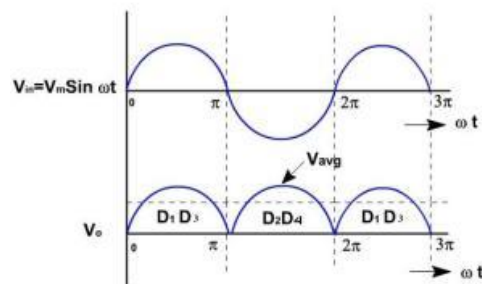


Gambar 2.9 Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh 4 Dioda.

(Gambar ini diambil pada tanggal 19 Juni 2019)

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]

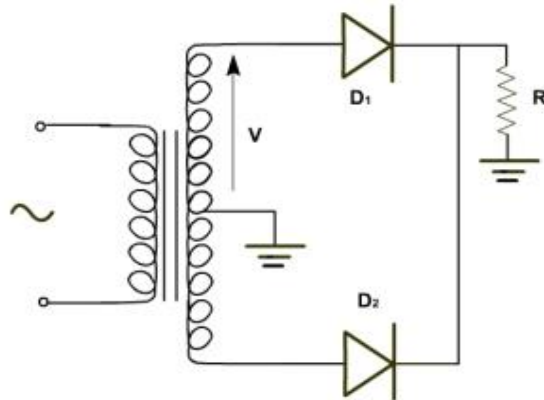
Kemudian pada saat *output* transformator memberikan level tegangan sisi puncak negatif maka D2, D4 pada posisi forward bias dan D1, D2 pada posisi reverse bias sehingga level tegangan sisi negatif tersebut dialirkan melalui D2, D4. Berikut ini Gambar 2.10 menunjukkan Output Penyearah Gelombang Penuh.



Gambar 2.10 Output Penyearah Gelombang Penuh.^[1]

2.2.6.3. Penyearah Gelombang Penuh dengan Trafo CT

Penyearah gelombang dengan 2 dioda menggunakan transformator dengan CT (*Center Tap*). Berikut ini Gambar 2.11 menunjukkan sebuah Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh 2 Dioda.

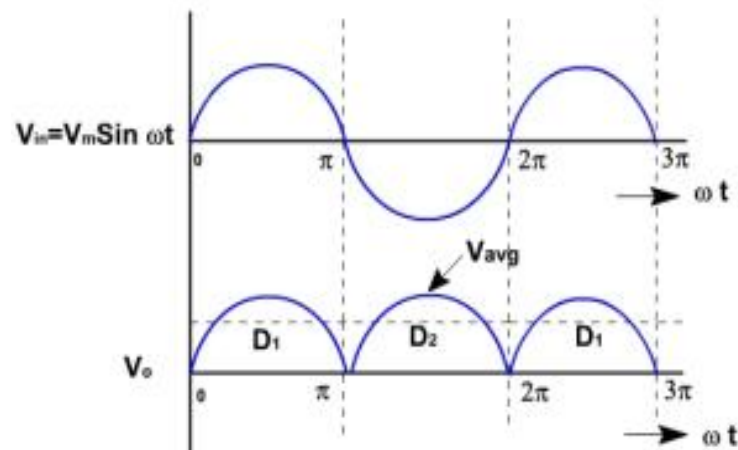


Gambar 2.11 Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh 2 Dioda.

(Sumber; <https://www.google.com/search?q=gambar+Rangkaian+Penyearah+Gelombang+Penuh+2+Dioda>, diakses pada tanggal 19 Juni 2019).

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. Berikut ini Gambar 2.12 menunjukkan Output Penyearah Gelombang Penuh.^[1]



Gambar 2.12 Output Penyearah Gelombang Penuh.^[1]

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.^[1] Berikut ini Gambar 2.13 menunjukkan sebuah *Miniatur Circuit Breaker*.



Gambar 2.13 *Miniature Circuit Breaker*

(Gambar ini diambil pada tanggal 19 Juni 2019).

