

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Gardu Distribusi

Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen, seperti dijelaskan pada artikel sebelumnya di sini.

Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah:

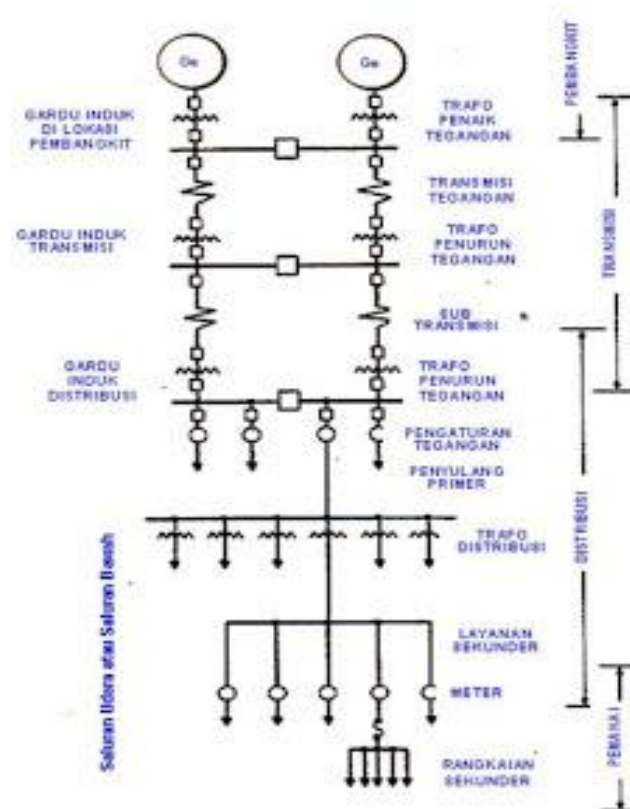
1. Pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan).
2. Merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi.

Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24kV dinaikan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV ,154kV, 220kV atau 500kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ($I^2 R$). Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula.

Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380 Volt. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen. Dengan ini jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan.

Pada sistem penyaluran daya jarak jauh, selalu digunakan tegangan setinggi mungkin, dengan menggunakan trafo-trafo step-up. Nilai tegangan yang sangat tinggi ini (HV,UHV,EHV) menimbulkan beberapa konsekuensi antara lain: berbahaya bagi lingkungan dan mahal nya harga perlengkapan-perlengkapannya, selain menjadi tidak cocok dengan nilai tegangan yang dibutuhkan pada sisi beban. Maka, pada daerah-daerah pusat beban tegangan saluran yang tinggi ini diturunkan kembali dengan menggunakan trafo-trafo step-down. Akibatnya, bila ditinjau nilai tegangannya, maka mulai dari titik sumber hingga di titik beban, terdapat bagian-bagian saluran yang memiliki nilai tegangan berbeda-beda.

Pengelompokan Jaringan Distribusi Tenaga Listrik



Gambar 2.1 Konfigurasi Sistem Tenaga Listrik

Untuk kemudahan dan penyederhanaan, lalu diadakan pembagian serta pembatasan-pembatasan seperti pada Gambar diatas:

Daerah I : Bagian pembangkitan (Generation)

