

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Penelitian ini merupakan perhitungan untuk menentukan kapasitas kabel dan pemutus yang digunakan. Perhitungan yang dilakukan berdasarkan pada standar-standar yang digunakan dalam industri pengeboran minyak dan gas. Penentuan kapasitas kabel dan pemutus, terlebih dahulu menghitung arus nominal, arus hubung singkat dan tegangan jatuh (Waskito, 2013).

Analisis energi listrik merupakan upaya untuk mengoptimalkan kerja peralatan pada kondisi beban penuh sehingga penggunaan energi listrik menjadi lebih efektif, efisien dan rasional tanpa harus mengurangi kinerja produksi dengan cara menganalisa kinerja motor (Malik dkk, 2013).

Perhitungan pengaman jaringan sangat berpengaruh pada pemilihan komponen dan penghantar atau kabel yang akan dipakai (Salim, 2014). Motor induksi tiga fasa merupakan peralatan yang sering bekerja dalam waktu yang lama, gangguan yang sering timbul pada motor induksi yaitu gangguan ketidakseimbangan dan temperatur lebih. Ketidakseimbangan beban dapat mengakibatkan temperatur belitan naik. Temperatur lebih ini dapat mengakibatkan kebakaran pada isolasi belitan yang selanjutnya mengakibatkan kegagalan operasi motor induksi. Oleh karena itu dibutuhkan suatu sistem proteksi untuk mengatasi kegagalan motor induksi saat bekerja (Kuswoyo, 2016).

## **2.2 Landasan Teori**

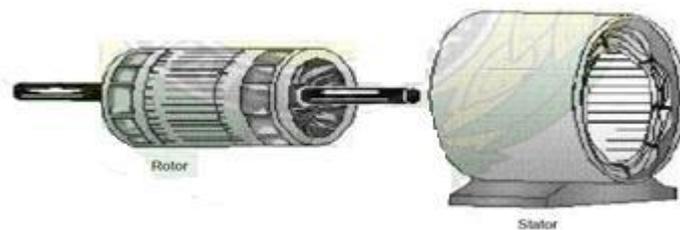
### **2.2.1 Motor Induksi**

Motor induksi adalah motor listrik arus bolak-balik (ac) dimana putaran rotornya tidak sama dengan putaran medan putar pada stator, dengan kata lain putaran rotor dan putaran medan pada stator terdapat selisih putaran yang disebut slip. Motor induksi memiliki konstruksi yang baik dengan harga murah, mudah dalam pengaturan kecepatan, memiliki kestabilan dalam beban berlebih dan mempunyai efisiensi yang cukup tinggi. Mesin induksi merupakan salah satu mesin ac yang banyak digunakan dalam industri skala besar atau kecil serta dalam rumah tangga, hal ini disebabkan karena karakteristik hamper sesuai dengan kebutuhan industri yang kaitannya dengan harga, kesempurnaan, pemeliharaan dan kestabilan kecepatan.

Pada umumnya, mesin induksi yang disebut asinkron hanya memiliki satu suplai tenaga yang mampu mengeksitasi belitan stator. Di perindustrian, motor ac yang paling banyak digunakan adalah motor induksi tiga fasa karena memiliki keuntungan seperti sistem yang sederhana dan kuat, biaya terjangkau, memiliki efisiensi tinggi pada kondisi kerja normal dan perawatan yang mudah. Akan tetapi, kerugian pada motor induksi tiga fasa ini tidak memiliki kecepatan yang bervariasi tanpa merubah efisiensi, memiliki kecepatan yang tergantung pada beban dan kekurangan pada torsi start.

### 2.2.2 Konstruksi Motor Induksi Tiga Phasa

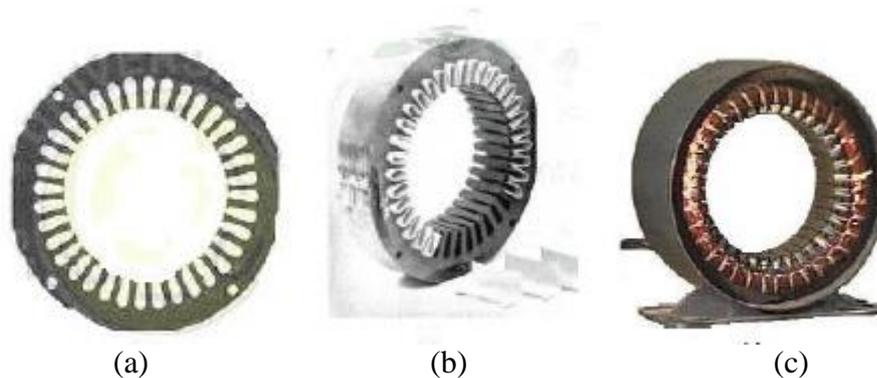
Banyaknya penggunaan motor induksi pada industri skala besar maupun kecil dikarenakan konstruksi yang kuat dan karakteristik kerja yang baik. Secara umum, motor induksi terdiri dari rotor dan stator. Rotor merupakan bagian yang bergerak sedangkan stator merupakan bagian yang diam. Diantara stator dan rotor terdapat celah udara dengan jarak yang kecil. Konstruksi motor induksi dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Konstruksi Motor Induksi

Komponen stator merupakan bagian terluar dari motor yang mengalirkan arus fasa. Stator terdiri atas tumpukan laminasi inti yang memiliki alur sebagai tempat kumparan dililitkan dalam bentuk silindris. Alur pada tumpukan laminasi inti diisolasi dengan kertas (Gambar 2.2 (b)). Masing-masing elemen laminasi inti dibentuk dari lembaran besi (Gambar 2.2 (a)). Masing-masing lembaran besi tersebut memiliki beberapa alur dan beberapa lubang pengikat untuk menyatukan inti. Tiap kumparan yang terdapat dalam alur disebut belitan fasa dimana pada motor tiga fasa belitan tersebut terpisah secara listrik sebesar  $120^{\circ}$ . Kawat kumparan yang digunakan terbuat dari tembaga yang berlapis isolasi tipis, kemudian tumpukan inti dan belitan stator diletakkan dalam cangkang silindris

(Gambar 2.2 (c)). Berikut ditampilkan contoh lempengan laminasi inti, lempengan inti yang disatukan dan belitan stator yang telah diletakkan pada cangkang luar untuk motor induksi tiga phasa.



Gambar 2.2 Komponen Stator Induksi Tiga Phasa.  
 (a) Lempengan Inti, (b) Tumpukan Inti dengan Kertas Isolasi pada Alur dan (c) Tumpukan Inti dan Kumbaran dalam Cangkang Stator

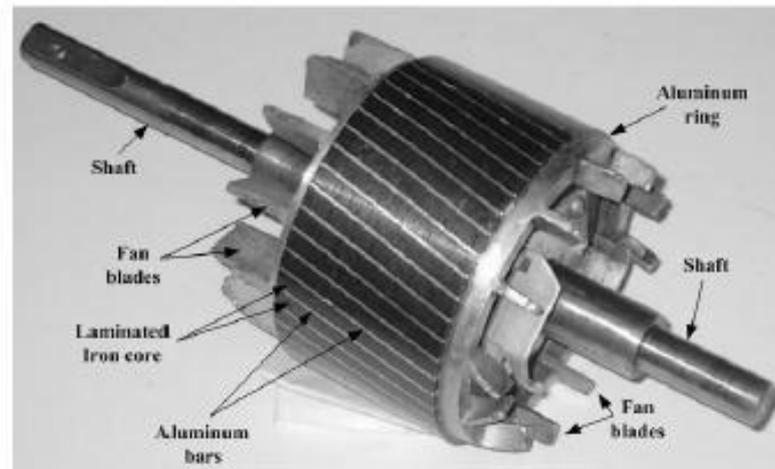
### 2.2.3 Jenis Motor Induksi Tiga Phasa dari Segi Rotor

Terdapat dua jenis motor induksi tiga phasa berdasarkan rotornya, diantaranya adalah rotor sangkar tupai (*squirrel-cage motor*) dan rotor belitan (*wound-rotor motor*). Kedua motor ini bekerja pada prinsip yang sama dan memiliki konstruksi strator yang sama pula akan tetapi berbeda dalam konstruksi rotor.

#### 2.2.3.1 Motor Induksi Tiga Phasa Rotor Sangkar Tupai

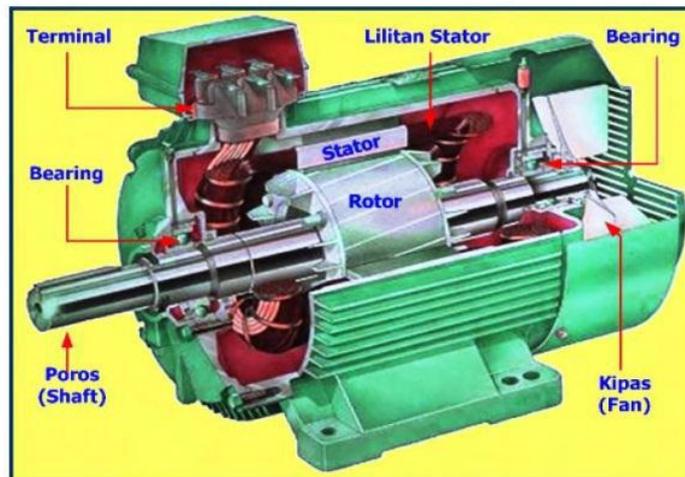
Penampang motor sangkar tupai memiliki konstruksi yang sederhana. Inti stator pada motor sangkar tupai tiga phasa terbuat dari lapisan-lapisan pelat baja beralur yang didukung dalam rangka stator dimana rangka tersebut terbuat dari besi tuang atau pelat baja dipabrukasi. Lilitan-lilitan kumbaran stator diletakan

dalam alur stator terpisah dengan  $120^{\circ}$  listrik. Lilitan phasa ini dapat tersambung dalam hubungan delta ( $\Delta$ ) ataupun bintang (Y).



