

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar belakang masalah**

Sistem distribusi tenaga listrik dan jalur transmisi merupakan bagian yang paling penting, karena memainkan peran kunci dalam transmisi daya dari pembangkit ke pusat beban. Sistem tenaga listrik pada dasarnya harus bisa memberikan tingkat pelayanan yang tinggi sehingga apabila terjadi sebuah gangguan yang tidak bisa dihindari lagi sistem mampu mengurangi waktu gangguan yang terjadi. Tegangan lebih dan daya yang hilang dapat terjadi dengan beberapa sebab, yaitu salahnya dalam pengoperasian, kondisi alam, dan lain sebagainya yang mampu mengganggu sebuah sistem.

Kemungkinan adanya sebuah gangguan pada sistem tenaga listrik khususnya pada jaringan listrik memunculkan suatu gagasan tentang bagaimana cara melindungi suatu jaringan listrik sehingga apabila terjadi gangguan maka dapat diatasi. Adapun cara mencegahnya dengan cara memasang alat pengaman pada suatu peralatan yang dapat mengamankan suatu jaringan listrik dari sebuah gangguan yang akan terjadi, apabila terjadi sebuah gangguan pada sistem jaringan listrik tersebut maka dapat mencegah dan membatasi jika terjadi kerusakan dan meminimalisir efeknya pada sistem yang sehat.

Keandalan dan kemampuan suatu sistem tenaga listrik dalam melayani konsumen sangat tergantung pada sistem proteksi yang digunakan. Proteksi yang ada pada sistem tenaga listrik minimal terdiri dari relay, transformator instrument dan pemutus tenaga atau biasa disebut circuit breaker (CB). Pemutus tenaga (PMT) atau circuit breaker (CB) adalah peralatan saklar mekanis yang dapat membuka, menutup dan memutus arus beban dalam keadaan normal ataupun dalam keadaan abnormal. Pemutus tenaga bisa dikatakan memenuhi syarat jika mampu menyalurkan arus

maksimum secara berulang dan mampu memutus arus hubung singkat kecepatan tinggi sehingga tidak merusak peralatan sistem.

Gangguan hubung singkat (short circuit fault) adalah terjadinya hubungan penghantar bertegangan atau penghantar tidak bertegangan secara langsung melalui media (resistor/beban) sehingga terjadi aliran arus yang tidak normal (sangat besar). Hubung singkat merupakan jenis gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik terutama pada saluran 3 fasa. Dengan menghitung nilai arus gangguan maksimum yang ada pada jaringan 20 kV Gardu Induk Binjai agar dapat menentukan kapasitas pemutus tenaga (CB), arus yang dihitung adalah arus gangguan 3 fasa. Perhitungan arus pendek dilakukan untuk menentukan pilihan perangkat proteksi yang tepat, memilih peralatan interupsi yang efisien dan verifikasi kecukupan yang ada. Pemahaman yang baik tentang kapasitas memungkinkan untuk membuat keputusan yang tepat dalam perbandingan berbagai desain pemutus arus. Dalam hal ini penulis berusaha untuk menganalisa permasalahan di atas dan membuat sebuah penelitian yang berjudul “Studi Penentuan Kapasitas Pemutus Tenaga Pada Gardu Induk Binjai 150/20 kV”.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Untuk menentukan kapasitas pemutus tenaga pada gardu induk Binjai 20 kV dilakukan suatu perhitungan arus hubung singkat yang terkait. Berdasarkan hal tersebut, pada tulisan ini akan dilakukan perhitungan arus hubung singkat 3 fasa pada jaringan 20 kV gardu induk Binjai

## **1.3 Tujuan Penulisan**

Tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan ini adalah untuk mengetahui kapasitas pemutusan PMT pada jaringan 20 kV Gardu Induk Binjai.

#### **1.4 Metode Pemecahan Masalah**

Dalam memenuhi dan melengkapi data-data yang diperlukan untuk memperkuat penulisan skripsi ini, penulis melakukan berbagai macam metode antara lain:

A. Studi literature.

Beberapa studi keputusan dengan mempelajari buku-buku yang terkait, baik yang bersumber dari media cetak, elektronik, maupun internet.

