

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 AC

Motor AC merupakan jenis motor listrik yang bekerja menggunakan tegangan AC. Motor ini mempunyai 2 bagian utama yaitu stator dan rotor. Stator merupakan komponen statis, sedangkan rotor merupakan komponen yang berputar. Motor AC dapat dilengkapi dengan penggerak frekuensi variabel untuk mengendalikan kecepatan sekaligus menurunkan konsumsi dayanya.

Motor AC dibagi menjadi dua yaitu:

1. Motor Sinkron

Konstruksi motor sinkron sama dengan generator sinkron, perbedaannya yaitu jika generator menghasilkan listrik, sedangkan motor menghasilkan putaran dengan menggunakan listrik. Motor sinkron memiliki 2 komponen utama yaitu:

a. stator

Pada saat stator diberi aliran listrik untuk menghasilkan medan putar/*fluks*.

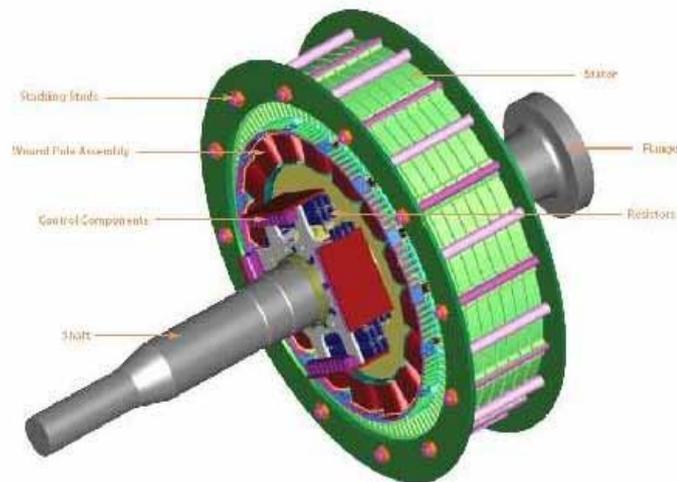
b. Rotor

Sikat pada rotor berfungsi untuk memasukkan listrik DC pada belitan penguat sehingga timbul kutub magnet pada rotor.

Prinsip kerja dari motor sinkron yaitu banyaknya putaran tiap menit dari kutub-kutub khayal disebut kecepatan sinkron. Pada rotor terdapat kutub-kutub nyata. Bila rotor berputar dengan kecepatan sama dengan medan putar, maka rotor dapat berputar terus mengikuti putaran kutub khayal.

Jadi motor serempak tidak dapat berputar sendiri. Disebabkan karena kutub-kutub rotor tidak dapat mengikuti kecepatan medan putar secara tiba-tiba pada saat

saklar motor terhubung dengan jala-jala listrik. Untuk konstruksi motor sinkron dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Kontruksi motor sinkron

(sumber : http://mariza_w.staff.gunadarma.ac.id/Downloads/files/51277/Motor+Listrik.pdf)

Rotor dan stator pada motor sinkron selalu mempunyai jumlah kutub sama dan seperti pada motor induksi maka jumlah dari kutub ini menentukan kecepatan dari motor sinkron yang hubungannya dapat dirumuskan dengan:

$$n_s = 120 \frac{f}{p} \quad (2.1)$$

Dimana:

N_s = Kecepatan Motor (r/min)

F = frekuensi sumber

P = jumlah kutub

Pada motor DC dan sinkron keduanya beraksi sebagai generator walau motor berputar. Hal ini disebabkan GGL induksi selalu dibangkitkan dengan adanya gerakan relative antara kumparan dan garis-garis gaya. Pada motor DC, GGI