Gambar 2.3 Bagian-bagian Rotor Tupai

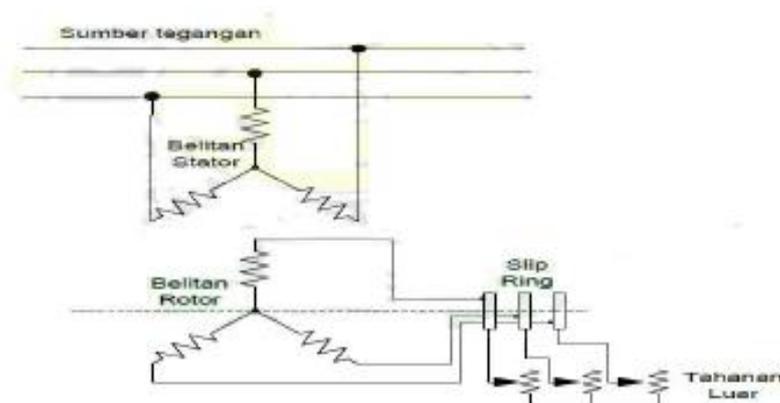
Batang rotor dan cincin ujung motor sangkar tupai lebih kecil adalah coran tembaga atau alumunium dalam satu lempeng pada inti rotor. Dalam rotor yang lebih besar, batang rotor tidak dicor melainkan dibenamkan ke dalam alur rotor kemudian dilas dengan kuat pada cincin ujung. Batang rotor motor sangkar tupai tidak selalu ditempatkan parallel terhadap poros motor tetapi ada juga yang ditempatkan dengan posisi miring. Hal ini akan menghasilkan torsi yang lebih seragam serta mengurangi derau dengung *magnetic* ketika motor sedang berputar. Pada ujung cincin penutup di lekatkan sirip yang memiliki fungsi sebagai pendingin. Motor induksi dengan rotor sangkar akan disajikan pada gambar berikut.



Gambar 2.4 Konstruksi Motor Induksi Rotor Sangkar

### 2.2.3.2 Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Belitan

Motor rotor belitan (motor cincin slip) berbeda dengan motor sangkar tupai dalam hal konstruksi rotor. Lilitan fasa rotor dihubungkan secara Y dimana masing-masing fasa ujung terbuka dikelurkan ke cincin slip yang terpasang pada poros rotor. Secara skematik akan disajikan pada gambar berikut:



Gambar 2.5 Skematik Diagram Motor Induksi Rotor Belitan

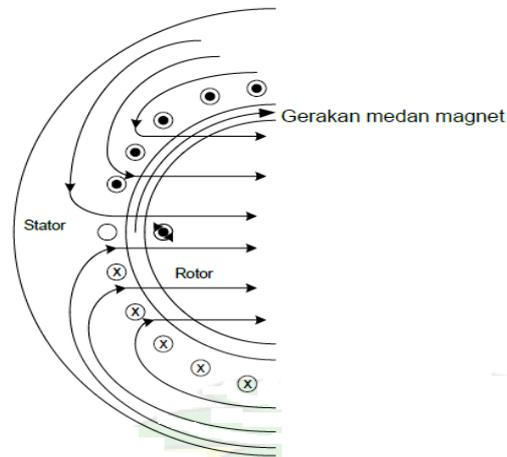
Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat bahwa cincin slip dan sikat semata-mata merupakan penghitung tahanan kendali variabel luar kedalam

rangkaian rotor. Pada motor ini, cincin slip yang terhubung ke sebuah tahanan variabel eksternal berfungsi membatasi arus pengasutan dan bertanggung jawab terhadap pemanasan rotor. Selama pengasutan penambahan tahanan eksternal pada rangkaian rotor belitan menghasilkan torsi pengasutan yang lebih besar dengan arus pengasutan yang lebih kecil dibanding dengan rotor sangkar.

#### **2.2.4 Prinsip Kerja Motor Induksi Tiga Phasa**

Motor induksi adalah peralatan pengubah energi listrik ke bentuk energi mekanik. Pengubahan energi ini bergantung pada keberadaan fenomena alami magnetik, medan listrik, gaya mekanis dan gerak. Apabila belitan stator diberi tegangan tiga phasa, maka belitan akan mengalirkan arus yang menghasilkan medan magnet dimana medan berputar dengan kecepatan sinkron ( $n_s$ ). Medan magnet ini akan memotong belitan rotor, sehingga belitan akan di induksikan tegangan seperti halnya tegangan dalam lilitan sekunder transformator yang oleh fluksi akan menghasilkan arus pada belitan primer.

Rangkaian rotor merupakan rangkaian tertutup, baik melalui cincin ujung maupun tahanan luar. Tegangan yang dihasilkan oleh induksi pada rotor akan mengalirkan arus yang berada dalam medan magnet dimana arus tersebut dihasilkan oleh stator, sehingga belitan rotor akan menghasilkan gaya ( $F$ ). Gaya ini akan menghasilkan Torsi ( $T$ ) dan jika torsi yang dihasilkan lebih besar dari torsi beban, maka rotor akan berputar dengan kecepatan  $n_s$  yang searah dengan medan putaran stator.



Gambar 2.6 Penampang Rotor dan Stator yang Memperlihatkan Medan Magnet dalam Celah Udara

Pada arah fluksi dan gerak yang ditunjukkan gambar diatas, penggunaan aturan tangan kanan *fleming* bahwa arah arus induksi dalam konduktor rotor menuju pembaca. Ketika kondisi seperti itu, dengan konduktor yang mengalirkan arus berada dalam medan magnet, gaya pada konduktor mengarah ke atas karena medan magnet dibawah konduktor lebih kuat daripada medan di atasnya. Konduktor rotor yang berdekatan dalam medan stator juga mengalirkan arus dalam arah seperti pada konduktor yang ditunjukkan, serta mempunyai suatu gaya kearah atas yang dikerakan pada mereka.

Kemudian setengah siklus berikutnya, arah medan stator akan dibalik tetapi arus rotor juga akan dibalik sehingga gaya pada rotor tetap ke atas. Demikian pula konduktor dibawah kutub-kutub medan stator lain akan memiliki gaya yang semuanya cenderung memutarakan rotor dengan searah jarum jam. Apabila kopel yang dihasilkan cukup besar untuk mengatasi kopel beban yang menahan, motor akan melakukan percepatan searah jarum jam atau dalam arah

yang sama dengan perputaran medan magnet stator. Untuk memperjelas prinsip kerja motor induksi tiga fasa, berikut akan dijabarkan langkah-langkahnya:

1. Ketika tegangan fasa yang seimbang diberikan pada belitan stator, maka belitan stator akan menghasilkan arus yang mengalir pada tiap-tiap fasanya.
2. Arus pada setiap fasa stator akan menghasilkan fluksi yang berubah terhadap waktu.
3. Amplitudo fluksi yang dihasilkan pada fasa stator berubah secara sinusoida dan arahnya tegak lurus terhadap belitan.
4. Penjumlahan dari ketiga fluksi pada belitan stator disebut medan putar yang berputar dengan kecepatan sinkron ( $n_s$ ), besar nilai  $n_s$  di tentukan oleh jumlah kutub  $p$  dan frekuensi stator  $f$  yang dirumuskan dengan  $n_s = \frac{120 \times f}{p}$  (rpm) .....(2.6)
5. Akibat fluksi yang berputar tersebut maka timbul tegangan induksi pada belitan stator yang dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$e_1 = -N \frac{d\phi}{dt} \text{ (Volt)} \quad \text{atau} \quad E_1 = 4,44fN_1\phi_{\max} \text{ (Volt)}$$

6. Fluksi yang berputar tersebut juga memotong belitan rotor. Akibatnya pada belitan rotor akan dihasilkan tegangan induksi (ggl) sebesar  $E_2$  dimana besarnya dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$E_2 = -N \frac{d\phi}{dt} \text{ (Volt)} \quad \text{atau} \quad E_2 = 4,44fN_2\phi_{\max} \text{ (Volt)}$$

Keterangan:

$E_2$  = Tegangan Induksi Pada Rotor dalam Keadaan diam (Volt)

$N_2$  = Jumlah Liilitan Kumparan Rotor

$\varphi_{\max}$  = Fluksi Maksimum (Wb)

7. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian tertutup, maka tegangan induksi tersebut akan menghasilkan arus  $I_2$ .
8. Arus  $I_2$  ini berada pada medan magnet yang dihasilkan oleh stator, sehingga pada belitan rotor akan menghasilkan gaya ( $F$ ).
9. Gaya ( $F$ ) ini akan menghasilkan torsi ( $t$ ), jika torsi yang dihasilkan ini lebih besar dari torsi beban, maka rotor akan berputar dengan kecepatan  $n_r$  yang searah dengan medan putar stator.
10. Ada perbedaan kecepatan medan putar pada stator ( $n_s$ ) dengan kecepatan putaran rotor ( $n_r$ ), perbedaan ini disebut slip ( $s$ ) yang dapat dinyatakan dengan persamaan;  $s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\%$
11. Setelah rotor dalam keadaan berputar, besarnya tegangan yang diinduksikan pada belitan rotor akan dipengaruhi atau tergantung terhadap slip ( $s$ ). Tegangan induksi pada rotor dalam keadaan ini dapat dinyatakan dengan persamaan:  $E_{2s} = 4,44sfN_2\varphi_{\max}$  (Volt) atau  $E_{2s} = sE_2$  (Volt)
12. Akibat adanya slip ( $s$ ), maka nilai frekuensi pada rotor ( $f_2$ ) dan reaktansi rotor ( $x_2'$ ) akan dipengaruhi oleh slip, yang dapat dinyatakan dengan  $s f$  dan  $s x_2'$ .
13. Jika kecepatan putaran rotor ( $n_r$ ) sama dengan kecepatan medan putar stator ( $n_s$ ), maka slip bernilai nol tidak ada fluks yang memotong belitan rotor. Apabila belitan rotor tidak diinduksikan tegangan, maka tidak ada

arus yang mengalir pada belitan, sehingga rotor tidak berputar disebabkan tidak adanya gaya yang terjadi pada rotor.