B. Pengambilan data

Adapun pengambilan data dilakukan dengan mengambil data pada Gardu Induk Binjai 150/20 kV .

C. Studi bimbingan

Melakukan diskusi atau konsultasi dengan dosen pembimbing tugas akhir.

#### **1.5 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah dalam tugas akhir ini maka penulis hanya membahas masalah penentuan kapasitas pemutus tenaga dengan menghitung arus hubung singkat 3 fasa pada jaringan 20 kV gardu induk Binjai.

#### **1.6 Sistematika Penulisan**

Tugas akhir ini disusun berdasarkan sistematika sebagai berikut:

#### **Bab I : Pendahuluan**

Bab ini berisikan latar belakang, tujuan penulisan, batasan masalah, serta sistematika penulisan.

## **Bab II : Dasar Teori**

Bab ini menjelaskan dasar teori peralatan proteksi, pemutus tenaga (CB), sistem cara kerja dan membahas berbagai jenis pemutus tenaga (CB) serta fungsinya pada Gardu Induk.

## **Bab III : Jenis-jenis Pemutus Tenaga**

Bab ini menjelaskan tentang jenis-jenis pemutus tenaga yang terpasang pada Gardu Induk Binjai.

## **Bab IV : Penentuan Kapasitas Pemutus Tenaga Pada Gardu Induk Binjai 150/20 kV.**

## **Bab V : Kesimpulan dan saran**

Bab ini merupakan suatu kesimpulan dan saran dari penulisan.

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

## **2.1 Saluran Transmisi Sistem Tenaga Listrik**

Sistem transmisi adalah suatu sistem penyaluran energi listrik dari satu tempat ketempat lain, seperti dari stasiun pembangkit ke substation (gardu induk). Pemakaian sistem transmisi didasarkan atas besarnya daya yang harus disalurkan dari pusat-pusat pembangkit ke pusat beban dan jarak penyaluran yang cukup jauh antara sistem pembangkit dengan pusat beban tersebut. Sistem transmisi menyalurkan daya dengan tegangan tinggi yang digunakan untuk mengurangi adanya rugi-rugi akibat jatuh tegangan. Sistem transmisi dapat dibedakan menjadi sistem transmisi tegangan tinggi (high voltage, HV), sistem transmisi tegangan ekstra tinggi (extra high voltage, EHV), dan sistem transmisi ultra tinggi (Ultra high voltage, UHV).

Besarnya tegangan nominal saluran transmisi tegangan tinggi ataupun ekstra tinggi berbeda-beda untuk setiap negara atau perusahaan listrik di Negara tersebut, tergantung kepada kemajuan tekniknya masing-masing. Di Indonesia tegangan tinggi yang digunakan adalah 150 kV dan tegangan ekstra tinggi adalah tegangan 500 kV yang terinterkoneksi antara Jawa dan Bali. Sistem interkoneksi ekstra tinggi ini merupakan bagian terpenting dari penyaluran daya di Indonesia sehingga kelangsungan dan keandalan sistem ini harus selalu dijaga.

Dalam hubungannya dengan system pengamanan suatu sistem transmisi, adanya perubahan tersebut harus mendapat perhatian yang besar mengingat saluran transmisi memiliki arti yang sangat penting dalam proses penyaluran daya. Saluran transmisi listrik merupakan suatu sistem yang kompleks yang mempunyai karakteristik yang berubah-ubah secara dinamis sesuai keadaan sistem itu sendiri. Adanya perubahan karakteristik ini dapat menimbulkan masalah jika tidak segeraantisipasi.

## **2.2 Pengertian Distribusi Tenaga Listrik**

Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar sampai ke

konsumen. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan) dan 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 tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 150 kV, 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. 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 220/380Volt. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen. Dengan ini jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam system tenaga listrik secara keseluruhan.