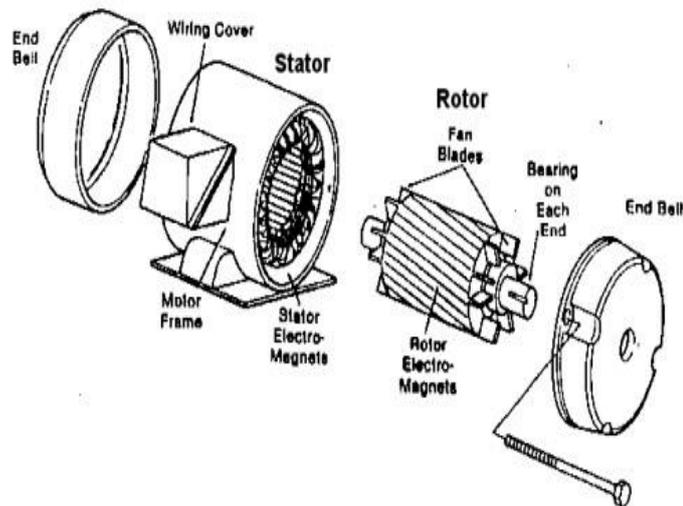
terbentuk pada bagian rotor sedangkan sinkron pada bagian stator saat bekerja.

Berikut ini beberapa sifat motor sinkron.

- a. Pada pembebanan yang berubah-ubah kecepatan motor selalu tatap sesuai dengan rumus.
- b. GGL induksi pada motor sinkron tergantung pada besarnya arus penguat magnet pada rotor. Besarnya GGL kemungkinan sama, lebih kecil atau lebih besar dibandingkan sumber.
- c. Arus jangkar ketinggalan 90 derajat terhadap tegangan total antara tegangan sumber dan GGL induksi. Karena kumparan stator nilai reaktansi induktifnya sangat kecil. Tahanan murninya relatif sangat kecil dibandingkan dengan reaktansi induktifnya.
- d. Keuntungan dari motor sinkron yaitu motor sinkron (tanpa beban atau dengan beban konstan) yang diberi penguat akan berfungsi sebagai kapasitor dan mempunyai kemampuan untuk memperbaiki $\cos \varphi$.

2. Motor Induksi

Motor induksi merupakan motor yang paling umum digunakan pada berbagai peralatan industri. Karena rancangan yang sederhana, murah dan mudah didapat, serta dapat langsung disambungkan ke sumber daya AC. Motor induksi adalah jenis motor dimana tidak ada tegangan eksternal yang diberikan pada rotornya, tetapi arus pada stator menginduksikan tegangan pada celah udara dan pada lilitan rotor untuk menghasilkan arus rotor dan medan magnet. Kemudian medan magnet rotor dan stator saling berinteraksi dan menyebabkan rotor berputar. Gambar motor induksi dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Motor induksi

(sumber:http://mariza_w.staff.gunadarma.ac.id/Downloads/files/51277/Motor+Listrik.pdf)

Motor induksi dapat di bagi menjadi dua yaitu:

a. Motor induksi satu fasa.

Motor ini hanya memiliki satu gulungan stator, beroperasi dengan pasokan daya satu fasa, memiliki sebuah motor sangkar tupai, dan memerlukan sebuah alat untuk menghidupkan motornya. Sejauh ini motor ini merupakan jenis motor yang paling umum digunakan dalam peralatan rumah tangga, seperti kipas angin, mesin cuci dan pengering pakaian, dan untuk penggunaan hingga 3 sampai 4 HP.

b. Motor induksi 3 fasa

Medan magnet yang berputar dihasilkan oleh pasokan tiga fasa yang seimbang. Motor tersebut memiliki kemampuan daya yang tinggi, dapat berupa sangkar tupai atau gulungan rotor (walaupun 90% memiliki rotor sangkar tupai), dan penyalaan sendiri. Diperkirakan bahwa sekitar 70% motor di industri menggunakan jenis ini. Sebagai contoh pompa, kompresor, *belt conveyor*, jaringan listrik, dan *grinder*. Tersedia dalam ukuran 1/3 atau ratusan HP.