### 2.2.5 Kabel Listrik

Kabel listrik berfungsi untuk menghantarkan arus listrik dari sumber menuju beban daya suatu alat listrik. Bahan dari kabel ini beraneka ragam, khusus sebagai pengantar arus listrik, umumnya terbuat dari tembaga dan umumnya dilapisi dengan pelindung. Selain tembaga, ada juga kabel yang terbuat dari serat optik, yang disebut dengan *fiber optic cable*.

Penghantar atau kabel yang sering digunakan untuk instalasi listrik penerangan umumnya terbuat dari tembaga. Penghantar tembaga setengah keras (BCC  $\frac{1}{2}$  H = *Bare Copper Conductor Half Hard*) memiliki nilai tahanan jenis 0,0185 ohm mm<sup>2</sup>/m dengan tegangan tarik putus kurang dari 41 kg/mm<sup>2</sup>. sedangkan penghantar tembaga keras (BCCH = *Bare Copper Conductor Hard*), kekuatan tegangan tariknya 41 kg/mm<sup>2</sup>. Pemakaian tembaga sebagai penghantar adalah dengan pertimbangan bahwa tembaga merupakan suatu bahan yang mempunyai daya hantar yang baik setelah perak. Penghantar yang dibuat oleh pabrik yang dibuat oleh pabrik terdapat beraneka ragamnya.

Berdasarkan konstruksinya, penghantar diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Penghantar pejal (*solid*); yaitu penghantar yang berbentuk kawat pejal yang berukuran sampai 10 mm<sup>2</sup>. Tidak dibuat lebih besar lagi dengan maksud untuk memudahkan penggulungan maupun pemasangannya.
2. Penghantar berlilit (*stranded*); penghantarnya terdiri dari beberapa urat kawat yang berlilit dengan ukuran 1 mm<sup>2</sup> – 500 mm<sup>2</sup>.

3. Penghantar serabut (*fleksibel*); banyak digunakan untuk tempat-tempat yang sulit dan sempit, alat-alat portabel, alat-alat ukur listrik dan pada kendaraan bermotor. Ukuran kabel ini antara  $0,5 \text{ mm}^2$  -  $400 \text{ mm}^2$ .
4. Penghantar persegi (*busbar*); penampang penghantar ini berbentuk persegi empat yang biasanya digunakan pada PHB (Papan Hubung Bagi) sebagai rel-rel pembagi atau rel penghubung. Penghantar ini tidak berisolasi.

Adapun bila ditinjau dari jumlah penghantar dalam satu kabel, penghantar dapat diklasifikasikan menjadi:

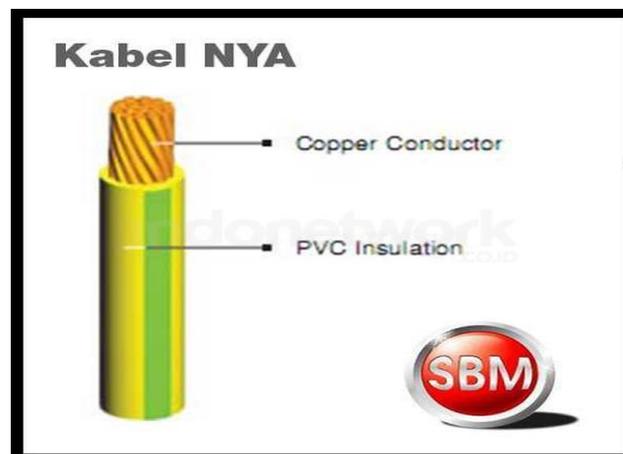
1. Penghantar *simplex* ialah kabel yang dapat berfungsi untuk satu macam penghantar saja (misal: untuk fasa atau netral saja). Contoh penghantar simplex ini antara lain: NYA  $1,5 \text{ mm}^2$ ; NYAF  $2,5 \text{ mm}^2$  dan sebagainya.
2. Penghantar *duplex* ialah kabel yang dapat menghantarkan dua aliran (dua fasa yang berbeda atau fasa dengan netral). Setiap penghantarnya diisolasi kemudian diikat menjadi satu menggunakan selubung. Penghantar jenis ini contohnya NYM  $2 \times 2,5 \text{ mm}^2$ , NYY  $2 \times 2,5 \text{ mm}^2$ .
3. Penghantar *triplex* yaitu kabel dengan tiga penghantar yang dapat menghantarkan aliran 3 fasa (R, S dan T) atau fasa, netral dan arde. Contoh kabel jenis ini: NYM  $3 \times 2,5 \text{ mm}^2$ , NYY  $3 \times 2,5 \text{ mm}^2$ .
4. Penghantar *quadruplex* kabel dengan empat penghantar untuk mengalirkan arus 3 fasa dan netral atau 3 fasa dan pentanahan. Contoh penghantar quadruplex misalnya NYM  $4 \times 2,5 \text{ mm}^2$ , NYMHY  $4 \times 2,5 \text{ mm}^2$  dan sebagainya.

### 2.2.5.1 Jenis Kabel

Terdapat berbagai jenis kabel yang digunakan pada kelistrikan, antara lain:

#### 1. Kabel NYA

Kabel NYA berinti tunggal, berlapis bahan isolasi PVC, untuk instalasi luar atau kabel udara. Kode warna isolasi ada warna merah, kuning, biru dan hitam sesuai dengan peraturan PUIL.. Lapisan isolasinya hanya 1 lapis sehingga mudah cacat, tidak tahan air (NYA adalah tipe kabel udara) dan mudah digigit tikus. Agar aman memakai kabel tipe ini, kabel harus dipasang dalam pipa/*conduit* jenis PVC atau saluran tertutup. Sehingga tidak mudah menjadi sasaran gigitan tikus, dan apabila ada isolasi yang terkelupas tidak tersentuh langsung oleh orang. Gambar 2.7 merupakan contoh kabel NYA.



Gambar 2.7 Kabel NYA

## 2. Kabel NYM

Kabel NYM memiliki lapisan isolasi PVC (biasanya warna putih atau abu-abu), ada yang berinti 2, 3 atau 4. Kabel NYM memiliki lapisan isolasi dua lapis, sehingga tingkat keamanannya lebih baik dari kabel NYA (harganya lebih mahal dari NYA). Kabel ini dapat dipergunakan dilingkungan yang kering dan basah, namun tidak boleh ditanam. Gambar 2.8 contoh dari kabel NYM.



Gambar 2.8 Kabel NYM

## 3. Kabel NYAF

Kabel NYAF merupakan jenis kabel fleksibel dengan penghantar tembaga serabut berisolasi PVC. Digunakan untuk instalasi panel-panel yang memerlukan fleksibilitas yang tinggi. Dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Kabel NYAF

#### 4. Kabel NYY

Kabel NYY memiliki lapisan isolasi PVC (biasanya berwarna hitam), ada yang berinti 2, 3 atau 4. Kabel NYY dipergunakan untuk instalasi tertanam (kabel tanah), dan memiliki lapisan isolasi yang lebih kuat dari kabel NYM (harganya lebih mahal dari NYM). Kabel NYY memiliki isolasi yang terbuat dari bahan yang tidak disukai tikus. Gambar 2.10 merupakan contoh kabel NYY.

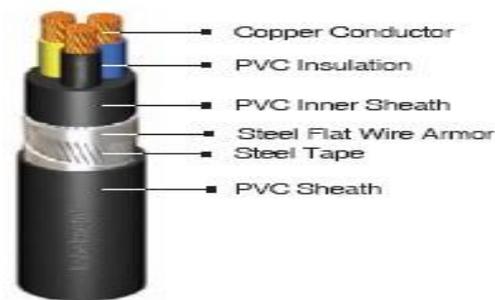


Gambar 2.10 Kabel NYY

#### 5. Kabel NYFGbY

Kabel NYFGbY ini digunakan untuk instalasi bawah tanah, di dalam ruangan di dalam saluran-saluran dan pada tempat-tempat yang

terbuka dimana perlindungan terhadap gangguan mekanis dibutuhkan, atau untuk tekanan rentangan yang tinggi selama dipasang dan dioperasikan. Gambar 2.11 contoh kabel NYFGbY.



Gambar 2.11 Kabel NYFGbY

#### 6. Kabel ACSR (*Aluminium conduct steel reinforced*)

Kabel ACSR merupakan kawat penghantar yang terdiri dari aluminium berinti kawat baja. Kabel ini digunakan untuk saluran-saluran transmisi tegangan tinggi, dimana jarak antara menara atau tiang berjauhan, mencapai ratusan meter, maka dibutuhkan kuat tarik yang lebih tinggi, untuk itu digunakan kawat penghantar ACSR. Contoh kabel ACSR dapat dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Kabel ACSR

#### 7. Kabel AAAC (*All aluminium alloy conductor*)

Kabel ini terbuat dari *aluminium-magnesium-silicon* campuran logam, keterhantaran listrik tinggi yang berisi *magnesium silicide*, untuk memberi sifat yang lebih baik. Kabel ini biasanya dibuat dari paduan aluminium 6201. AAAC mempunyai suatu anti karat dan kekuatan yang baik, sehingga daya hantarnya lebih baik. Contph kabel AAAC ada pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Kabel AAAC

### 2.2.5.2 Pemilihan Luas Penampang

Semakin besar luas penampang maka semakin besar pula kemampuan dalam menghantarkan arusnya. Seberapa besar arus listrik yang dibebankan pada suatu kabel listrik disebut kemampuan hantar arus (KHA).