Daerah II : Bagian penyaluran (Transmission) , bertegangan tinggi

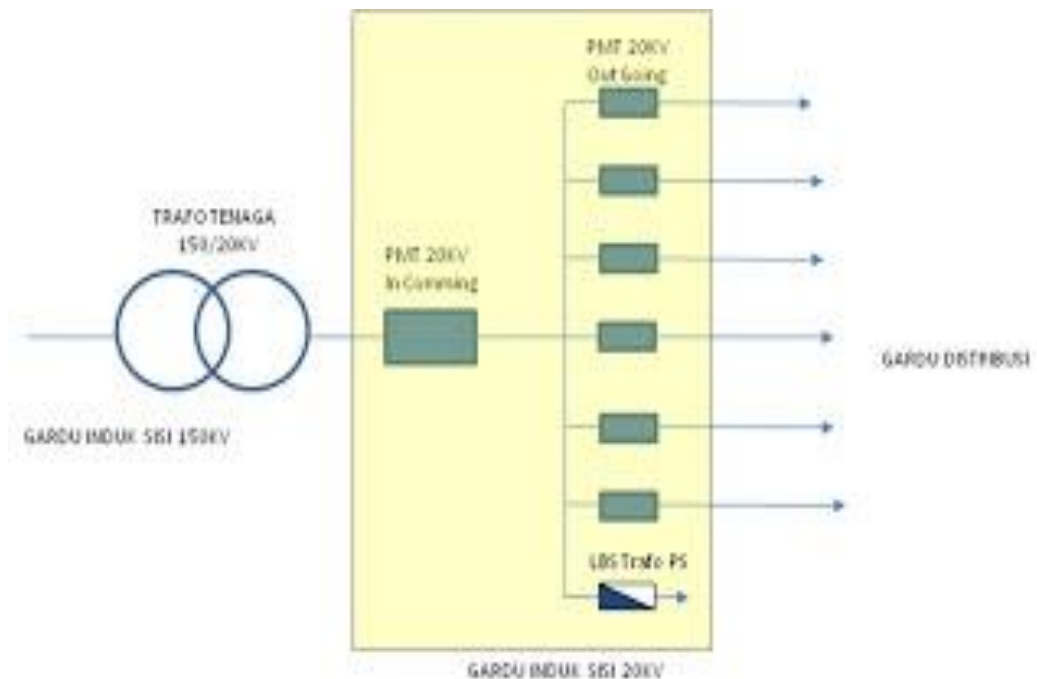
(HV,UHV,EHV)

Daerah III : Bagian Distribusi Primer, bertegangan menengah (6 atau 20kV).

Daerah IV : (Di dalam bangunan pada beban/konsumen), Instalasi, bertegangan rendah.

2.2. GARDU INDUK SISI 20 kV

Gardu Induk sisi 20 kV merupakan instalasi system penyaluran tenaga listrik dengan tegangan menengah (20.000 Volt) ke pusat - pusat beban. Di dalamnya terdapat cubicle/panel bagi yaitu panel In coming, Out going, Kopel, Panel Pengukuran dan panel Trafo Pemakaian Sendiri. Panel In coming disuplay dari out put Trafo Tenaga (sisi Sekunder) yang berfungsi mentransformasikan tegangan tinggi menjadi tegangan menengah. Panel In Coming merupakan Induk dari Out Going. Panel Kopel berfungsi untuk memaralel/menghubungkan dua sumber atau trafo yang berbeda. Panel Out Going yang berfungsi menghubungkan dan memutus sumber ke gardu distribusi/pelanggan. Panel pengukuran berfungsi untuk mengukur energi listrik yang berisi peralatan ukur serta suplay trafo tegangan (VT). Panel Trafo Pemakaian Sendiri (PS) biasanya menggunakan LBS/Load Breaker Swicth yang berfungsi untuk menghubungkan dan memutus sumber Trafo PS.



Gambar 2.2 Wilayah Gardu Induk Sisi 20kV

1. Type Cell Gardu Induk sisi 20 kV

a. Open type/konvensional

Cel kubikel terbuka, konstruksi busbar rel terlihat dan biasa terpasang di atas. Menggunakan sekat tembok sebagai pembatas cel yang satu dengan cel lainnya. Cel kubikel terbuka memungkinkan binatang masuk sehingga menyebabkan gangguan yang mengganggu system.

b. Close type

Cel kubikel tertutup plat panel, busbar rel tidak terlihat dan pemasangannya ada yang di atas dan ada yang dibawah. Sekat plat sebagai pembatas cel yang satu dengan cel lainnya. Karena semuanya tertutup sehingga binatang tidak bisa masuk dalam cel kubikel sehingga aman. Namun tidak menutup kemungkinan binatang dapat masuk dalam cel bila lalai menutup lobang lobang cable in door.

2.3. Sistem Proteksi

Proteksi sistem tenaga listrik adalah sistem proteksi yang dipasang pada peralatan-peralatan listrik suatu sistem tenaga listrik, misalnya generator, transformator, jaringan dan lain-lain, terhadap kondisi abnormal operasi sistem itu sendiri. Kondisi abnormal itu dapat berupa antara lain: hubung singkat, tegangan lebih, beban lebih, frekuensi sistem rendah, asinkron dan lain-lain.