Motor induksi tiga fasa membuat medan putar yang dapat menstart motor, motor satu fasa memerlukan alat pembantu starting. Pada saat motor induksi satu fasa berputar, motor membangkitkan medan magnet putar. Motor induksi satu fasa lebih besar ukurannya untuk HP yang sama dibandingkan dengan motor tiga fasa, motor satu fasa mengalami pembatasan pemakaian dimana daya tiga fasa tidak ada. Apabila berputar, torsi yang dihasilkan oleh motor satu fasa adalah berpulsa dan tidak teratur, yang mengakibatkan faktor daya dan efisiensi yang rendah dibandingkan dengan motor banyak fasa.

Motor induksi bekerja sebagai berikut. Listrik dipasok ke stator yang akan menghasilkan medan magnet. Medan magnet ini bergerak dengan kecepatan sinkron disekitar rotor. Arus rotor menghasilkan medan magnet kedua, yang berusaha untuk melawan medan magnet stator, yang menyebabkan rotor berputar. Walaupun begitu, didalam prakteknya motor tidak pernah bekerja pada kecepatan sinkron namun pada kecepatan dasar yang lebih rendah. Terjadinya perbedaan antara dua kecepatan tersebut disebabkan adanya “*slip*/geseran” yang meningkat dengan meningkatnya beban. *Slip* hanya terjadi pada motor induksi. Untuk menghindari slip dapat dipasang sebuah cincin geser/ *slip ring*, dan motor tersebut dinamakan “motor cincin geser/ *slip ring motor*”. Persamaan berikut dapat digunakan untuk menghitung persentase *slip*/geseran.

$$\% \text{ slip} = \frac{N_s - N_b}{N_s} \times 100 \quad (2.2)$$

Dimana:

N_s = kecepatan sinkron dalam RPM

N_b = kecepatan dasar dalam RPM

Prinsip kerja motor induksi sebagai berikut:

a. Apabila sumber tegangan tegangan 3 fasa dipasang pada kumparan stator, maka akan timbul medan putar dengan kecepatan $n_s = \frac{120f}{P}$.

b. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor.

c. Akibatnya pada kumparan motor timbul GGL induksi sebesar

$$E_{2s} = 4,44 f_2 N_2 \quad (\text{untuk satu fasa})$$

dimana E_{2s} adalah tegangan induksi pada saat rotor berputar.

d. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup, ggl (E) akan menghasilkan arus (I).

e. Adanya arus (I) di dalam medan magnet menimbulkan gaya (F) pada rotor.

f. Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.

g. Seperti telah dijelaskan pada (3) 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).

h. Perbedaan kecepatan antara n_r dan n_s disebut *slip* (S) dinyatakan dengan:

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \quad (2.3)$$

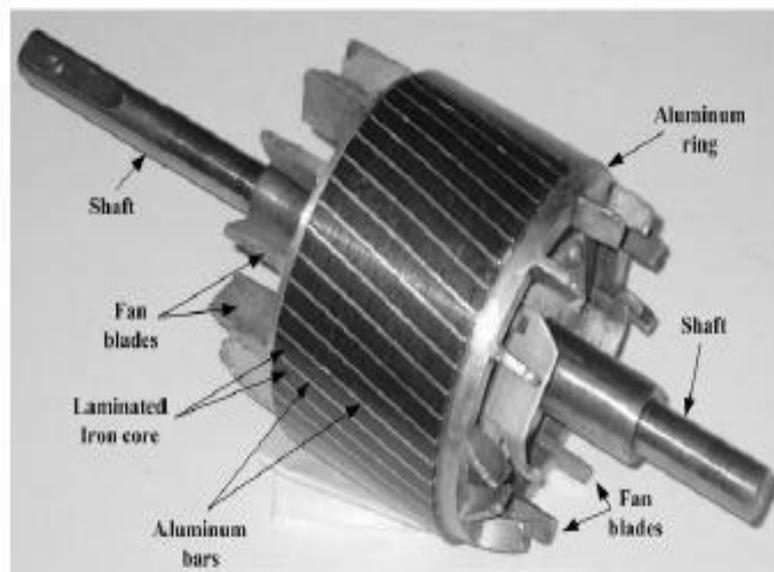
i. Bila $n_r = n_s$, tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak akan mengalir pada kumparan jangkar rotor, dengan demikian tidak dihasilkan kopel. Kopel motor akan ditimbulkan apabila n_r lebih kecil dari n_s .