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. Berikut ini Gambar 2.14 menunjukkan sebuah Kontaktor Magnetik Tiga Fasa.^[1]



Gambar 2.14 Kontaktor Magnetik Tiga Fasa

(Gambar ini diambil pada tanggal 19 Juni 2019)

Kontaktor magnetik berfungsi untuk mengoperasika 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. Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi adalah suatu mesin listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi gerak dengan menggunakan gandengan 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.^[1] Berikut ini Gambar 2.15 menunjukkan sebuah Motor Induksi Tiga Fasa 380/660V



Gambar 2.15 Motor Induksi Tiga Fasa 380/660V

Motor induksi tiga fasa dengan name plate 380V/660V maka motor bisa dihubung dengan hubungan belitan *delta* karena tegangan sumber tiga fasa V_{LL} 380V sesuai dengan tegangan kerja motor *delta* 380V. Apabila motor dihubung bintang maka putaran motor tidak maksimal, dibawah putaran nominalnya (dibawah rpm yang tertera di name plate motor), dan daya input motor kecil. Hubungan lilitan motor dipindah menjadi delta agar motor bisa bekerja optimal,

karena motor menerima tegangan maksimal 660V, sehingga putaran motor berjalan sesuai tegangan kerja maksimalnya.

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.^[1]

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 :

$$N_s = 120 f/p \dots \dots \dots (2-12)$$

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).^[1]

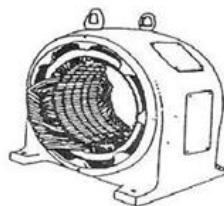
2.2.9.1. Bagian – Bagian Motor Induksi 3 Fasa

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.^[2]

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 dudukan kumparan yang dililitkan dan berbentuk silindris.^[2]

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

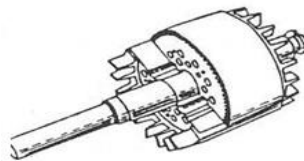
1. Stator, merupakan suatu bagian dari motor yang diam. Stator terdiri dari tiga buah kumparan, ujung-ujung belitan kumparan dihubungkan melalui terminal untuk memudahkan penyambungan dengan sumber tegangan. Masing-masing kumparan memiliki kutub. Banyaknya kutub tersebut mempengaruhi kecepatan motor induksi. Berikut ini Gambar 2.16 menunjukkan sebuah Stator.^[2]



Gambar 2.16 Stator^[2]

2. Rotor, merupakan bagian dari motor yang bergerak. Rotor dapat dikategorikan menjadi dua kategori yaitu :

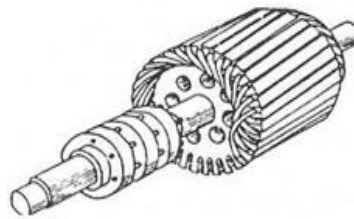
- a. Rotor Sangkar, motor induksi jenis rotor sangkar lebih banyak digunakan daripada jenis rotor lilit, sebab rotor sangkar mempunyai bentuk yang sederhana. Belitan rotor terdiri atas batang-batang penghantar yang ditempatkan di dalam alur rotor. Batang penghantar ini terbuat dari tembaga, *alloy* atau 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. Berikut ini Gambar 2.17 menunjukkan sebuah Rotor Sangkar.^[2]



Gambar 2.17 Rotor Sangkar^[2]

- 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. Berikut ini Gambar 2.18 menunjukkan sebuah Rotor Lilit.^[3]



Gambar 2.18 Rotor Lilit^[3]

2.2.9.2. 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,

$$n_s = \frac{120f}{p} \dots\dots\dots(2-13)^{[3]}$$

2. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor.^[1]
3. Akibatnya pada kumparan jangkar (rotor) timbul tegangan induksi (ggI).^[1]
4. E_{2s} adalah tegangan induksi pada saat rotor berputar.^[1]