Kabel yang terdapat pada suatu instalasi memiliki jumlah yang berbeda menurut jenis instalasi yang di pasang yaitu:

1. Instalasi listrik satu phasa

Merupakan instalasi listrik yang biasanya menggunakan jaringan tiga kabel penghantar utama, yaitu:

- a. Kabel phasa (berwarna merah)
- b. Kabel netral (berwarna hitam)
- c. Kabel *ground* ( berwarna kuning atau garis hijau)

Instalasi ini biasanya digunakan pada instalasi listrik di rumah. Listrik satu phase memiliki tegangan phasa ke netral sebesar 220 Vac.

2. Instalasi listrik tiga phasa

Merupakan instalasi yang biasa digunakan pada industri dengan tegangan 380 volt. Instalasi listrik tiga phasa adalah instalasi dengan jaringan lima kabel penghantar, yaitu :

- a. Kabel phasa R (berwarna merah)
- b. Kabel phasa S (berwarna kuning)
- c. Kabel phasa T (berwarna hitam)
- d. Kabel netral (berwarna biru)
- e. Kabel *ground* ( berwarna kuning atau garis hijau)

Kabel listrik yang digunakan pada instalasi harus mampu dibebani dengan berbagai daya listrik dari berbagai peralatan yang digunakan. Karena jika beban arus yang besar ditanggung oleh penghantar yang memiliki ukuran yang kecil dapat menyebabkan suhu kabel menjadi panas, bahkan dapat menyebabkan kabel terbakar serta dapat menyebabkan kerugian tegangan yang lebih besar (*drop* tegangan).

Jika kabel penghantar listrik lebih besar atau jauh melebihi kebutuhan total arus listrik yang ditanggung kabel, hal ini memang jauh lebih baik karena tidak akan mengalami kenaikan suhu pada kabel penghantar tersebut. Namun jika dipandang dari segi ekonomi, harga kabel yang lebih besar meningkat (mahal) sehingga terjadi pemborosan biaya.

Dalam pemilihan luas penghantar harus mempertimbangkan hal-hal berikut ini:

1. Kemampuan Hantar Arus (KHA)

Menurut PUIL 2000 pasal 5.5.3.1 bahwa “penghantar sirkit akhir yang menyuplai motor tunggal tidak boleh mempunyai KHA kurang dari 125% arus pengenal beban penuh.”

- a. Untuk Arus Searah :  $I_n = P/V$  (A)
- b. Untuk Arus Bolak-balik Satu Fasa:  $I_n = P/(V \cdot \cos \phi)$  (A)
- c. Untuk Arus Bolak-balik tiga Fasa:  $I_n = P/(\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \phi)$  (A)

$$KHA = 125\% \times I_n$$

Dimana:  $I$  = Arus Nominal Beban Penuh (A)

$P$  = Daya Aktif (W)

$V$  = Tegangan (V)

$\cos \varphi$  = Faktor Daya

## 2. *Drop Voltage*

*Drop voltage* atau disebut dengan susut tegangan merupakan perbedaan antara tegangan sumber dengan tegangan di beban, karena tegangan di beban tidak sama dengan tegangan sumber yaitu tegangan di beban lebih kecil dari tegangan sumber, dapat disebabkan oleh faktor arus dan impedansi saluran.

## 3. Sifat Lingkungan

Sifat lingkungan merupakan kondisi dimana penghantar itu dipasang.

Faktor-faktor berikut harus diperhatikan:

- a. Penghantar dapat dipasang atau ditanam dalam tanah dengan memperhatikan kondisi tanah yang basah, kering atau lembab. Ini akan berhubungan dengan pertimbangan bahan isolasi penghantar yang digunakan.
- b. Suhu lingkungan seperti suhu kamar dan suhu tinggi, penghantar yang digunakan akan berbeda.
- c. Kekuatan mekanis, misalnya: pemasangan penghantar di jalan raya berbeda dengan di dalam ruangan atau tempat tinggal.

Penghantar yang terkena beban mekanis, harus dipasang di dalam pipa baja atau pipa beton sebagai pelindungnya.

#### 4. Kemungkinan lainnya

Kemungkinan lainnya merupakan kemungkinan-kemungkinan yang akan terjadi di masa yang akan datang. Seperti penambahan beban yang akan mengacu pada kenaikan arus beban sehingga perhitungan KHA penghantar untuk memilih luas penampang penghantar akan berbeda. *Drop* tegangan maksimum yang diizinkan adalah dua persen untuk penerangan dan lima persen untuk instalasi daya.

#### **2.2.6 *Circuit Breaker* (CB)**

Berdasarkan IEV (*International Electrotechnical Vocabulary*) 441-14-20 disebutkan bahwa *Circuit Breaker* (CB) atau Pemutus Tenaga (PMT) merupakan peralatan saklar/*switching* mekanis, yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal serta mampu menutup, mengalirkan (dalam periode waktu tertentu) dan memutus arus beban dalam spesifik kondisi abnormal/gangguan seperti kondisi short circuit/hubung singkat.

*Circuit Breaker* berfungsi untuk menghubungkan dan melepas beban di jaringan listrik serta mengamankan atau melindungi peralatan yang terhubung di rangkaian beban bila terjadi gangguan pada sistem yang dilayani.

Dengan demikian maka suatu *circuit breaker* harus dilengkapi dengan peralatan relay proteksi dan sistem *interlock* yang bisa membuka secara otomatis saat terjadi gangguan sehingga kerusakan lebih lanjut dapat dihindari

Pada umumnya CB di Unit Pembangkit Listrik/*Power Station* adalah tipe busbar tunggal/single busbar type atau metal clad dimana *circuit breaker* ditempatkan dalam bilik tertutup yang dinamakan *Cubicle*. *Circuit Breaker* yang berada di dalam *cubicle* harus dapat dikeluarkan (*rack out*) dan dimasukkan kembali (*rack in*) terutama untuk keperluan pemeliharaan

Tegangan kerja dari CB tergantung dari kapasitas Unit Pembangkit dan tegangan kerja peralatan bantuannya, pada umumnya tegangan kerja yang digunakan antara 3.3kV sampai 11kV

*Circuit Breaker* (CB) merupakan suatu alat listrik yang berfungsi untuk melindungi sistem tenaga listrik apabila terjadi kesalahan atau gangguan pada sistem tersebut, terjadinya kesalahan pada sistem akan menimbulkan berbagai efek seperti efek termis, efek magnetis dan dinamis stability.

Fungsi utama dari *circuit breaker* adalah sebagai alat pembuka atau penutup suatu rangkaian listrik dalam kondisi berbeban, serta mampu membuka atau menutup saat terjadi arus gangguan (hubung singkat) pada jaringan atau peralatan lain. Sehingga dengan adanya *circuit breaker* ini diharapkan dapat menyelamatkan/mengetahui apabila peralatan yang dipasang *circuit breaker* mengalami kerusakan ataupun masalah seketika.

#### **2.2.6.1 Fungsi Bagian Utama CB**

Ruangan pemutus tenaga ini berfungsi sebagai ruangan pemadam busur api, yang terdiri dari :

1. Unit pemutus utama yang berfungsi sebagai pemutus utama.

Unit pemutus utama ini berupa ruangan yang diselubungi bagian luar oleh isolator dari porselen dan disebelah dalamnya terdapat ruangan udara, kontak- kontak bergerak yang dilengkapi oleh pegas penekan dan kontak tetap sebagai penghubung yang terletak melekat pada isolator porselen.

2. Unit pemutus pembantu yang berfungsi sebagai pemutus arus yang melalui tahanan.

Unit pemutus pembantu ini berupa ruangan yang diselubungi bagian luar oleh isolator dari porselen dan disebelah dalamnya terdapat ruangan udara, kontak-kontak bergerak yang dilengkapi oleh pegas penekan dan kontak tetap sebagai penghubung yang terletak melekat pada porselen.

3. Katup kelambatan.

Berfungsi sebagai pengatur udara bertekanan dari pemutus utama ke unit pemutus pembantu, sehingga kontak pada unit pemutus pembantu akan terbuka kurang dari 25 setelah kontak-kontak pada pemutus utama terbuka. Katup kelambatan ini berupa bejana berbentuk silinder yang berongga sebagai ruang udara dan juga terdapat ruang pengatur, katup penahan, katup pengatur, rumah perapat, dan tempat katup.

4. Tahanan.

Tahanan ini dipasang paralel dengan unit pemutus utama, yang berfungsi untuk :

- a. mengurangi kenaikan harga dari tegangan pukul

b. mengurangi arus pukulan pada waktu pemutusan

5. Kapasitor.

Kapasitor ini dipasang paralel dengan tahanan, unit pemutus utama dan unit pemutus pembantu, yang berfungsi untuk mendapatkan pembagian tegangan yang sama pada setiap celah kontak, sehingga kapasitas pemutusan pada setiap celah sama besarnya.

6. Kontak-kontak.

a. Unit pemutus utama kontak bergerak dilapisi dengan perak terdiri dari:

- 1) Kepala kontak bergerak
- 2) Silinder katak
- 3) Jari-jari kontak
- 4) Batang kontak
- 5) Pegangan kontak kontak tetap, terdiri dari :
  - a) Kepala kontak
  - b) Pegangan kontak

b. Unit pemutus pembantu

- 1) Kontak bergerak
- 2) Kontak tetap, yang terdiri dari:
  - a) Jari-jari kontak
  - b) Pegangan kontak

### 2.2.6.2 Klasifikasi CB

Klasifikasi Pemutus Tenaga dapat dibagi atas beberapa jenis, antara lain berdasarkan tegangan rating/nominal, jumlah mekanik penggerak, media isolasi, dan proses pemadaman busur api jenis gas SF<sub>6</sub>.

#### 2.2.6.2.1 Berdasarkan besar / kelas tegangan

PMT dapat dibedakan menjadi :

1. CB tegangan rendah (*Low Voltage*)

Dengan range tegangan 0.1 s/d 1 kV.