2.2.2 Jenis Motor Induksi 3 Phasa dari Segi Rotor

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

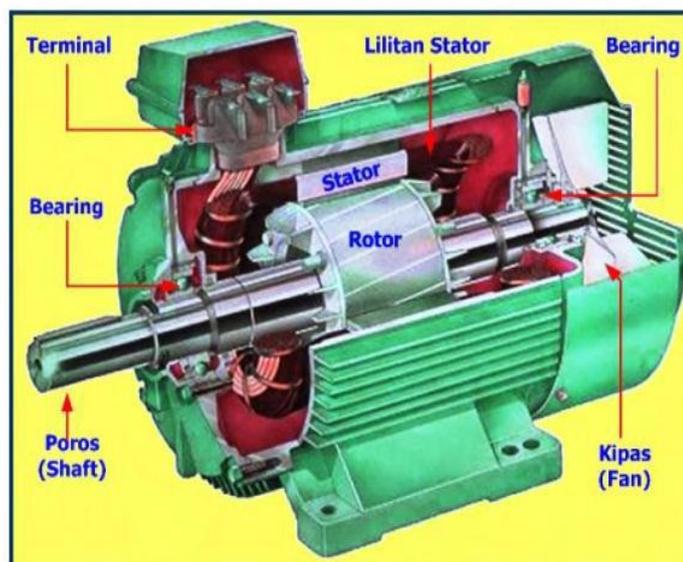
2.2.2.1 Motor Induksi 3 Phasa Rotor Sangkar Tupai

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 dipabruckasi. Lilitan-lilitan kumparan stator diletakan dalam alur stator terpisah dengan 120° listrik. Lilitan phasa ini dapat tersambung dalam hubungan delta (Δ) ataupun bintang (Y). Seperti pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Bagian-bagian Rotor Tupai

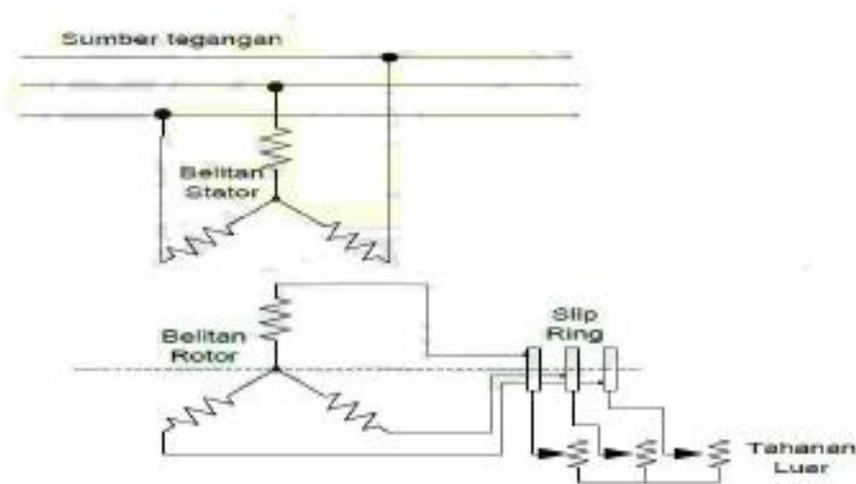
Batang rotor dan cincin ujung motor sangkar tupai lebih kecil adalah coran tembaga atau aluminium dalam satu lempeng pada inti rotor. Dalam rotor yang lebih besar, batang rotor tidak dicor melainkan dibenamkan ke dalam alur rotor kemudian dilas dengan kuat pada cincin ujung. Batang rotor motor sangkar 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 2.4.