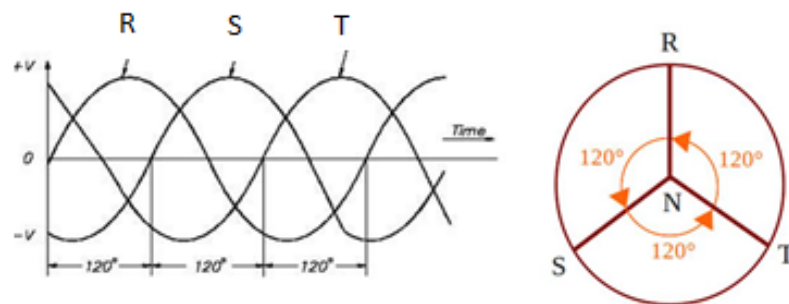
Karena kumparan jangkar merupakan rangkaian yang tertutup, ggl (E) akan menghasilkan arus (I). Adanya arus di dalam medan magnet menimbulkan gaya (F) pada rotor.^[1]

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.^[1]
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).^[1]
7. Perbedaan kecepatan antara n_r dan n_s disebut *slip*.^[1]
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 .^[1]
9. Dilihat dari cara kerjanya, motor induksi disebut juga sebagai motor tak serempak atau *asinkron*.^[2]

2.2.10. 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° listrik, sedangkan secara fisik mempunyai perbedaan sebesar 60° , dan dapat dihubungkan secara bintang (Y) atau segitiga (delta, Δ). Berikut ini Gambar 2.19 menunjukkan Sistem Tiga Fasa.^[4]

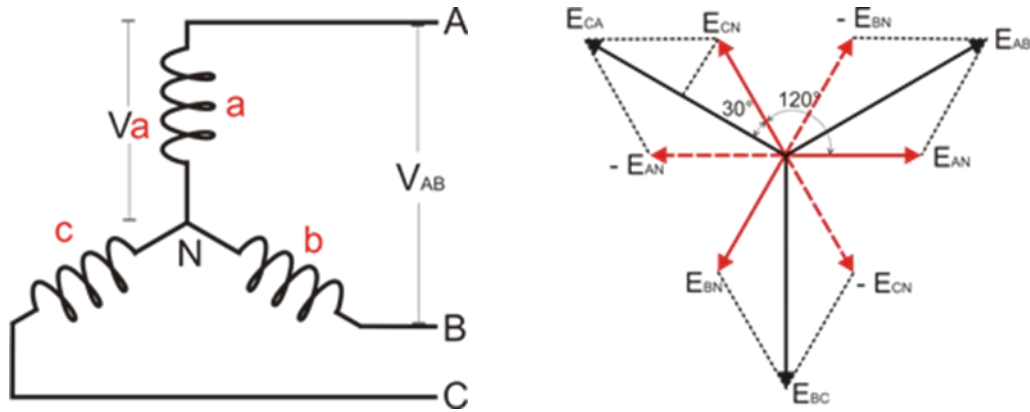


Gambar 2.19 Sistem Tiga Fasa^[4]

Gambar 2.19 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.^[4]

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 2.19. 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° . Berikut adalah gambar 2.20 rangkaian hubung star (Y) serta diagram phasor tegangannya :



Gambar 2.20 (a) Hubung Star.

(b) Diagram Phasor tegangan

Pada gambar di atas, tegangan E_{AB} , E_{BC} dan E_{CA} merupakan tegangan line dimana:

$$E_{AB} = E_{AN} + E_{NB} = E_{AN} - E_{BN}$$

$$E_{BC} = E_{BN} + E_{NC} = E_{BN} - E_{CN}$$

$$E_{CA} = E_{CN} + E_{NA} = E_{CN} - E_{AN}$$

Gambar b memperlihatkan diagram phasor di mana dapat dilihat bahwa tegangan phase E_{AN} , E_{BN} dan E_{CN} memiliki magnitude yang sama namun terpisah satu sama lain sebesar 120° . Tegangan line E_{AB} merupakan penjumlahan dari vector E_{AN} dan $-E_{BN}$ begitupun dengan tegangan line E_{BC} dan E_{CA} dan juga terpisah 120° satu dengan yang lainnya.