### **2.3 Sistem Proteksi Distribusi Tenaga Listrik**

Secara umum sistem proteksi ialah cara untuk mencegah atau membatasi kerusakan peralatan terhadap gangguan, sehingga kelangsungan penyaluran tenaga listrik dapat di pertahankan. Rele proteksi ialah susunan peralatan yang direncanakan untuk dapat merasakan adanya ketidak normalan pada peralatan atau bagian sistem

tenaga listrik dan segera secara otomatis memberi perintah untuk membuka pemutus tenaga untuk memisahkan peralatan atau bagian dari sistem yang terganggu dan memberi isyarat berupa lampu dan bel. Rele proteksi dapat merasakan adanya gangguan pada peralatan yang digunakan dengan mengukur dan membandingkan besaran-besaran yang diterima, misalnya arus, tegangan, daya, frekuensi, dan impedansi dengan besaran yang telah di tentukan, kemudian mengambil keputusan untuk seketika ataupun dengan perlambatan waktu membuka pemutus tenaga. Pemutus tenaga umumnya dipasang pada generator, transformator daya, saluran transmisi, saluran distribusi dan sebagainya supaya masing-masing bagian sistem dapat dipisahkan sedemikian rupa sehingga sistem lainnya tetap dapat beroperasi.

#### **2.4 Persyaratan Sistem Proteksi**

Pada sistem proteksi tenaga listrik, ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi demi pengamanan peralatan-peralatan listrik yang ada. Untuk itu ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi oleh suatu sistem proteksi, seperti berikut ini :

1. Keterandalan (Reliability)

Pada kondisi normal (tidak ada gangguan) relay tidak bekerja. Jika terjadi gangguan maka relay tidak boleh gagal bekerja dalam mengatasi gangguan. Kegagalan kerja relay dapat mengakibatkan alat yang diamankan rusak berat atau gangguannya meluas sehingga daerah yang mengalami pemadaman semakin luas.

2. Selektivitas (Selectivity)

Selektivitas berarti relay harus mempunyai daya beda (discrimination), sehingga mampu dengan tepat memilih bagian yang terkena gangguan. Kemudian relay bertugas mengamankan peralatan. Relay mendeteksi adanya gangguan dan memberikan perintah untuk membuka pemutus tenaga dan memisahkan bagian yang terganggu.

3. Sensitivitas (Sensitivity)

Relay harus mempunyai kepekaan yang tinggi terhadap besaran minimal (kritis) sebagaimana direncanakan. Relay harus dapat bekerja pada awalnya terjadinya gangguan. Oleh karena itu, gangguan lebih mudah diatasi pada awal kejadian

4. Kecepatan Kerja

Relay pengaman harus dapat bekerja dengan cepat. Jika ada gangguan, misalnya isolasi bocor akibat adanya gangguan tegangan lebih terlalu lama sehingga peralatan listrik yang diamankan dapat mengalami kerusakan. Namun demikian, relay tidak boleh bekerja terlalu cepat (kurang dari 10 ms). Disamping itu, waktu kerja relay tidak boleh melampaui waktu penyelesaian.

5. Kritis (critical clearing time).

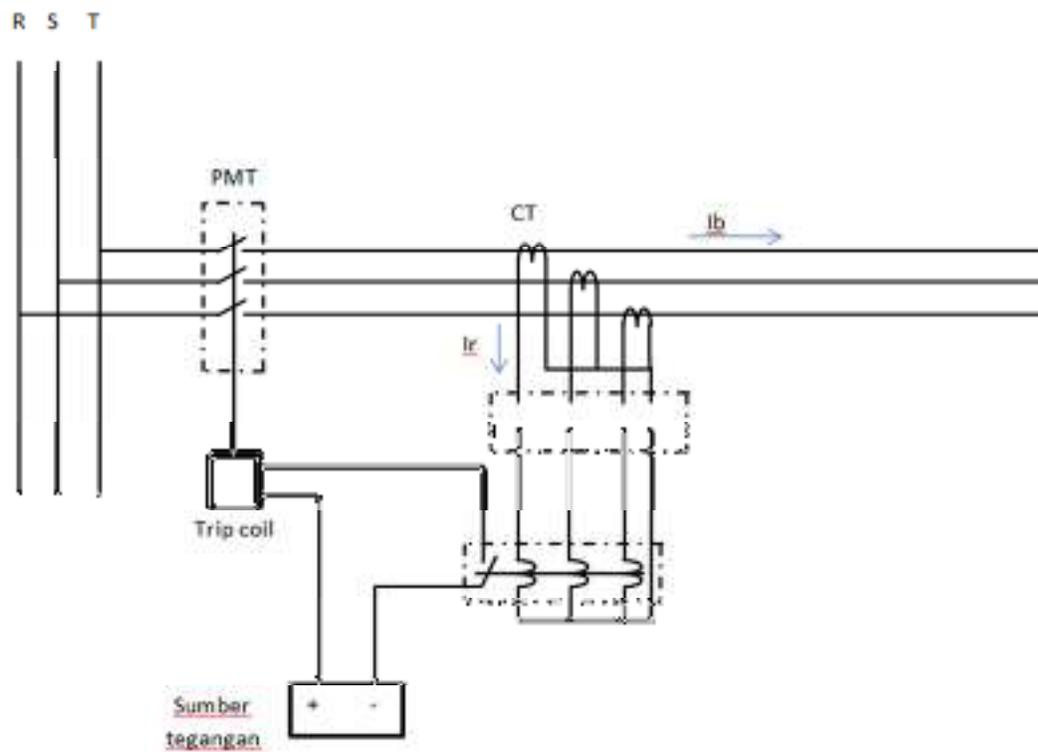
Pada sistem yang besar atau luas, kecepatan kerja relay pengaman mutlak diperlukan karena untuk menjaga kestabilan sistem agar tidak terganggu. Hal ini untuk mencegah relay salah kerja karena transient akibat surja petir.