2.4 Kubikel

Kubikel ialah suatu perlengkapan atau peralatan listrik yang berfungsi sebagai pengendali, penghubung dan pelindung serta membagi tenaga listrik dari sumber tenaga listrik, Kubikel istilah umum yang mencakup peralatan switching dan kombinasinya dengan peralatan kontrol, pengukuran, proteksi dan peralatan pengatur. Peralatan tersebut dirakit dan saling terkait dengan perlengkapan, selungkup dan penyangga. Sesuai IEC 298 : 1990 didespesifikasikan sebagai perlengkapan hubung bagi dan kontrol berselungkup logam rakitan pabrik untuk arus bolak-balik dengan tegangan pengenalan diatas 1 kV sampai dengan dan termasuk 35 kV, untuk pasangan dalam dan pasangan luar dan untuk frekuensi sampai 50 Hz.



Gambar 2.3 Bentuk Kubikel

Fungsi Kubikel

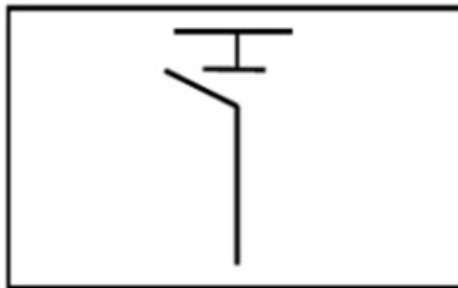
1. Mengendalikan sirkuit yang dilakukan oleh saklar utama.
2. Melindungi sirkuit yang dilakukan oleh fase/pelebur.
3. Membagi sirkuit dilakukan oleh pembagian jurusan/kelompok (busbar).

2.4.1. Jenis dan fungsi kubikel

Berdasarkan fungsi dan nama peralatan yang terpasang kubikel dibedakan menjadi beberapa jenis yaitu:

1. Kubikel PMS (pemisah)

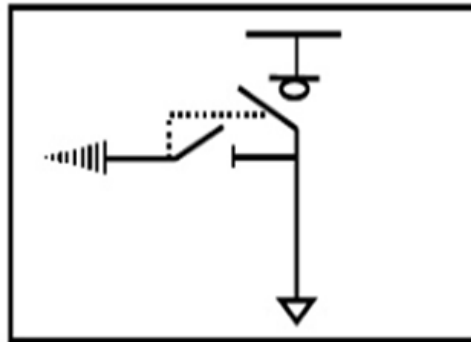
Berfungsi sebagai pemutus atau penghubung aliran listrik 20 kv kontak penghubung tidak dilengkapi alat peredam busur api sehingga posisi alat kontak (buka tutup) harus dilakukan Dalam keadaan tidak berbeda. Bisa terpasang pada sisi kabel incoming gardu distribusi.



Gambar 2.4 Simbol diagram kubikel PMS

2. Kubikel LBS (Load Breaker Switch)

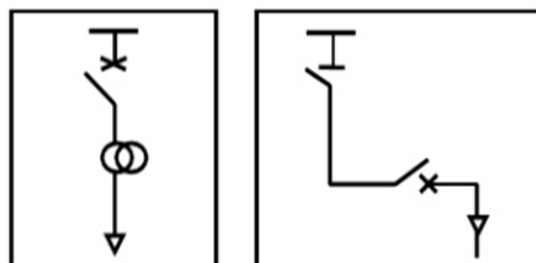
Berfungsi sebagai pemutus atau penghubung aliran listrik 20kv kontak penghubung dilengkapi Peredam busur api sehingga dapat dioperasikan dalam keadaan berbeda bisa terpasang pada Kabel incoming atau outgoing gardu distribusi atau gardu hubung Pada umumnya kubikel lbs dilengkapi dengan sakelar pentanahan yang didalam tabung lbs atau Terpisah diluar tabung yang bekerjanya interkoneksi dengan lbs.