Gambar 2.4 Konstruksi Motor Induksi Rotor Sangkar

2.2.2.2 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 dikeluarkan ke cincin slip yang terpasang pada poros rotor. Secara skematik akan disajikan pada gambar 2.5.



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.

2.2.3 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 mm²/m dengan tegangan tarik putus kurang dari 41 kg/mm². sedangkan penghantar tembaga keras (BCCH = *Bare Copper Conductor Hard*), kekuatan tegangan tariknya 41 kg/mm². 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 mm². 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 mm² – 500 mm².
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 mm² - 400 mm².
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 mm²; NYAF 2,5 mm² 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 2x2,5 mm², NYY 2x2,5mm².
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 3x2,5 mm², NYY 3x2,5 mm².
4. Penghantar *quadruplex* kabel dengan empat penghantar untuk mengalirkan arus 3 fasa dan netral atau 3 fasa dan pentanahan. Contoh penghantar quadruplex misalnya NYM 4x2,5 mm², NYMHY 4x2,5mm² dan sebagainya.

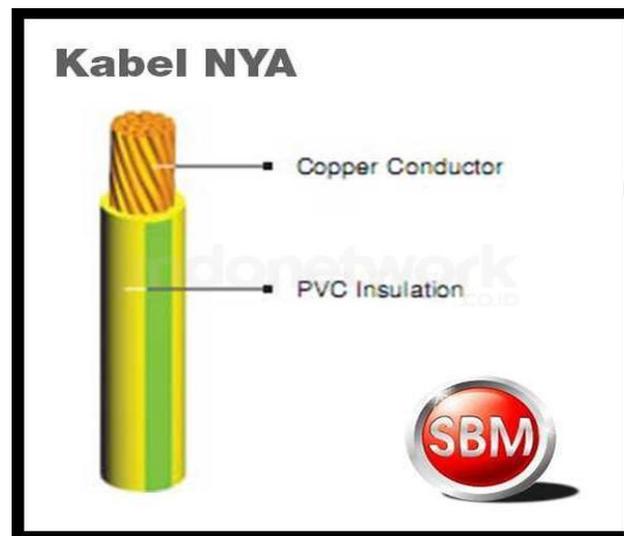
2.2.3.1 Jenis Kabel

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 2000. 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. Biasanya digunakan untuk instalasi rumah dan system tenaga. Maksud dari NYA yaitu kabel jenis standart dengan penghantar tembaga , isolator PVS dan kawat berisolasi. Gambar 2.6 merupakan contoh kabel NYA.



Gambar 2.6 kabel NYA

(sumber : <http://www.indonetwork.co.id/product/harga-kabel-nya-120mm-rp-166500-4494704>)

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. Biasanya digunakan untuk instalasi listrik rumah atau gedung dan system tenaga. Maksud dari NYM yaitu kabel jenis standart dengan penghantar tembaga, isolatro PVC dan berselubung PVC. Gambar 2.7 contoh dari kabel NYM.



Gambar 2.7 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. Kabel ini cocok digunakan untuk tempat yang mempunyai belokan-belokan tajam. Digunakan pada lingkungan yang kering dan tidak dalam kondisi yang lembab/basah atau terkena pengaruh cuaca secara langsung. Dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Kabel NYAF

(sumber : <http://mapelotomotif.blogspot.co.id/2015/10/jenis-jenis-kabel-dan-penggunaannya.html>)