2. CB tegangan menengah (*Medium Voltage*)

Dengan range tegangan 1 s/d 35 kV.

3. CB tegangan tinggi (*High Voltage*)

Dengan range tegangan 35 s/d 245 kV.

4. CB tegangan extra tinggi (*Extra High Voltage*)

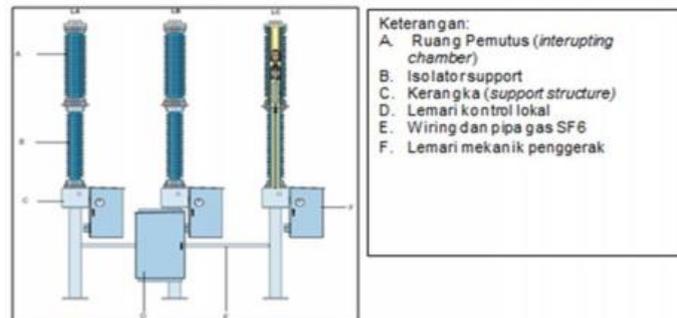
Dengan range tegangan lebih besar dari 245 Kvac.

#### 2.2.6.2.2 Berdasarkan jumlah mekanik penggerak (*tripping coil*)

PMT dapat dibedakan menjadi :

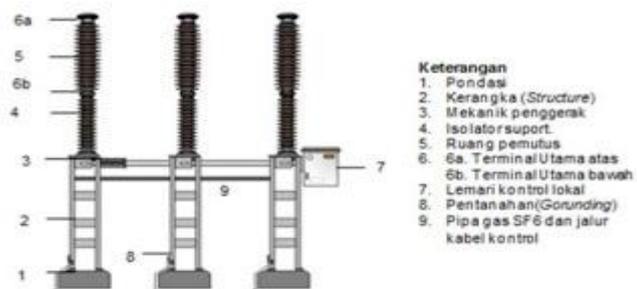
1. PMT *Single Pole*

PMT tipe ini mempunyai mekanik penggerak pada masing-masing *pole*, umumnya PMT jenis ini dipasang pada *bay* penghantar agar PMT bisa *reclose* satu fasa. Gambar 2.14 adalah gambar PMT *Single Pole*.

Gambar 2.14 PMT *Single Pole*

## 2. PMT *Three Pole*

PMT jenis ini mempunyai satu mekanik penggerak untuk tiga fasa, guna menghubungkan fasa satu dengan fasa lainnya di lengkapi dengan kopel mekanik, umumnya PMT jenis ini di pasang pada bay trafo dan bay kopel serta PMT 20 kV untuk distribusi. Gambar 2.15 merupakan PMT *three pole*.

Gambar 2.15 PMT *three pole*

### 2.2.6.2.3 Berdasarkan jenis media isolasi

#### 1. Pemutus Tenaga (PMT) Media Minyak.

Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 10 kA dan pada rangkaian bertegangan sampai 500 kV. Pada saat kontak dipisahkan, busur api

akan terjadi didalam minyak, sehingga minyak menguap dan menimbulkan gelembung gas yang menyelubungi busur api, karena panas yang ditimbulkan busur api, minyak mengalami dekomposisi dan menghasilkan gas *hydrogen* yang bersifat menghambat produksi pasangan ion. Oleh karena itu, pemadaman busur api tergantung pada pemanjangan dan pendinginan busur api dan juga tergantung pada jenis gas hasil dekomposisi minyak. Gambar 2.16 merupakan *breaker* media minyak.



Gambar 2.16 *Breaker* Media Minyak

Gas yang timbul karena dekomposisi minyak menimbulkan tekanan terhadap minyak, sehingga minyak terdorong ke bawah melalui leher bilik. Di leher bilik, minyak ini melakukan kontak yang intim dengan busur api. Hal ini akan menimbulkan pendinginan busur api, mendorong proses rekombinasi dan menjauhkan partikel bermuatan dari lintasan busur api. Minyak yang berada diantara kontak sangat efektif memutuskan arus. Kelemahannya adalah minyak mudah terbakar dan kekentalan minyak memperlambat pemisahan kontak,

sehingga tidak cocok untuk sistem yang membutuhkan pemutusan arus yang cepat.

Sakelar PMT minyak terbagi menjadi 2 jenis, yaitu :

- a. Sakelar PMT dengan banyak menggunakan minyak (*Bulk Oil Circuit Breaker*), pada tipe ini minyak berfungsi sebagai peredam loncatan bunga api listrik selama terjadi pemutusan kontak dan sebagai isolator antara bagian-bagian yang bertegangan dengan badan, jenis PMT ini juga ada yang dilengkapi dengan alat pembatas busur api listrik
- b. Sakelar PMT dengan sedikit menggunakan minyak (*Low oil Content Circuit Breaker*), pada tipe ini minyak hanya dipergunakan Sakelar sebagai peredam loncatan bunga api listrik, sedangkan sebagai bahan isolator dari bagian-bagian yang bertegangan digunakan porselen atau material isolasi dari jenis organik.

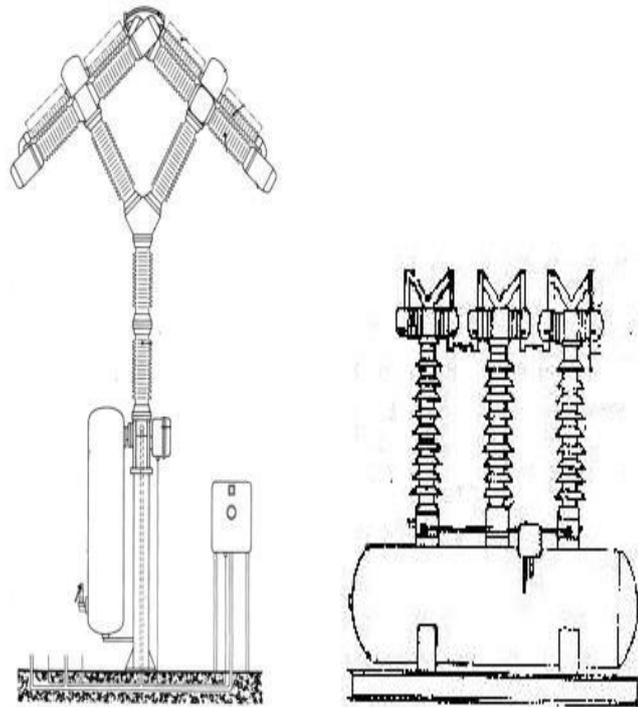
Kelemahan pemutus daya minyak adalah sebagai berikut:

- a. Minyak mudah terbakar dan jika mengalami tekanan dapat meledak.
- b. Kekentalan minyak memperlambat pemisahan kontak, sehingga tidak cocok untuk sistem yang membutuhkan pemutusan arus yang cepat.
- c. Interaksi busur api dengan minyak menimbulkan karbonisasi dan memproduksi gas hydrogen. Jika karbonisasi berlangsung lama akan terjadi endapan karbon dan jika gas hidrogen bercampur dengan udara, maka dapat menimbulkan campuran yang eksplosif.

- d. Minyak akan mengalami degradasi jika bercampur dengan air atau karbon, maka perlu diadakan pemeriksaan rutin terhadap sifat di elektrik dan sifat kimia minyak.

## 2. PMT Media Udara Hembus (*Air Blast Circuit Breaker*)

Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 40 kA dan pada rangkaian bertegangan sampai 765 kV. PMT udara hembus dirancang untuk mengatasi kelemahan pada PMT minyak, yaitu dengan membuat media isolator kontak dari bahan yang tidak mudah terbakar dan tidak menghalangi pemisahan kontak, sehingga pemisahan kontak dapat dilaksanakan dalam waktu yang sangat cepat. Gambar 2.17 merupakan PMT media udara Hembus.



Gambar 2.17 PMT Media Udara Hembus

Saat busur api timbul, udara tekanan tinggi dihembuskan ke busur api dipadamkan oleh hembusan udara tekanan tinggi itu dan juga menyingkirkan

partikel-partikel bermuatan dari sela kontak, udara ini juga berfungsi untuk mencegah *restriking voltage* (tegangan pukul ulang).

Kontak pemutus ditempatkan didalam isolator, dan juga katup hembusan udara. Pada sakelar PMT kapasitas kecil, isolator ini merupakan satu kesatuan dengan PMT, tetapi untuk kapasitas besar tidak demikian halnya.

### 3. PMT Media Vakum (*Vacuum Circuit Breaker*)

Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus rangkaian bertegangan sampai 38 kV. Ruang hampa udara pada CB jenis ini mempunyai kekuatan dielektrik (*dielektrik strength*) yang tinggi dan sebagai media pemadam busur api yang baik. Gambar 2.18 Merupakan *Vacuum CB*.



2.18 *Vacuum Circuit Breaker*

Pada *vacuum circuit breaker* kontak ditempatkan pada suatu bilik *vacuum*. Untuk mencegah udara masuk kedalam bilik, maka bilik ini harus ditutup rapat dan kontak Bergeraknya diikat ketat dengan perapat logam.

Jika kontak dibuka, maka pada katoda kontak terjadi emisi termis dan medan tegangan yang tinggi yang memproduksi elektron-elektron bebas. Elektron

hasil emisi ini bergerak menuju anoda, elektron-elektron bebas ini tidak bertemu dengan molekul udara sehingga tidak terjadi proses ionisasi. Akibatnya, tidak ada penambahan elektron bebas yang mengawali pembentukan busur api. Dengan kata lain, busur api dapat dipadamkan.

Ruang kontak utama (*breaking chambers*) dibuat dari bahan antara lain porcelain, kaca atau plat baja yang kedap udara. Ruang kontak utamanya tidak dapat dipelihara dan umur kontak utama sekitar 20 tahun. Karena kemampuan ketegangan dielektrikum yang tinggi maka bentuk pisik PMT jenis ini relatif kecil.