Gambar 2.5 Simbol diagram kubikel LBS

3. Kubikel CB *Out metering* (PMT)

Berfungsi sebagai pemutus dan penghubung arus listrik dengan cepat dalam keadaan normal. Meskipun gangguan kubikel ini disebut juga istilah kubikel pmt (pemutus tenaga) kubikel ini dilengkapi dengan relay proteksi circuit breaker (pmt, cb) kubikel ini bisa di pasang sebagai alat pembatas pengukuran dan pengamanan pada pelanggan tegangan menengah current transformer yang terpasang memiliki double sekunder satu sisi untuk mensuplai arus ke alat ukur kwh dan satu sisi lagi untuk menggerakkan relay proteksi pada saat terjadi gangguan simbol diagram kubikel cb out metering.



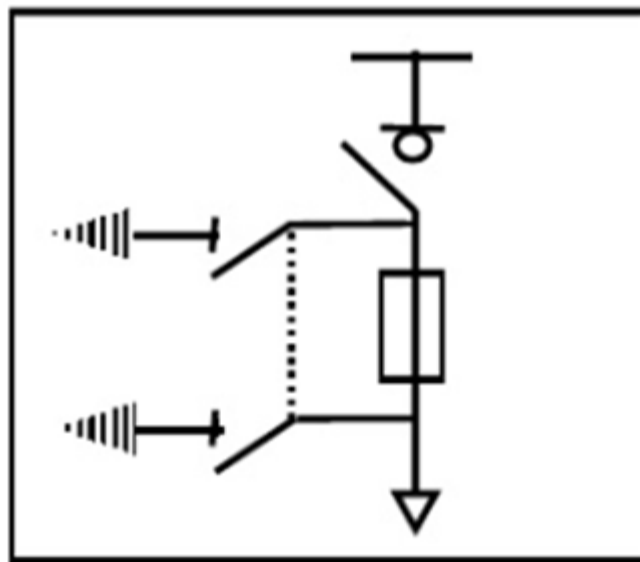
Gambar 2.6 Simbol diagram kubikel PMT

4. Kubikel TP (*Transformer Protection*)

Berfungsi sebagai alat pengamanan transformator distribusi, dikenal juga dengan istilah kubikel Pb (pemutus beban) kubikel ini berisi lbs dan fuse pengamanan trafo dengan ukiran beragam dari

25a, 32a, 43a tergantung kapasitas trafo yang akan diamankan
Ada dua jenis kubikeltp yaitu:

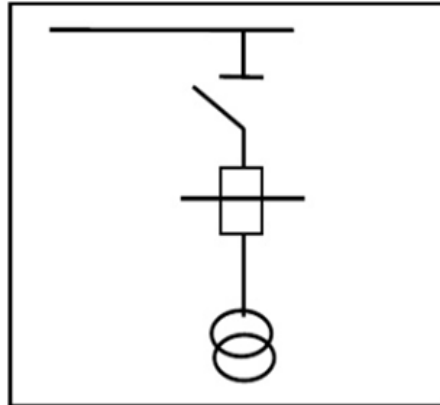
- a. Kubikel w dilengkapi shunt trip, jika fusetm putus ada pin pada fuse yang menggerakkan Mekanik untuk melepas LBS.
- b. Tidak dilengkapi shunt trip, jika fusetm putus lbs tidak membuka sehingga trafo masih Mendapat gangguan dari fuse lain yang tidak putus Simbol diagram kubikel TP.



Gambar 2.7 Simbol diagram kubikel TP (transformer protection)