4. Kabel NYY

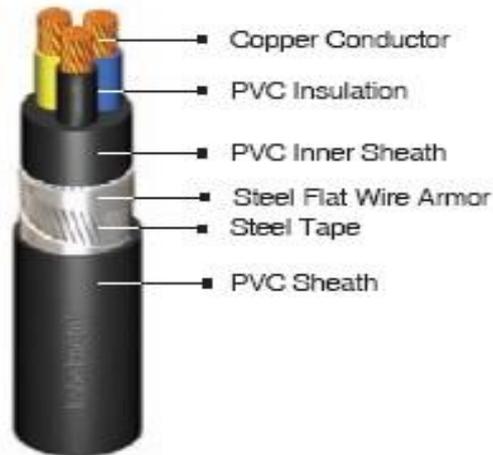
Kabel NYY memiliki lapisan isolasi PVC (biasanya berwarna hitam), ada yang berinti 2, 3 atau 4. Kabel NYY dipergunakan untuk instalasi tertanam (kabel tanah), dan memiliki lapisan isolasi yang lebih kuat dari kabel NYM (harganya lebih mahal dari NYM). Kabel NYY memiliki isolasi yang terbuat dari bahan yang tidak disukai tikus. Instalasi bisa ditempatkan didalam dan diluar ruangan, dalam kondisi lembab ataupun kering. Gambar 2.9 merupakan contoh kabel NYY.



Gambar 2.9 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 2.10 contoh kabel NYFGbY.



Gambar 2.10 Kabel NYFGby

(sumber : <http://wimasfimkusuma.blogspot.co.id/2013/01/jenis-jenis-kabel-listrik.html>)

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 2.11.



Gambar 2.11 Kabel ACSR

(sumber : <http://skemaku.com/mari-mengenal-jenis-jenis-kabel-listrik-beserta-kegunaannya/>)

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 2.12.



Gambar 2.12 Kabel AAAC

<http://wimasfinkusuma.blogspot.co.id/2013/01/jenis-jenis-kabel-listrik.html>

2.2.3.2 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 phase

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

- a. Kabel phase (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 phase ke netral sebesar 220 Vac.

2. Instalasi listrik tiga phase

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

- a. Kabel phase R (berwarna merah)
- b. Kabel phase S (berwarna kuning)
- c. Kabel phase 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)

$$KHA = 125\% \times I_n \quad (2.4)$$

Dimana: I = Arus Nominal Beban Penuh (A)

P = Daya Aktif (W)

V = Tegangan (V)

$\cos \phi$ = 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. Tegangan jatuh merupakan kerugian pada penghantar karena dapat menurunkan tegangan pada beban.

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.

2.2.4 *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 peralatann lain. Sehingga dengan adanya *circuit breaker* ini diharapkan dapat menyelamatkan/mengetahui apabila peralatan yang dipasang *circuit breaker* mnegalami kerusakan ataupun masalah seketika.

2.2.4.1 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 pararel 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

2.2.4.2 Klasifikasi CB

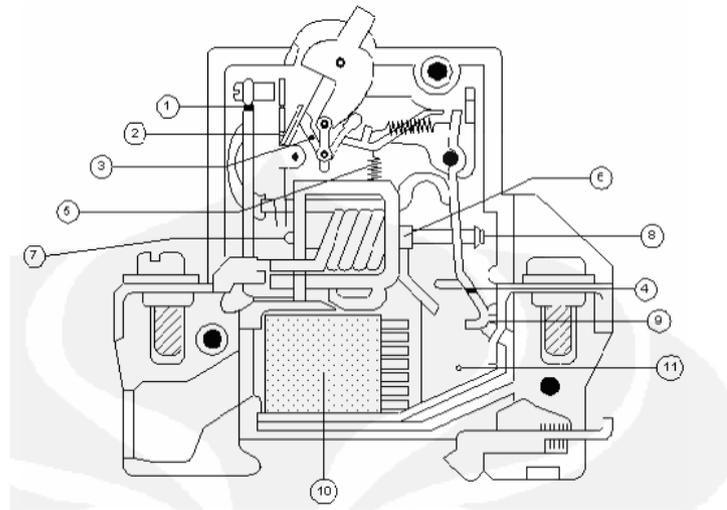
Circuit Breaker dapat dibagi atas beberapa jenis, yaitu :

2.2.4.2.1 MCB (*Miniatur Circuit Breaker*)

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 :

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

Bagian-bagian dari MCB dapat dilihat pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 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 :

- 1) 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. Bungkukan 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).