6. Ekonomis

Satu hal yang harus diperhatikan sebagai persyaratan relay pengaman adalah masalah harga atau biaya. Relay tidak akan diaplikasikan dalam sistem tenaga listrik, jika harganya sangat mahal. Persyaratan reliabilitas, sensitivitas, selektivitas dan kecepatan kerja relay hendaknya tidak menyebabkan harga relay tersebut menjadi mahal.

## 2.5 Relay Arus Lebih

Merupakan relay Pengaman yang bekerja karena adanya besaran arus dan terpasang pada Jaringan Tegangan tinggi, Tegangan menengah juga pada pengaman Transformator tenaga. Rele ini berfungsi untuk mengamankan peralatan listrik akibat adanya gangguan phasa-phas. Jika dalam suatu transmisi terdapat gangguan yang berupa arus lebih, maka dalam waktu yang singkat relay arus lebih akan bekerja sehingga jaringan transmisi akan tidak terhubung sementara. Jika gangguan telah hilang, maka jaringan transmisi akan terhubung kembali.



Gambar 2.1 Rangkaian pengawatan relay arus lebih

Cara kerja dari relay arus lebih adalah sebagai berikut:

1. Pada kondisi normal arus beban ( $I_b$ ) mengalir pada SUTM dan oleh trafo arus besaran arus ini di transformasikan ke besaran sekunder ( $I_r$ ). Arus ( $I_r$ ) mengalir pada kumparan relai tetapi karena arus ini masih lebih kecil dari pada suatu harga yang ditetapkan (setting), maka relai tidak bekerja.
2. Bila terjadi gangguan hubung singkat, arus ( $I_b$ ) akan naik dan menyebabkan arus ( $I_r$ ) naik pula, apabila arus ( $I_r$ ) naik melebihi suatu harga yang telah ditetapkan (diatas setting), maka relai akan bekerja dan memberikan perintah trip pada tripping coil untuk bekerja dan membuka PMT, sehingga SUTM yang terganggu dipisahkan dari jaringan.

## **2.6 Peralatan Pemisah atau Penghubung**

### **2.6.1 Circuit Breaker atau Pemutus Tenaga**

Pemutus Tenaga (PMT) atau Circuit Breaker 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. Pemutus Tenaga (PMT) 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 utamanya 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.

Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh suatu Pemutus Tenaga dalam system tenaga listrik adalah sebagai berikut :

- a. Mampu menyalurkan arus maksimum sistem secara terus menerus.

- b. Mampu memutuskan dan menutup jaringan dalam keadaan berbeban maupun terhubung singkat tanpa menimbulkan kerusakan pada pemutus tenaga itu sendiri.
- c. Dapat memutuskan arus hubung singkat dengan sangat cepat agar arus hubung singkat tidak sampai merusak peralatan sistem, tidak membuat sistem kehilangan kestabilan, dan tidak merusak pemutus tenaga itu sendiri.