5. Kubikel PT (*Potensial Transformer*)

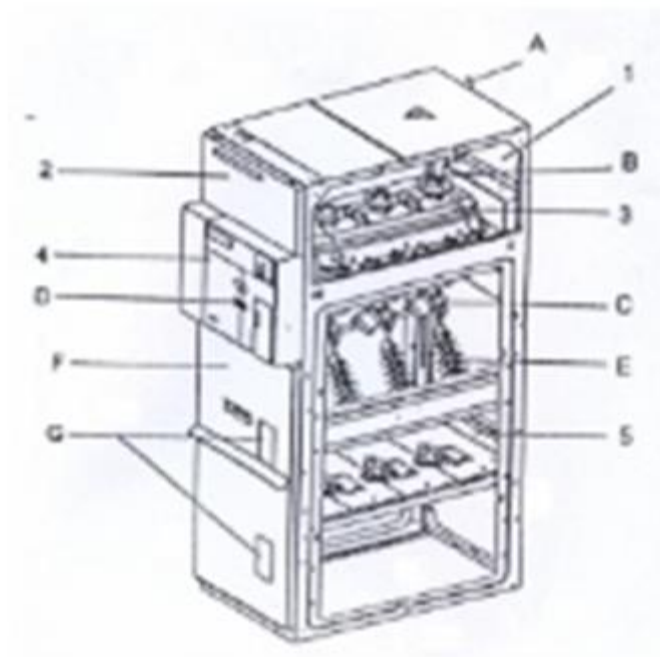
Berfungsi sebagai kubikel pengukuran, didalamkubikel ini terdapat pms dan transformator Tegangan yang menurunkan tegangan dari 20.000 volt menjadi 100 volt untuk mensuplai tegangan Pada alat ukur kwh kubikel ini kadang kala disebut juga dengan istilah kubikelvt (voltageTransformer). Handlekubikelpt harus selalu dalam keadaan masuk dan tersegel Untuk pengamanan trafo tegangan terhadap gangguan hubung singkat maka dipasanglah Tm Simbol diagram kubikel PT.



Gambar 2.8 Simbol diagram kubikel PT (*potensial transformer*)

2.5. Bagian-bagian Utama Kubikel dan Fungsinya

Kompartemen merupakan rumah dari terminal penghubung. LBS. PMT. PMS, FUSE. Trafo ukur. (CT, PT) peralatan mekanis dan instalasi tegangan rendah. Sehingga tidak membahayakan operator terhadap adanya sentuhan langsung ke bagian – bagian yang bertegangan berupa lemari kotak/terbuat pelat baja, terbagi menjadi 2 (dua) bagian. Bagian atas untuk busbar dan bagian bawah untuk penyambungan dengan terminasi kabel. Komponen bagian bawah, pada bagian depan berupa pintu yang dapat dibuka tetapi bisa dilakukan apabila tegangan sudah dibebaskan dan terminasi kabel sudah ditanahkan.



Gambar 2.9 Kompartemen Kubikel

Keterangan :

- a. Kompartemen busbar
- b. Kompartemen tegangan rendah
- c. Pemutus beban dan saklar pentanahan
- d. Kompartemen mekanik operasi
- e. Kompartemen kabel

2.6. Macam-macam Circuit Breaker (CB)

Circuit Breaker atau Sakelar Pemutus Tenaga (PMT) adalah suatu peralatan pemutus rangkaian listrik pada suatu sistem tenaga listrik, yang mampu untuk membuka dan menutup rangkaian listrik pada semua kondisi, termasuk arus hubung singkat, sesuai dengan ratingnya. Juga pada kondisi tegangan yang normal ataupun tidak normal. Adapun macam dari Circuit Breaker yaitu:

1. MCB (*Miniatur Circuit Breaker*)
2. MCCB (*Mold Case Circuit Breaker*)

3. ACB (*Air Circuit Breaker*)
4. OCB (*Oil Circuit Breaker*)
5. VCB (*Vacuum Circuit Breaker*)
6. SF6CB (*Sulfur Circuit Breaker*)

Dimana menjelaskan macam macam circuit breaker, yaitu:

1. MCB (*Miniatur Circuit Breaker*)

MCB adalah suatu rangkaian pengaman yang dilengkapi dengan komponen thermis (bimetal) untuk pengaman beban lebih dan juga dilengkapi relay elektromagnetik untuk pengaman hubung singkat.