$$E_{AB} = E_{BC} = E_{CA} = 2 E_{AN} \cos 30^\circ \dots\dots\dots(2-14)$$

$$2 E_{ph} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} E_{ph} \dots\dots\dots(2-15)$$

Sedangkan arus yang mengalir dapat dihitung dengan persamaan :

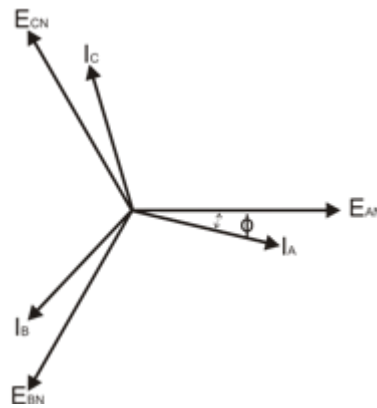
$$I_A = I_B = I_C = I_{ph}(I_a, I_b, I_c) \text{ (magnitude)} \dots\dots\dots(2-16)$$

$$I_A = \frac{V_{AN}}{Z} = \frac{V_{ph} \angle 0^\circ}{Z \angle \phi} = \frac{V_{ph}}{Z} \angle -\phi$$

$$I_B = \frac{V_{BN}}{Z} = \frac{V_{ph} \angle -120^\circ}{Z \angle \phi} = \frac{V_{ph}}{Z} \angle -120^\circ - \phi$$

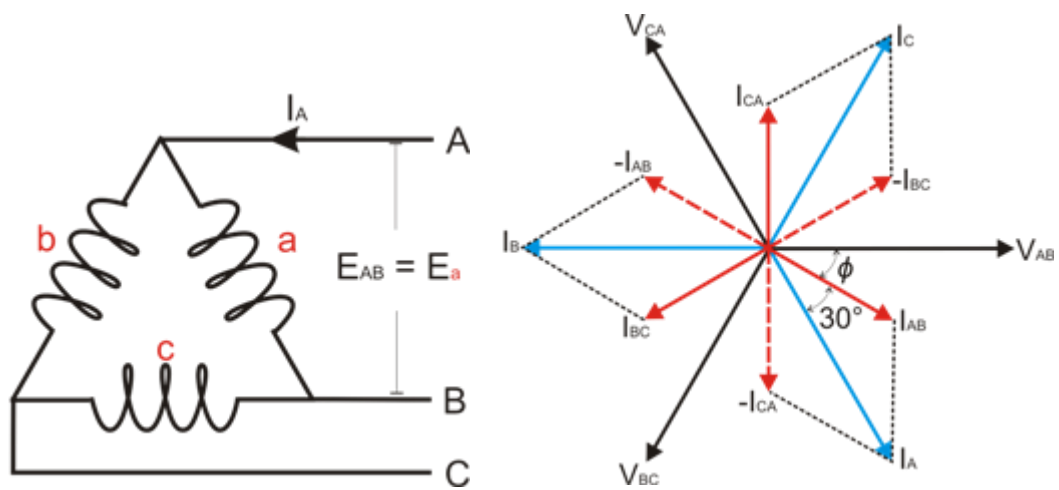
$$I_C = \frac{V_{CN}}{Z} = \frac{V_{ph} \angle -240^\circ}{Z \angle \phi} = \frac{V_{ph}}{Z} \angle -240^\circ - \phi$$

Dari persamaan di atas, dapat dilihat bahwa arus yang mengalir pada belitan motor (I_a) sama dengan arus yang masuk (I_A). dan diagram fasornya dapat dilihat pada gambar berikut :



(c) Diagram Phasor Arus

Hubungan arus dan tegangan pada rangkaian listrik hubung delta seperti gambar 2.21 berikut :



Gambar 2.21 (a) Hubung Delta.

(b) Phasor arus dan tegangan.

Tegangan phase a (belitan a) = tegangan line = V_{CA} .