- 2) 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).

Pada MCB terdapat tiga tipe yaitu :

a) MCB tipe B

MCB Tipe B adalah tipe MCB yang akan trip jika arus beban lebih besar 3 sampai 5 kali dari arus maksimum yang tertulis pada MCB (arus nominal MCB). MCB Tipe B ini umumnya digunakan pada instalasi listrik di perumahan ataupun di industri ringan.

b) MCB tipe C

MCB Tipe C adalah tipe MCB yang akan trip jika arus beban lebih besar 5 sampai 10 kali dari arus maksimum yang tertulis pada MCB (arus nominal MCB). MCB Tipe C ini biasanya digunakan pada Industri yang memerlukan arus yang lebih tinggi seperti pada lampu penerangan gedung dan motor-motor kecil.

c) MCB tipe D

MCB Tipe D adalah tipe MCB yang akan trip jika arus beban lebih besar dari 10 hingga 25 kali dari arus maksimum yang tertulis pada MCB (arus nominal MCB). MCB Tipe D ini biasanya digunakan pada peralatan listrik yang menghasilkan lonjakan arus tinggi seperti Mesin Sinar X (*X-Ray*), Mesin Las, Motor-motor Besar dan Mesin-mesin produksi lainnya.

Arus Nominal MCB yang umum adalah 6A, 10A, 13A, 16A, 20A, 25A, 32A, 40A, 50A, 63A, 80A, 100A dan 125A.

Keuntungan menggunakan MCB yaitu :

1. Dapat memutuskan rangkaian tiga fasa walaupun terjadi hunung singkat pada salah satu fasanya.
2. Dapat digunakan kembali setelah rangkaian diperbaiki akibat hunung singkat atau beban lebih.
3. Mempunyai respon baik apabila terjadi hubung singkat atau beban lebih.

2.2.4.2.2 MCCB (*Mold Case Circuit Breaker*)

MCCB merupakan salah satu alat pengaman yang dalam proses operasinya mempunyai dua fungsi yaitu sebagai pengaman dan sebagai alat untuk penghubung. Jika dilihat dari segi pengaman, maka MCCB dapat berfungsi sebagai pengaman gangguan arus hubung singkat dan arus beban lebih. Pada jenis tertentu pengaman ini, mempunyai kemampuan pemutusan yang dapat diatur sesuai dengan yang diinginkan. Biasanya digunakan pada arus diatas 100 A. Gambar MCCB terdapat pada gambar 2.14

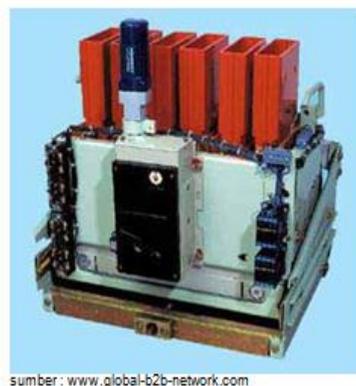


Gambar 2.14 MCCB

(Sumber : www.a-electric.net)

2.2.4.2.3 ACB (*Air Circuit Breaker*)

ACB (*Air Circuit Breaker*) merupakan jenis circuit breaker dengan sarana pemadam busur api berupa udara. ACB dapat digunakan pada tegangan rendah dan tegangan menengah. Udara pada tekanan ruang atmosfer digunakan sebagai peredam busur api yang timbul akibat proses switching maupun gangguan. Pengoperasian pada bagian mekanik ACB dapat dilakukan dengan bantuan solenoid motor ataupun *pneumatic*. Perlengkapan lain yang sering diintegrasikan dalam ACB yaitu OCR (*Over Current Relay*) dan UVR (*Under Voltage Relay*). Gambar ACB terdapat pada gambar 2.15.