MCB banyak digunakan untuk pengaman sirkit satu fasa dan tiga fasa. Keuntungan menggunakan MCB, yaitu :

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

Pada MCB terdapat dua jenis pengaman yaitu secara thermis dan elektromagnetis, pengaman termis berfungsi untuk mengamankan arus beban lebih sedangkan pengaman elektromagnetis berfungsi untuk mengamankan jika terjadi hubung singkat. Pengaman thermis pada MCB menggunakan memiliki prinsip yang sama dengan thermal overload yaitu dua buah logam yang digabungkan (bimetal), pengamanan secara thermis memiliki kelambatan, ini bergantung pada besarnya arus yang harus diamankan, sedangkan pengaman elektromagnetik menggunakan sebuah kumparan yang dapat menarik sebuah angker dari besi lunak

MCB dibuat hanya memiliki satu kutub untuk pengaman satu fasa, sedangkan untuk pengaman tiga fasa biasanya memiliki tiga kutub dengan tuas yang disatukan, sehingga apabila terjadi gangguan pada salah satu kutub maka kutub yang lainnya juga akan ikut terputus.

Berdasarkan penggunaan dan daerah kerjanya, MCB dapat digolongkan menjadi 5 jenis ciri yaitu :

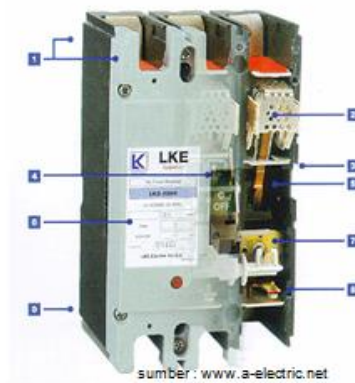
- 1) Tipe Z (*rating dan breaking capacity* kecil) Digunakan untuk pengaman rangkaian semikonduktor dan trafo-trafo yang sensitif terhadap tegangan.
- 2) Tipe K (*rating dan breaking capacity* kecil) Digunakan untuk mengamankan alat-alat rumah tangga.
- 3) Tipe G (*rating* besar) untuk pengaman motor.
- 4) Tipe L (*rating* besar) untuk pengaman kabel atau jaringan.
- 5) Tipe H untuk pengaman instalasi penerangan bangunan



Gambar 2.10 MCB (*Miniatur Circuit Breaker*)

2. MCCB (*Mold Case Circuit Breaker*)

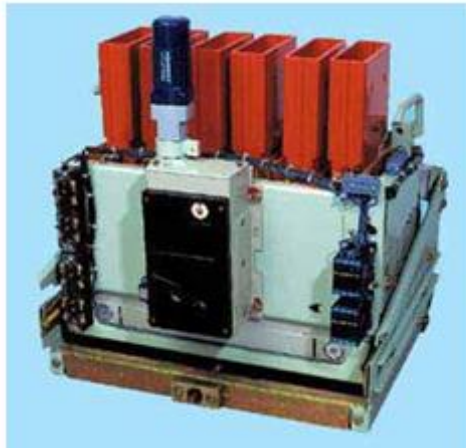
MCCB merupakan salah satu alat pengaman yang dalam proses operasinya mempunyai dua fungsi yaitu sebagai pengaman dan sebagai alat untuk penghubung. Jika dilihat dari segi pengaman, maka MCCB dapat berfungsi sebagai pengaman gangguan arus hubung singkat dan arus beban lebih. Pada jenis tertentu pengaman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



Gambar 2.11 MCCB (*Mold Case Circuit Breaker*)

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.



Gambar 2.12 ACB (*Air Circuit Breaker*)

4. OCB (*Oil Circuit Breaker*)

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.

Gas yang terbentuk tersebut mempunyai sifat thermal conductivity yang baik dengan tegangan ionisasi tinggi sehingga baik sekali digunakan sebagai bahan media pemadam loncatan busur api.



Gambar 2.13 OCB (*Oil Circuit Breaker*)

5. *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 busur api terjadi, akibat gangguan atau sengaja dilepas. Salah satu tipe dari circuit breaker adalah recloser. Recloser hampa udara dibuat untuk memutuskan 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.



Gambar 2.14 VCB (Vacuum Circuit Breaker)

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.