Prinsip kerjanya berbeda dengan dasar prinsip lain karena tidak terdapat gas yang dapat berionisasi bilamana kontak - kontak terbuka, ketika kontak pemutus dibuka dalam ruang hampa maka akan timbul percikan busur api, elektron dan ion saat pelepasan walaupun hanya sesaat maka dengan cepat diredam karena percikan busur api, elektron dan ion yang dihasilkan pada saat pemutusan akan segera mengembun pada ruangan hampa, kemampuannya terbatas hingga kira-kira 30 kV.

Kelebihan pemutus daya vacuum antara lain adalah:

- a) Konstruksinya kompak,andal dan tahan lama
- b) Tidak menimbulkan bahaya kebakaran
- c) Ketika di operasikan, tidak memproduksi gas
- d) Dapat memutuskan arus hubung singkat yang tinggi
- e) Perawatan nya mudah dan murah
- f) Mampu menahan tegangan impuls petir

- g) Energi yang di konsumsi busur api rendah
- h) Konstruksi kontak penariknya sederhana.

#### 4. PMT Media Gas SF6 (*SF6 Circuit Breaker*)

Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 40 kA dan pada rangkaian bertegangan sampai 765 kV. Media gas yang digunakan pada tipe ini adalah gas SF6 (*Sulphur hexafluoride*). Gambar 2.19 merupakan *SF6 Circuit Breaker*.



Gambar 2.19 *SF6 Circuit Breaker*

Sifat gas SF6 murni adalah tidak berwarna, tidak berbau, tidak beracun dan tidak mudah terbakar. Pada suhu diatas 150° C, gas SF6 mempunyai sifat tidak merusak metal, plastic dan bermacam bahan yang umumnya digunakan dalam pemutus tenaga tegangan tinggi. Sebagai isolasi listrik, gas SF6 mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi (2,35 kali udara) dan kekuatan dielektrik ini bertambah dengan pertambahan tekanan. Sifat lain dari gas SF6 ialah mampu mengembalikan kekuatan dielektrik dengan cepat.

Selama pengisian, gas SF<sub>6</sub> akan menjadi dingin jika keluar dari tangki penyimpanan dan akan panas kembali jika dipompakan untuk pengisian kedalam bagian/ruang pemutus tenaga. Oleh karena itu gas SF<sub>6</sub> perlu diadakan pengaturan tekanannya beberapa jam setelah pengisian, pada saat gas SF<sub>6</sub> pada suhu lingkungan.

Gas SF<sub>6</sub> sebagai medium pemadam busur api pemutus daya di minati karena memiliki beberapa keunggulan sebagai berikut :

1. Sifat kimianya stabil, tidak mudah terbakar, tidak menimbulkan korosi pada bahan logam, tidak beracun, tidak berwarna dan tidak berbau
2. Gas SF<sub>6</sub> memiliki sifat elektronegatif, yaitu sifat molekul nya yang aktif menangkap electron bebas.
3. Kekuatan dielektrik gas SF<sub>6</sub> dua sampai tiga kali lipat dari pada kekuatan dielektrik udara, bahkan pada tekanan tertentu hampir sama dengan minyak. Sifat ini membuat pemutus daya SF<sub>6</sub> sangat efektif digunakan pada sistem tegangan tinggi.
4. Jika gas SF<sub>6</sub> terkontaminasi udara, kekuatan dielektriknya tidak banyak berubah
5. Daya hantar panas gas SF<sub>6</sub> lebih baik dari pada udara sehingga dapat di gunakan untuk pendingin konveksi
6. Interaksi busur api dengan gas SF<sub>6</sub> tidak menimbulkan endapan karbon seperti halnya pada pemutus daya minyak
7. Biaya perawatannya murah

8. Konstruksi pemutus daya SF6 sederhana dan ringan sehingga biaya pembuatan pondasinya murah

### **2.2.7 Pengasutan Motor Induksi**

Masalah pengasutan motor induksi yang pada umumnya menjadi perhatian adalah pada motor-motor induksi tiga fasa dengan kapasitas besar. Ketika mengasut (*start*) motor induksi kapasitas besar, arus yang dihasilkan cenderung melonjak dengan tinggi hanya dengan waktu yang singkat kejadian tersebut akan mengakibatkan guncangan-guncangan tegangan pada jaringan listrik. Guncangan-guncangan tersebut akan mengganggu stabilitas jaringan listrik secara keseluruhan ataupun menyebabkan pemutusan daya (*trip*) yang mengakibatkan kerugian. Berikut merupakan macam-macam pengasutan motor induksi secara aman pada umumnya:

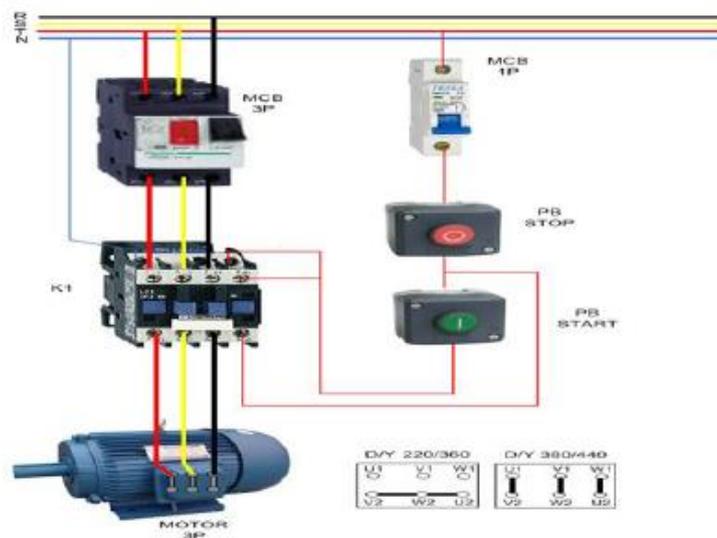
1. Langsung/*Direct on Line* (DOL)
2. Melalui saklar bintang-segitiga (*Start-Delta*)
3. Melalui *Soft Starter*
4. Melalui *Auto Trafo*
5. Melalui Inverter

### **2.2.8 Metode-metode *Starting* Motor**

Terdapat beberapa jenis metode untuk *starting* motor yang akan dijabarkan sebagai berikut:

### 2.2.8.1 Pengasutan Langsung

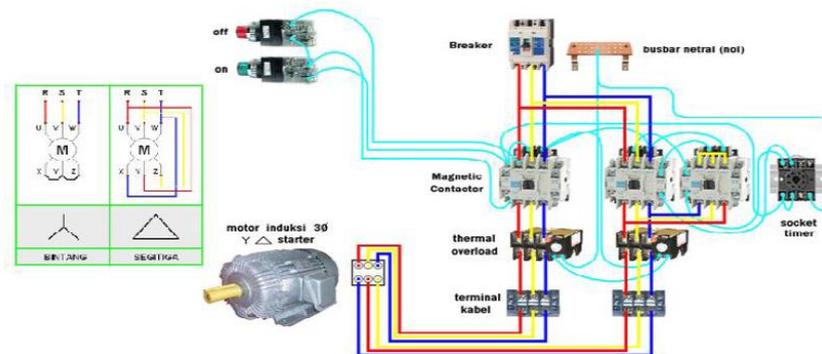
Pengasutan langsung biasanya dilakukan untuk motor induksi dengan kapasitas kecil ataupun dengan pertimbangan besar arus asut yang tinggi serta kejutan mekanisnya tidak mengganggu terhadap jaringan listrik dan mesin itu sendiri



Gambar 2.20 Pengasutan dengan *Direct on Line* (DOL)

### 2.2.8.2 Pengasutan dengan Saklar Bintang Segitiga

Metode pengasutan ini adalah yang paling umum diterapkan untuk motor-motor induksi tiga fasa dengan kapasitas besar. Pengasutan pada metode ini bertujuan untuk menghindari adanya kejutan arus asut yang besar. Pengasutan menggunakan saklar manual bintang segitiga sebuah motor induksi tiga phasaa dihubungkan langsung dengan sumber tegangan tiga phasa melalui saklar bintang segitiga. Ketikaa *start* saklar pada posisi bintang dan motor telah berputar maksimum maka saklar segera dipindahkan ke posisi segitiga.

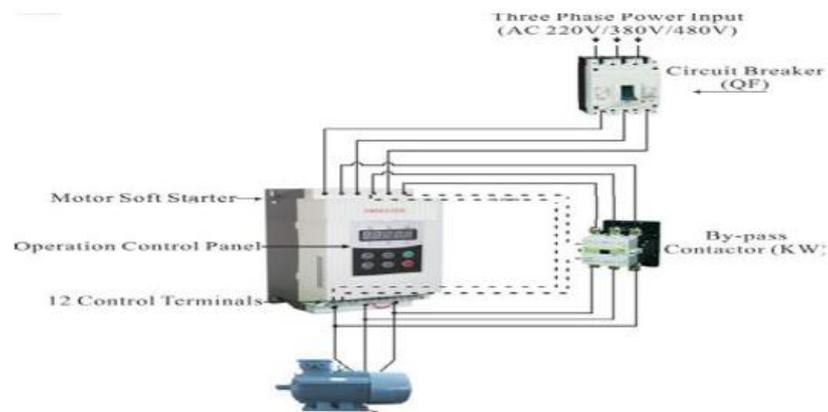


Gambar 2.21 Pengasutan dengan Saklar Bintang-Segitiga (*Start-Delta*)

### 2.2.8.3 Soft Starter

*Soft starter* digunakan untuk mengatur/memperhalus *start* dari elektrik motor. Prinsip kerja yang digunakan adalah dengan mengatur tegangan yang masuk ke motor. Pertama-tama, motor hanya diberikan tegangan yang rendah sehingga arus dan torsi pun juga rendah. Pada level ini motor hanya sekedar bergerak perlahan dan tidak menimbulkan kejutan. Selanjutnya, tegangan akan dinaikkan secara bertahap sampai ke nominal tegangan dan motor berputar dengan kondisi RPM nominal.