Sementara arus dalam rangkaian dapat dihitung dengan persamaan :

$$I_{AB} = \frac{V_{AB}}{Z} = \frac{V_L \angle 0^\circ}{Z \angle \phi} = \frac{V_L}{Z} \angle -\phi; \dots \dots \dots \{V_L = V_{AB}\}$$

$$I_{BC} = \frac{V_{BC}}{Z} = \frac{V_L \angle -120^\circ}{Z \angle \phi} = \frac{V_L}{Z} \angle -120 - \phi$$

$$I_{CA} = \frac{V_{CA}}{Z} = \frac{V_L \angle -240^\circ}{Z \angle \phi} = \frac{V_L}{Z} \angle -240 - \phi$$

dan arus line (I_A, I_B, I_C) bisa diperoleh dengan menerapkan hukum Kirchhoff's

$$I_A = I_{ab} - I_{ca}$$

$$I_B = I_{bc} - I_{ab}$$

$$I_C = I_{ca} - I_{bc}$$

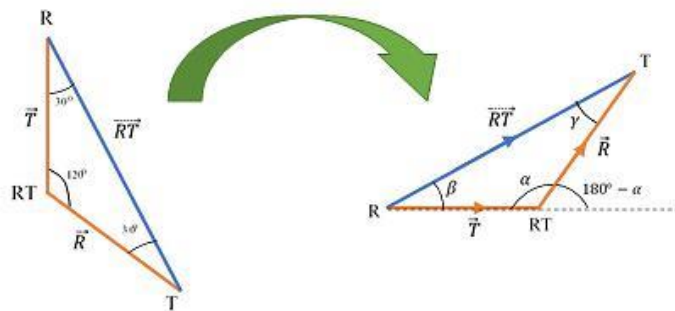
$$\begin{aligned}
 I_A &= \sqrt{3} \cdot I_{AB} \angle -30^\circ = \sqrt{3} \cdot \left(\frac{V_L}{Z} \right) \angle -\emptyset \cdot \angle -30^\circ \\
 &= \sqrt{3} \cdot (I_{ph}) \angle -30^\circ - \emptyset \\
 I_B &= \sqrt{3} \cdot I_{BC} \angle -30^\circ = \sqrt{3} \cdot I_{ph} \angle -150^\circ - \emptyset \\
 I_C &= \sqrt{3} \cdot I_{CA} \angle -30^\circ = \sqrt{3} \cdot I_{ph} \angle -\emptyset^\circ - 270^\circ \}
 \end{aligned}$$

Dari persamaan di atas, dapat dilihat bahwa magnitudo arus yang mengalir pada line (I_A) adalah $\sqrt{3}$ kali magnitudo arus fasa I_{ph} .

berikut perbandingan arus line yang mengalir pada kedua metode hubung di atas :

$$\frac{I_{L-star}}{I_{L-delta}} = \frac{\frac{V_{phasa}}{Z}}{\sqrt{3} \cdot \frac{V_{phasa}}{Z}} = \frac{\frac{\sqrt{3} \cdot V_L}{3 \cdot Z}}{\sqrt{3} \cdot \frac{V_L}{Z}} = \frac{\sqrt{3}}{3} \times \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{1}{3}$$

Untuk mencari nilai tegangan V_{LL} maka kita gunakan rumus penjumlahan vektor yang berbeda sudut 120° . Sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut:



(c) Aturan Cosinus Segitiga

$$\vec{RT} = \vec{T} + \vec{R}, \text{ maka}$$

$$\vec{RT} \cdot \vec{RT} = (\vec{T} + \vec{R}) \cdot (\vec{T} + \vec{R})$$

$$|\vec{RT}|^2 = \vec{T} \cdot \vec{T} + 2 \cdot \vec{T} \cdot \vec{R} + \vec{R} \cdot \vec{R}$$

$$|\vec{RT}|^2 = |\vec{T}|^2 + |\vec{R}|^2 + 2 \cdot |\vec{R}| \cdot |\vec{T}| \cdot \cos(180 - \alpha)$$

$$|\vec{RT}|^2 = |\vec{T}|^2 + |\vec{R}|^2 - 2 \cdot |\vec{R}| \cdot |\vec{T}| \cdot \cos \alpha$$