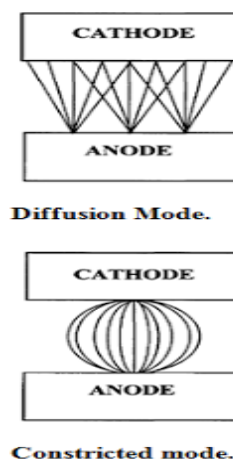
Gambar 2.15 SF6CB (SF6 Circuit Breaker)

2.7. Vacuum Circuit Breaker

American National Standards Association (ANSI) C37.100 [1] mendefinisikan *Circuit breaker* sebagai peralatan pensaklaran adalah peralatan mekanik yang mampu menghantarkan dan memutus aliran arus listrik pada kondisi normal juga pada kondisi abnormal (mis : gangguan hubung singkat). Pada umumnya vacuum circuit breaker digunakan untuk aplikasi indoor dan outdoor pada range tegangan antara 5kV hingga 38kV. Jika kontak pemutus *vacuum circuit breaker* 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.

1. Pemutusan arus pada *vacuum circuit breaker*

Pemutusan arus oleh vacuum circuit breaker, layaknya circuit breaker lainnya dilakukan dengan cara memisahkan pasangan kontak di dalam circuit breaker. Pada waktu terjadi pemutusan aliran listrik dengan proses terpisahnya pasangan kontak, pada saat itu juga timbul diffusion bunga api di antara kedua kontak CB. Bunga api ini disebut sebagai diffusion mode, dimana bentuk sebaran bunga api dapat digambarkan seperti gambar di bawah.

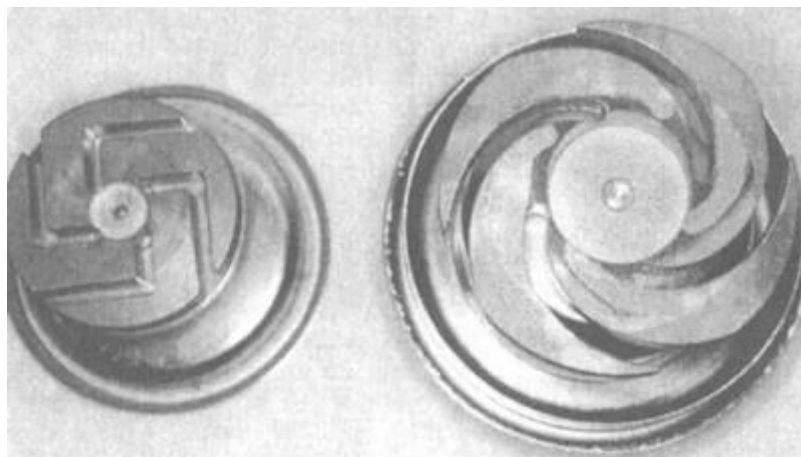


Gambar 2.16 Anoda Katoda

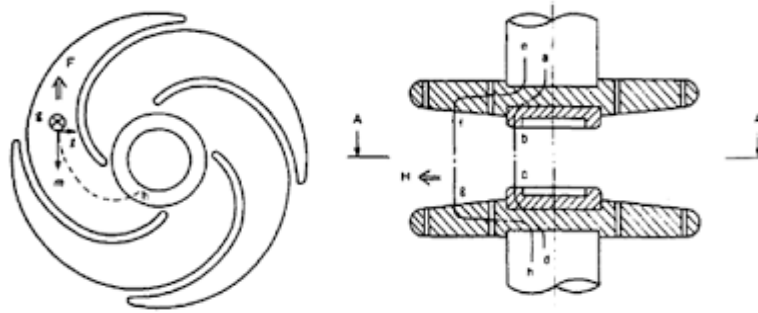
Besar arus yang mengalir pada titik katoda tergantung kepada material kontak yang digunakan. Dan untuk material tembaga, besar arusnya kira – kira 100 Ampere per titik. Bunga api akan tetap terjadi pada diffuse column mode hingga besar arus mencapai kira – kira 15 KA. Seiring meningkatnya besar arus pada satu - satu titik anoda, maka pada anoda akan muncul uap dari metal sebagai akibat naiknya temperatur pada anoda. Pada waktu pemutusan normal aliran listrik arus bolak - balik, bunga api akan terdistribusi namun dengan cepat akan menghilang seiring berkurangnya besar arus, selama proses ini bunga api akan mengalami proses transisi dari diffusion mode ke constricted mode dan kembali lagi ke diffusion mode sebelum besar arus benar – benar nol. Tujuan kita mengetahui hal di atas adalah untuk memungkinkan kita meminimalkan besar temperatur yang timbul pada kontak dan memaksimalkan durasi bunga api yang terdistribusi selama setengah siklus. Tujuan ini dapat kita capai dengan mendesain kontak untuk mengatur interaksi antara aliran arus dengan medan magnet yang timbul. Bergantung terhadap metode yang digunakan, medan magnet dapat timbul dengan arah melintang atau arah aksial terhadap bunga api yang terjadi.