sumber: www.global-b2b-network.com

- x **LV-ACB:**
 $U_e = 250V$ dan $660V$
 $I_e = 800A-6300A$
 $I_{cn} = 45kA-170kA$
- x **LV-ACB:**
 $U_e = 7,2kV$ dan $24kV$
 $I_e = 800A-7000A$
 $I_{cn} = 12,5kA-72kA$

Gambar 2.15 ACB

2.2.4.2.4 OCB (*Oil Circuit Breaker*)

Gas yang terbentuk dari uap minyak mempunyai sifat *thermal conductivity* yang baik dengan tegangan ionisasi tinggi sehingga baik sekali bila digunakan sebagai bahan media pemadam loncatan bunga api.

Oil Circuit Breaker adalah jenis CB yang menggunakan minyak sebagai sarana pemadam busur api yang timbul saat terjadi gangguan. Bila terjadi busur api dalam minyak, maka minyak yang dekat busur api akan berubah menjadi uap minyak dan

busur api akan dikelilingi oleh gelembung-gelembung uap minyak dan gas.

Gambar 2.16 merupakan OCB.



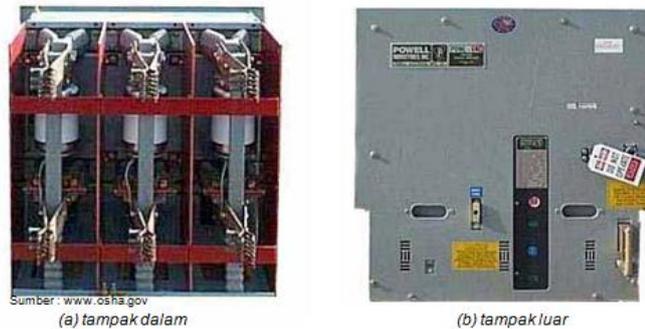
Gambar 2.16 OCB

2.2.4.2.5 VCB (*Vacuum Circuit Breaker*)

Vacuum circuit breaker memiliki ruang hampa udara untuk memadamkan busur api, pada saat circuit breaker terbuka (open), sehingga dapat mengisolir hubungan setelah bunga api terjadi, akibat gangguan atau sengaja dilepas. Salah satu tipe dari circuit breaker adalah *recloser*. *Recloser* hampa udara dibuat untuk memutus dan menyambung kembali arus bolak-balik pada rangkaian secara otomatis. Pada saat melakukan pengesetan besaran waktu sebelumnya atau pada saat recloser dalam keadaan terputus yang kesekian kalinya, maka recloser akan terkunci (lock out), sehingga recloser harus dikembalikan pada posisi semula secara manual.

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. Untuk tegangan yang lebih tinggi pemutus ini dapat di pasang seri. Pemutus tenaga vacuum ini biasanya banyak di gunakan pada sistem bawah tanah ACR (*Automatic Circuit Recloser*).



2.17 Gambar VCB

2.2.4.2.6 SF6CB (*Sulfur Circuit Breaker*)

SF6 CB adalah pemutus rangkaian yang menggunakan gas SF6 sebagai sarana pemadam busur api. Gas SF6 merupakan gas berat yang mempunyai sifat dielektrik dan sifat memadamkan busur api yang baik sekali. Prinsip pemadaman busur apinya adalah Gas SF6 ditiupkan sepanjang busur api, gas ini akan mengambil panas dari busur api tersebut dan akhirnya padam. Rating tegangan CB adalah antara 3.6 KV – 760 KV. Gambar 2.18 merupakan gambar SF6CB.



Gambar 2.18 SF6CB