Dengan menggunakan rumus pada aturan cosinus segitiga maka dapat diperoleh tegangan antar fasa sebagai berikut:

$$(V_{RS})^2 = (V_{RN})^2 + (V_{SN})^2 - 2 \times V_{RN} \times V_{SN} \times \cos(120^\circ) \dots \dots \dots (2-17)$$

$$= (V_{RN})^2 + (V_{RN})^2 - 2 \times V_{RN} \times V_{SN} \times (-0,5) \dots \dots \dots (2-18)$$

$$= (V_{RN})^2 + (V_{RN})^2 + (V_{RN})^2 \dots \dots \dots (2-19)$$

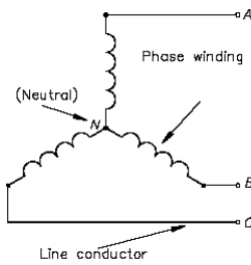
$$= 3 \times (V_{RN})^2 \dots \dots \dots (2-20)$$

$$V_{RS} = \sqrt{3} \times V_{RN} \dots \dots \dots (2-21)$$

$$V_{RN} = V_{RS} : \sqrt{3} \dots \dots \dots (2-22)$$

2.2.10.1. 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 . Berikut ini Gambar 2.22 menunjukkan sebuah Hubung Bintang.^[4]



Gambar 2.22 Hubungan Bintang^[4]

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).^[4]

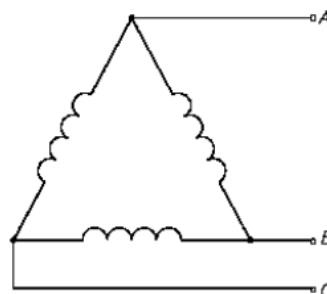
$$V_{\text{line}} = \sqrt{3}V_{\text{fase}} = 1,73V_{\text{fase}} \dots \dots \dots (2-23)$$

Sedangkan untuk arus yang mengalir pada semua fase bernilai sama

$$I_{\text{Line}} = I_{\text{fase}} \dots \dots \dots (2-24)$$

2.2.10.2. Hubungan Delta

Pada hubungan segitiga (delta, Δ , D) ketiga fase saling dihubungkan sehingga membentuk hubungan segitiga 3 fase. Berikut ini Gambar 2.23 menunjukkan sebuah Hubung Segitiga.^[1]



Gambar 2.23 Hubungan Segitiga^[1]

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

$$V_{line} = V_{fase} \dots \dots \dots (2-25)$$

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

$$I_{line} = \sqrt{3}I_{fase} = 1,73I_{fase} \dots \dots \dots (2-26)$$

2.2.10.3. 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.^[4] Sehingga diperoleh persamaan:

$$P_{fase} = V_{fase} \cdot I_{fase} \cdot \cos \theta \dots \dots \dots (2-27)$$

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

$$P_{(nyata)} = 3 \cdot V_f \cdot I_f \cdot \cos \theta \dots \dots \dots (2-28)$$

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

$$P_{(nyata)} = 3 \cdot V_L/1,73 \cdot I_L \cdot \cos \theta = 1,73 \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \theta \dots \dots \dots (2-29)$$

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

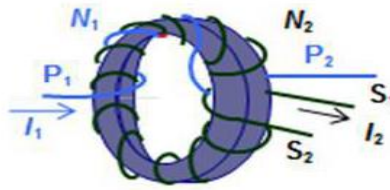
$$P_{(\text{nyata})} = 3 \cdot I_L/1,73 \cdot V_L \cdot \cos \theta = 1,73 \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \theta \dots\dots\dots(2-30)$$

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.