2. Arah magnet yang melintang

Untuk menghasilkan arah medan yang melintang, kontak dapat disesain dengan bentuk spiral seperti pada gambar di bawah.



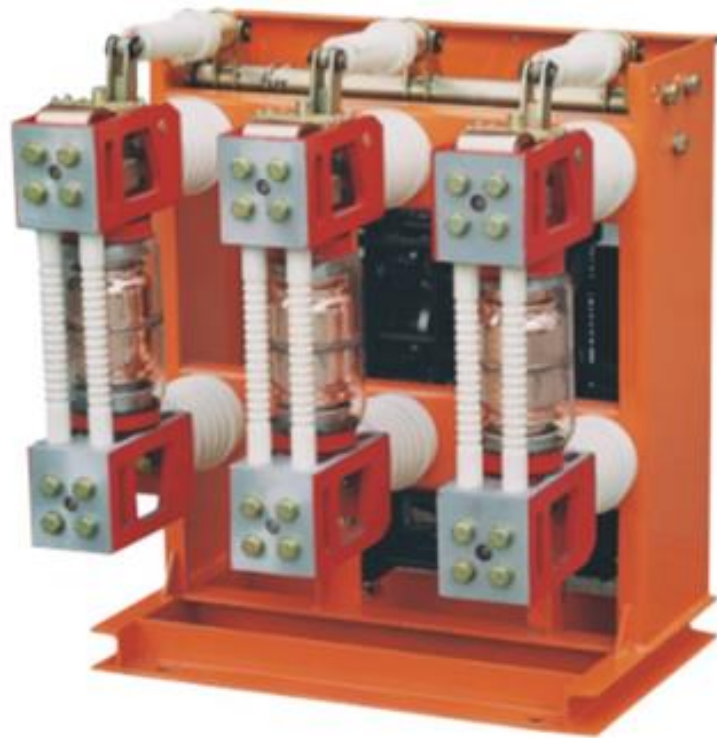
Gambar 2.16 Dua type kontak spiral yang dipakai pada pemutus vacuum.



Gambar 2.17 Gaya magnet yang timbul pada medan magnet melintang.

Seiring timbulnya gaya magnet dengan arah yang berputar sebagai akibat arah medan magnet yang melintang maka bunga api juga akan ikut berputar, hal ini akan mempercepat hilangnya bunga api yang juga akan memperkecil temperatur dan emisi uap metal pada elektroda. Arah medan magnet aksial

Medan magnet aksial akan memperkecil besar tegangan dan membatasi besar daya pada bunga api yang terjadi di antara kontak pemutus. Medan magnet aksial berperan dalam timbulnya bunga api terdistribusi pada level arus yang tinggi. Dengan cara ini, bunga api akan tersebar merata pada permukaan kontak pemutus dan sebagai hasilnya, akan mencegah gross melting pada kontak. Dengan menggunakan medan magnet aksial, maka dampak yang dihasilkan oleh timbulnya bunga api pada waktu pemutusan aliran listrik dapat dibatasi.



Gambar 2.18 Konstruksi Vacum Circuit Breaker

Pemutus *vacuum* didesain dengan dua metode, perbedaannya kedua metodenya terdapat pada prosedur yang digunakan untuk mengelas dan mengangkat pemutus. Pada metode pertama dikenal dengan *pinch-off method*, pemutus ditempatkan tersendiri di dalam sebuah pumping stand setelah semua bagian vacuum circuit breaker selesai dirakit. Sebuah pipa evakuasi ditempatkan pada salah satu ujung pemutus, yang umumnya berdekatan dengan kontak diam. Pada Metode kedua, pemutus secara bersamaan dilas dan dipasang dengan temperatur tinggi. Sehingga derajat ke *vakuman circuit breaker* lebih baik.