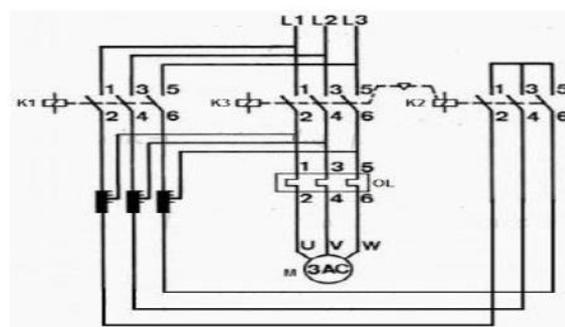
Komponen utama *soft starter* adalah thyristor dan rangkaian yang mengatur trigger thyristor. Seperti yang telah diketahui, *output* thyristor dapat diatur via *pin gate*. Rangkaian tersebut akan mengontrol ke level tegangan yang akan dikeluarkan oleh thyristor. Thyristor yang terpasang terdapat pada dua phase atau tiga phase. Selain untuk *starting* motor, *soft starter* dilengkapi fitur *soft stop* sehingga saat berhenti maka tegangan akan dikurangi secara perlahan dan tidak diepaskan begitu saja seperti pada starter yang menggunakan *contactor*.



Gambar 2.22 Pengasutan dengan *Soft Starter*

#### 2.2.8.4 Pengasutan dengan *Auto Transformer*

Berikut akan disajikan diagram data dari pengasutan atau *starter* tiga fasa dengan menggunakan *auto* trafo.



Gambar 2.23 Pengasutan dengan *Auto Trafo*

Pada diagram daya, terdapat tiga buah kontraktor K1, K2 dan K3, dimana K1 dan K2 beroperasi dalam proses pengasutan motor tiga fasa menggunakan *auto* trafo, sedangkan K3 beroperasi pada tegangan kerja motor tiga fasa sesuai dengan *name plate* nya. Dapat dikatakan yang harus beroperasi pertama kali ialah pengasutan motor K1 dan K2, dimana K1 merupakan *supply* tegangan dari *auto*

trafo dan K2 merupakan hubungan belitan bintang dari *auto* trafo tersebut. Apabila K1 beroperasi tanpa K2 maka *auto* trafo tidak dapat menghasilkan *output* tegangan karena loop trafo terbuka.

Ketika K1 dan K2 telah bekerja, *supply* tegangan ke motor tiga fasa dapat diatur dengan mengubah posisi tap trafo secara bertahap. Proses ini sama dengan menaikkan tegangan *supply* motor tiga fasa secara bertahap dengan arus *start* di redam tidak terlalu tinggi. Proses perpindahan dari tap *auto* ini pada umumnya dilakukan secara manual oleh operator motor walaupun tidak menutup kemungkinan jika dirancang secara otomatis mengenai perpindahan tap *auto* trafo tersebut.

*Auto* trafo biasanya memiliki tiga posisi tap untuk setiap fasa, misalkan 80%, 65% dan 50% oleh karena itu karakteristik untuk pengasutan motor tiga fasa dapat dilakukan dengan menyesuaikan kondisi beban. Jika tegangan *output auto* trafo yang merupakan *supply* motor dapat membuat putaran motor kisaran 80% hingga 90% maka boleh dilakukan manufer perpindahan *supply* tegangan menjadi tegangan kerja motor melalui kontak dari kontraktor K2. Membuka kontak kontraktor K2 merupakan syarat agar kontraktor K3 dapat dioperasikan sebagai *supply* tegangan motor sesuai dengan fungsinya. Kerja kontraktor K3 juga harus otomatis membuat kontak dari kontraktor K1 menjadi terbuka, sehingga *supply* tegangan motor tidak mempengaruhi *auto* trafo.

### 2.2.8.5 Inverter

*Inverter* atau sering juga disebut sebagai *Variable Speed Drive* (VSD) terdiri dari dua bagian utama yaitu penyearah tegangan AC (50 Hz dan  $\infty$  Hz) ke DC dan bagian selanjutnya adalah membalikkan dari DC ke tegangan AC dengan frekuensi yang diinginkan. VSD memanfaatkan sifat motor sesuai dengan rumus berikut:

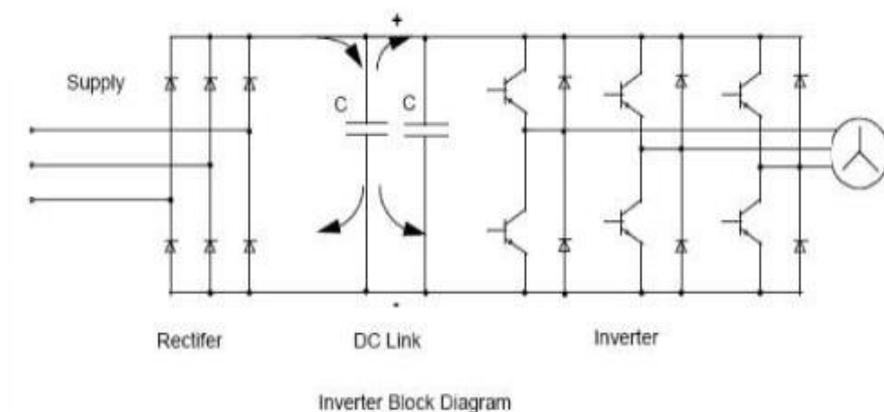
$$\text{RPM} = \frac{120 \times f}{p} \times$$

Keterangan: RPM : Kecepatan Putaran Motor

f : Frekuensi

p : Jumlah Kutub Motor

Dengan demikian, apabila frekuensi motor ditingkatkan maka akan mampu meningkatkan kecepatan motor, sebaliknya apabila memperkecil frekuensi akan memperlambat kecepatan motor.



Gambar 2.24 Pengendali Frekuensi Motor dengan Rangkaian *Inverter*

Prinsip kerja *inverter* yang sederhana adalah:

1. Tegangan yang masuk dari jala-jala 50 Hz dialirkan ke *board rectifier* atau penyerah DC dan di tampung di *capasitor bank*, jadi dari AC dijadikan DC.
2. Kemudian tegangan DC dialirkan ke *board inverter* untuk dijadikan AC kembali dengan frekuensi sesuai kebutuhan, jadi dari DC ke AC komponen utamanya adalah semiconductor aktif seperti *Insulated Gate Bipolar Transistor* (IGBT). Penggunaan frekuensi *carrier* (sampai dengan 20 kHz) dengan tegangan DC di cacah dan dimodulasi maka tegangan akan menghasilkan frekuensi yang diinginkan.

### **2.2.9 Peralatan Kontrol**

Berikut akan dijelaskan beberapa peralatan kontrol yang pada umumnya sering digunakan.

#### **2.2.9.1 Kontaktor**

Kontaktor juga disebut sebagai saklar elektromagnetik, yaitu saklar yang sistem operasinya sama dengan cara kerja sistem elektromagnetik dan merupakan suatu alat yang aman digunakan untuk penyambungan serta pemutusan secara terus menerus. Fungsi kontaktor digunakan untuk mengerjakan dan mengoperasikan seperangkat alat kontrol beban, seperti; penerangan, pemanas, pengontrolan motor-motor listrik dan pengaman motor-motor listrik.

Pada pengaman motor-motor listrik beban lebih dilakukan secara terpisah. Kontaktor akan bekerja dengan normal apabila diberikan tegangan 85% sampai

110% dari tegangan permukannya. Apabila lebih kecil dari 85% kontraktor akan bergetar atau bunyi, apabila lebih besar dari 110% kontraktor akan panas dan terbakar. Kontaktor mempunyai kontak-kontak utama dan kontak-kontak bantu yang terdiri dari:

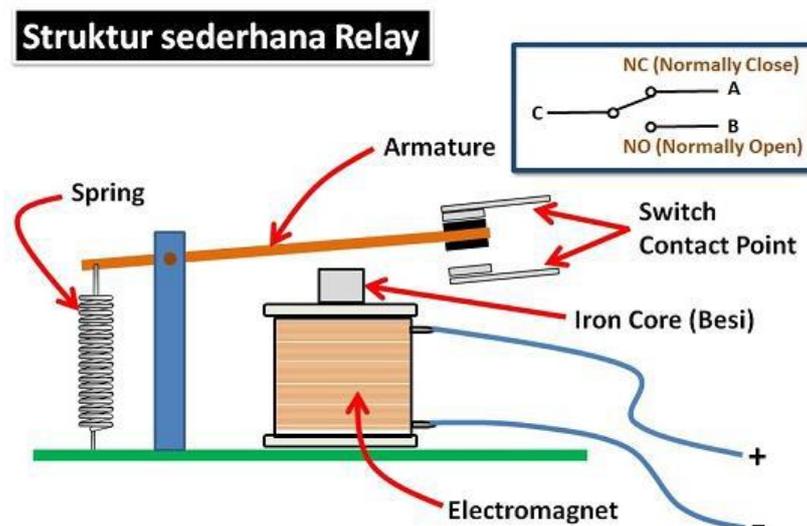
1. *Normally Open* (NO)
2. *Normally Close* (NC)



Gambar 2.25 Kontaktor

### 2.2.9.2 Relay

*Relay* adalah saklar (*switch*) yang dioperasikan secara listrik dan merupakan komponen *elektromechanical* dimana terdiri dari dua bagian utama yakni elektromagnet (*Coil*) dan mekanikal (seperangkat kontak saklar/*switch*). *Relay* menggunakan prinsip elektromagnetik untuk menggerakkan kontak saklar sehingga arus listrik kecil (*low power*) dapat menghantarkan listrik yang bertegangan lebih tinggi. Contohnya, *relay* yang menggunakan elektromagnetik 5V dan 50 mA mampu menggerakkan *Armature Relay* (fungsi saklar) untuk menghantarkan listrik 220V 2A.