2.2.11. 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.^[1]

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_1I_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_2I_2 pada kumparan sekunder. Berikut ini Gambar 2.24 menunjukkan sebuah Rangkaian pada CT.^[1]



Gambar 2.24 Rangkaian pada CT^[1]

Untuk trafo yang dihubung singkat :

$$I_1 \cdot N_1 = I_2 \cdot N_2 \dots\dots\dots(2-31)$$

Untuk trafo pada kondisi tidak berbeban:

$$E_1/E_2 = N_1/N_2\dots\dots\dots(2-32)$$

Dimana

$I_1 > I_2$ sehingga $N_1 < N_2$

N_1 = Jumlah lilitan primer

N_2 = jumlah lilitan sekunder.

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 komputer.^[1]

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.^[10]

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*.^[11]

2.2.13. Emergency Stop

Emergency Stop sudah tidak asing lagi di dalam sistem kontrol. Di banyak panel kontrol yang ada di pabrik-pabrik pasti selalu ada (push button) tombol Emergency Stop. Emergency stop, jika diartikan ke dalam bahasa Indonesia berarti berhenti darurat. Seperti artinya, fungsinya untuk menghentikan sistem secara cepat saat keadaan darurat.

Keadaan darurat misalnya saja mesin berjalan (*conveyor* atau *Hanger*), akan menabrak mesin lain karena ada sensor yang rusak, Operator yang melihat hal tersebut bisa langsung menekan tombol *Emergency Stop*. Maka mesin akan otomatis berhenti. Biasanya *Emergency stop* dipasang secara seri untuk memutus arus kontrol utama. Sehingga jika tombol tersebut ditekan, maka otomatis akan menghentikan sistem, biasanya menggunakan tombol *Emergency stop* untuk menghentikan arus dan juga untuk memutus bit yang ada di dalam program PLC. Hal ini akan memberikan pengamanan Ganda juga akan me-*reset* program ke kondisi awal.^[11] Berikut ini gambar 2.25 menunjukkan sebuah *Emergency Stop*.



Gambar 2.25 *Emergency Stop*^[11]

2.2.14. Pilot Lamp

Sebuah *Pilot lamp* atau dalam bahasa Indonesia lampu pilot merupakan sebuah lampu LED yang biasa digunakan sebagai lampu indikator dalam rangkaian sebuah alat atau mesin. Pilot lamp tersebut dapat bekerja sebagai mestinya jika dialiri daya AC sebesar 220 VAC dengan toleransi 110 – 240 VAC.

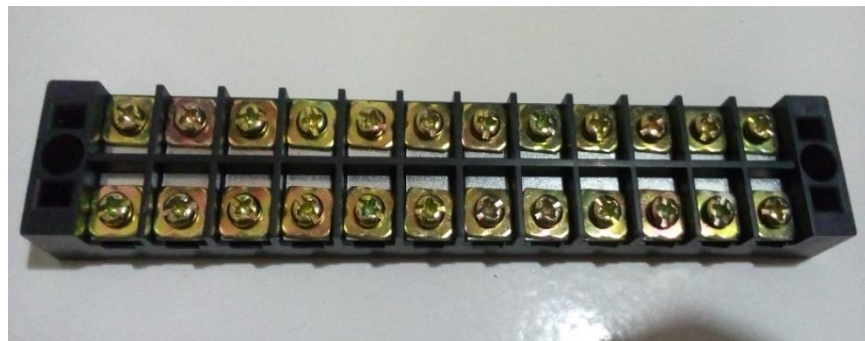
Warna yang dihasilkan Pilot lamp ini adalah lampu putih. Karena fungsinya sebagai lampu indikator, Pilot lamp ini dibuat warna warni sinarnya dengan menambahkan penutup kaca yang berwarna sehingga tampak dari luar berwarna sinar yang dihasilkan. Biasanya warna Pilot lamp ini ada 3 macam merah, hijau, kuning.^[11] Berikut ini gambar 2.26 merupakan sebuah *Pilot Lamp*



Gambar 2.26 *Pilot Lamp*^[11]

2.2.15. Terminal Block

Terminal *Block* adalah Suatu tempat berhentinya arus listrik sementara, yang akan dihubungkan ke komponen yang lain/Komponen *Outgoing*. Berikut ini gambar 2.27 menunjukkan sebuah Terminal Block.



Gambar 2.27 Terminal block

(Gambar ini diambil pada tanggal 19 Juni 2019)

Dalam Pembuatan panel listrik, Terminal Block termasuk salah satu komponen utama. Sebab memiliki manfaat yang besar .Didalam terminal ada incoming dan Outgoing yang fungsinya Incoming Adalah Konektor Arus Masuk dan Outgoing adalah Konektor Arus Keluar.^[12]

2.2.16. Push button

Push button switch (saklar tombol tekan) adalah perangkat / saklar sederhana yang berfungsi untuk menghubungkan atau memutuskan aliran arus listrik dengan sistem kerja tekan unlock (tidak mengunci). Sistem kerja unlock disini berarti saklar akan bekerja sebagai device penghubung atau pemutus aliran arus listrik saat tombol ditekan, dan saat tombol tidak ditekan (dilepas), maka saklar akan kembali pada kondisi normal. Berikut ini Gambar 2.28 menunjukkan sebuah *Push Button*.^[12]



Gambar 2.28 *Push Button*

(Sumber: <https://www.google.com/search?q=gambar+push+button>, diakses pada tanggal 19 Juni 2019)

Sebagai device penghubung atau pemutus, push button switch hanya memiliki 2 kondisi, yaitu On dan Off (1 dan 0). Istilah On dan Off ini menjadi

sangat penting karena semua perangkat listrik yang memerlukan sumber energi listrik pasti membutuhkan kondisi On dan Off.^[12]

Karena sistem kerjanya yang unlock dan langsung berhubungan dengan operator, push button switch menjadi device paling utama yang biasa digunakan untuk memulai dan mengakhiri kerja mesin di industri. Secanggih apapun sebuah mesin bisa dipastikan sistem kerjanya tidak terlepas dari keberadaan sebuah saklar seperti push button switch atau perangkat lain yang sejenis yang bekerja mengatur pengkondisian On dan Off.^[12]

Berdasarkan fungsi kerjanya yang menghubungkan dan memutuskan, push button switch mempunyai 2 tipe kontak yaitu NC (Normally Close) dan NO (Normally Open).

- NO (Normally Open), merupakan kontak terminal dimana kondisi normalnya terbuka (aliran arus listrik tidak mengalir). Dan ketika tombol saklar ditekan, kontak yang NO ini akan menjadi menutup (Close) dan mengalirkan atau menghubungkan arus listrik. Kontak NO digunakan sebagai penghubung atau menyalakan sistem circuit (Push Button ON).
- NC (Normally Close), merupakan kontak terminal dimana kondisi normalnya tertutup (mengalirkan arus listrik). Dan ketika tombol saklar push button ditekan, kontak NC ini akan menjadi membuka (Open), sehingga memutus aliran arus listrik. Kontak NC digunakan sebagai pemutus atau mematikan sistem circuit (Push Button Off).^[12]

2.2.17. Selector Switch

Selector switch (saklar tombol putar) adalah perangkat / saklar sederhana yang berfungsi untuk menghubungkan atau memutuskan aliran arus listrik dengan sistem kerja diputar atau digeser. Saklar pemilih ini menyediakan beberapa posisi kondisi on dan kondisi off, ada dua, tiga, empat bahkan lebih pilihan posisi, dengan berbagai tipe geser maupun putar. Saklar pemilih biasanya dipasang pada panel kontrol untuk memilih jenis operasi yang berbeda, dengan rangkaian yang berbeda pula. Saklar pemilih memiliki beberapa kontak dan setiap kontak dihubungkan oleh kabel menuju rangkaian yang berbeda. Berikut ini Gambar 2.29 menunjukkan sebuah *Selector Switch*.



Gambar 2.29 *Selector Switch*

(Gambar ini diambil pada tanggal 19 Juni 2019)