Gambar 2.26 Struktur Sederhana Relay

### 2.2.9.3 Time Delay

*Time delay* adalah kontraktor yang digunakan sebagai *relay* penunda waktu yang fungsinya memindahkan kerja dari rangkaian pengontrol kerangkaian tertentu yang bekerja secara otomatis. Misal dari *start* ke *delta* secara otomatis, prinsipnya sama dengan kontraktor namun memiliki waktu tunda operasi. Kontraktor *timer* hanya memiliki kontak NO serta kontak NC seperti pada magnetik kontraktor, hanya saja berkerja berdasarkan *delay* waktu yang telah ditentukan.



Gambar 2.27 Time Delay Relay

a. *On Delay*

*Timer* ini bekerja dari normalnya dengan tunda waktu sesuai dengan setting yang diberikan. Untuk NO, setelah koil dari kontaktor diberi daya, kontak NO masih tetap terbuka hingga beberapa waktu tertentu, misalnya 5 detik. Setelah 5 detik, kontak akan otomatis berubah status dari terbuka (off) menjadi tertutup (on) dan akan tetap tertutup selama kontaktor mendapat catu daya. Jika catu daya diputus, maka kontaktor akan kembali terbuka. Untuk NC, setelah koil dari relay diberi catu, kontak NC masih tetap tertutup hingga beberapa waktu tertentu, misalnya 5 detik. Setelah 5 detik, kontak akan otomatis berubah status dari tertutup (off) menjadi terbuka (on) dan akan tetap terbuka selama relay mendapat catu daya. Jika catu daya diputus, maka relay akan kembali tertutup.

b. *Off Delay*

Timer ini bekerjanya berkebalikan dengan timer On Delay, saat kontaktor magnet mendapat tegangan dan aktif, maka kontak akan

langsung aktif juga, namun setelah tegangan hilang dan kontaktor magnet tidak aktif, maka kontak yang aktif tadi akan menjadi tidak aktif setelah waktu yang ditentukan.

Untuk NO, setelah koil dari relay diberi catu, kontak NO akan berubah status menjadi tertutup dan akan tetap tertutup selama koil diberi catu. Saat catu daya diputus, kontak akan tetap tertutup hingga beberapa waktu tertentu, misalnya 5 detik. Setelah 5 detik, kontak akan otomatis berubah status dari tertutup menjadi terbuka. Untuk NC, setelah koil dari relay diberi catu, kontak NC akan berubah status menjadi terbuka dan akan tetap terbuka selama koil diberi catu. Saat catu daya diputus, kontak akan tetap terbuka hingga beberapa waktu tertentu, misalnya 5 detik. Setelah 5 detik, kontak akan otomatis berubah status dari terbuka menjadi tertutup.

#### **2.2.9.4 Lampu Tanda**

Lampu tanda di pasang secara parallel dengan peralatan control sehingga kita dapat mengetahui peralatan mana saja yang bekerja dan tidak bekerja.

#### **2.2.10 Peralatan Pengamanan**

Tujuan peralatan pengaman pada instalasi listrik adalah untuk melindungi manusia atau peralatan yang tersambung dengan instalasi jika terjadi arus gangguan akibat dari keadaan yang tidak normal. Yang menjadi dasar pertimbangan pengaturan pengaman adalah arus dan waktu kerja suatu pengaman pada instalasi listrik. Karena itu besarnya arus hubung singkat baik nilai maksimum maupun minimum arus dihitung untuk menentukan arus pengaturan.

Disamping itu juga waktu yang diperlukan oleh pengaman menanggapi gangguan juga menentukan.

### 2.2.10.1 Fuse

*Fuse* adalah alat pengaman listrik yang paling familiar dan sering kita temui. *Fuse* terpasang dalam rangkaian listrik tersusun secara seri, sehingga jika terlewati arus yang melebihi kapasitas kerja dari fuse tersebut, maka *fuse* akan terbakar dan memutus arus yang ada dalam rangkaian tersebut. Elemen penghantar yang terdapat dalam *fuse* tersebut akan meleleh dan memutus rangkaian listrik tersebut sebagai pengaman terhadap komponen-komponen lain dalam rangkaian listrik tersebut dari bahaya arus besar. Jika kita mendapati *fuse* yang telah terbakar atau putus elemennya, maka kita harus menggantinya dengan yang baru, akan tetapi yang perlu diketahui adalah penggantinya harus dengan kapasitas arus yang sama. Jika menggantinya dengan kapasitas arus yang lebih besar maka akan berakibat kerusakan pada rangkaian listrik tersebut, karena jika ada arus lebih dalam rangkaian tersebut, *fuse* tidak akan putus atau terbakar.



Gambar 2.28 Fuse

### 2.2.10.2 Thermal Overload

*Thermal overload* adalah alat pengaman rangkaian dari arus lebih yang diakibatkan beban yang terlalu besar dengan jalan memutuskan rangkaian ketika arus yang melebihi setting melewatinya. *Thermal overload* berfungsi untuk memproteksi rangkaian listrik dan komponen listrik dari kerusakan karena terjadinya beban lebih.



Gambar 2.29 Thermal Overload

*Thermal overload* memproteksi rangkaian pada ketiga fasanya (untuk rangkaian tiga fasa) baik yang menggunakan sistem bimetal maupun yang menggunakan sistem elektronik tanpa suplai terpisah (maksudnya thermal overload elektronik ini tidak membutuhkan sumber daya listrik secara khusus) dan mempunyai sensitifitas terhadap hilangnya fasa yang bekerja dengan sistem diferensial (tidak langsung trip pada kasus terjadinya hilang satu fasa), namun

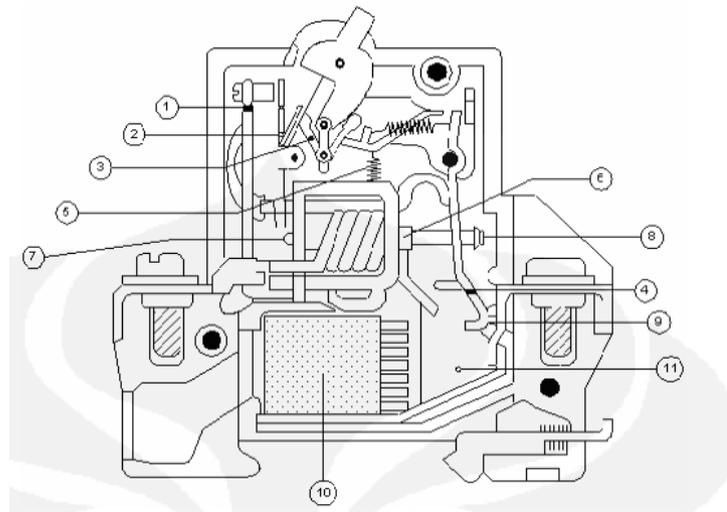
apabila dibutuhkan rangkaian untuk trip segera saat kehilangan satu fasa, maka perlu diperlukan tambahan alat proteksi lain.

*Thermal overload* ini bisa dipasangkan langsung dengan kontaktornya maupun terpisah sehingga sangat fleksibel untuk pemasangannya di dalam panel. Pemilihan jenis *thermal overload* ditentukan oleh rating/setting arus sesuai dengan arus nominal rangkaian pada beban penuh dan kelas trip-nya. Untuk pemakaian standar digunakan kelas trip 10 yaitu *thermal overload* akan trip pada 7,2 Ir dalam waktu 4 detik.

#### **2.2.10.3 Miniature Circuit Breaker (MCB)**

*Miniatur Circuit Breaker* (MCB) memiliki fungsi ganda sebagai pengaman dimana ia dapat mengamankan peralatan dan instalasi listrik terhadap arus lebih dengan bimetal dan juga terhadap hubung singkat dengan elektromagnetnya. MCB di desain dengan fungsi utama untuk :

- Mengamankan beban terhadap arus hubung singkat dan beban lebih.
- Membuka dan menutup rangkaian listrik.
- Pengaman terhadap kerusakan isolator.



Gambar 2.30 Bagian-bagian MCB

Keterangan gambar :

1. Batang Bimetal
2. Batang Penekan
3. Tuas Pemutus Kontak
4. Lengan Kontak yang bergerak
5. Pegas Penarik Kontak
6. Trip Koil
7. Batang Pendorong
8. Batang Penarik Kontak
9. Kontak Tetap
10. Kisi Pemadam Busur Api
11. Plat Penahan dan Penyalur Busur Api

MCB dapat dioperasikan atau beroperasi untuk memutuskan rangkaian listrik pada saat rangkaian tersebut berbeban maupun tidak berbeban. MCB memiliki media peredam bunga api yang timbul pada saat pemutusan rangkaian, terdapat dua jenis pemutusan rangkaian pada MCB yaitu :

a. Pemutusan Secara *Thermal*

Pemutusan ini terjadi pada saat terjadi gangguan arus lebih pada rangkaian secara terus-menerus. *Blade* (1) akan melengkung akibat pemanasan oleh arus lebih secara continue pada element bimetal ini. Bengkokan ini akan menggerakkan *Trip Lever* (2) sampai *Release Pawl* (3) berubah posisi sehingga *Moving Contact Arm* (4) membuka memutuskan rangkaian dengan bantuan *Release Spring* (5).

b. Pemutusan Secara Elektromagnetik

Ketika hubung singkat terjadi , maka akan mengakibatkan lonjakan arus secara tiba-tiba yang akan menghidupkan solenoid menarik *Plunger* (6). Pergerakan itu menyebabkan mekanisme MCB membuka secara tiba-tiba. *Push Road* (7) bekerja mendorong *Trip Lever* (2) , *Plunger Knob* (8) menarik *Moving Contact Arm* (4) sehingga terlepas dari *Fixed Contact* (11).