Setiap Pemutus Tenaga dirancang sesuai dengan tugas yang akan dipikulnya, ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam rancangan suatu PMT, yaitu:

1. Tegangan efektif tertinggi dan Frekuensi daya jaringan dimana pemutus daya itu akan dipasang. Nilainya tergantung pada jenis pentanahan titik netral sistem.
2. Arus maksimum continue yang akan dialirkan melalui pemutus daya. Nilai arus ini tergantung pada arus maksimum sumber daya atau arus nominal beban dimana pemutus daya tersebut terpasang.
3. Arus hubung singkat maksimum yang akan diputuskan pemutus daya tersebut.
4. Lamanya maksimum arus hubung singkat yang boleh berlangsung. hal ini berhubungan dengan waktu pembukaan kontak yang dibutuhkan.
5. Jarak bebas antara bagian yang bertegangan tinggi dengan objek lain disekitarnya.
6. Jarak rambat arus bocor pada isolatornya.
7. Kekuatan dielektrik media isolator sela kontak.
8. Iklim dan ketinggian lokasi penempatan pemutus daya.



Gambar 2.2 Macam-macam Pemutus Tenaga (PMT)

## **2.6.2 Klasifikasi Pemutus Tenaga**

### **2.6.2.1 Berdasarkan Besar / Kelas Tegangan**

PMT dapat dibedakan menjadi :

1. PMT tegangan rendah (Low Voltage)  
Dengan range tegangan 0.1 s/d 1 kV.
2. PMT tegangan menengah (Medium Voltage)  
Dengan range tegangan 1 s/d 35 kV.
3. PMT tegangan tinggi (High Voltage)  
Dengan range tegangan 35 s/d 245 kV.
4. PMT tegangan extra tinggi (Extra High Voltage)  
Dengan range tegangan lebih besar dari 245 kV.

### **2.6.2.2 Berdasarkan Jumlah Mekanik Penggerak**

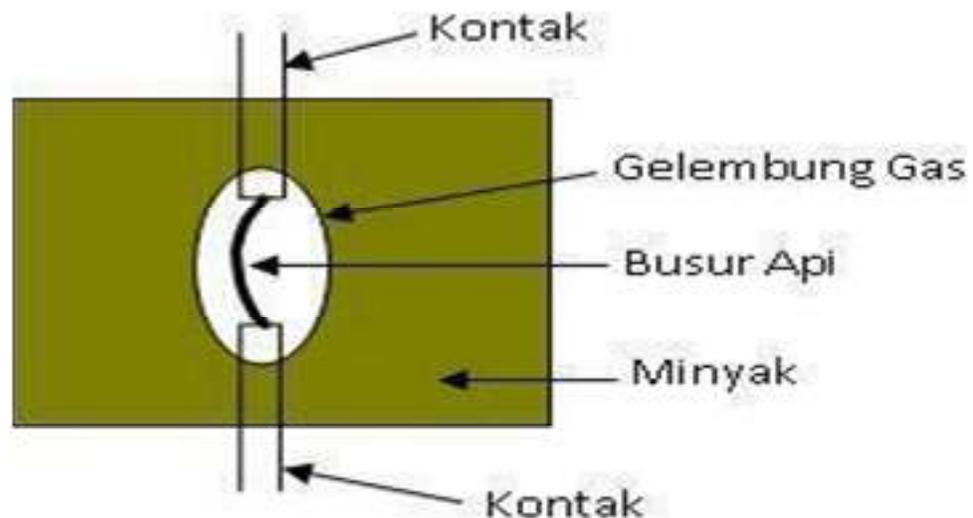
PMT dapat dibedakan menjadi :

1. PMT Single Pole  
PMT type ini mempunyai mekanik penggerak pada masing-masing pole, umumnya PMT jenis ini dipasang pada bay penghantar agar PMT bisa reclose satu fasa.
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.

### 2.6.3 Jenis-Jenis Pemutus Tenaga

#### 2.6.3.1 Pemutus Tenaga Dengan 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-2.3. Proses Pemadaman Busur Api 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



Gambar-2.4. Oil Circuit Breaker

PMT dengan media minyak terbagi menjadi 2 jenis, yaitu :

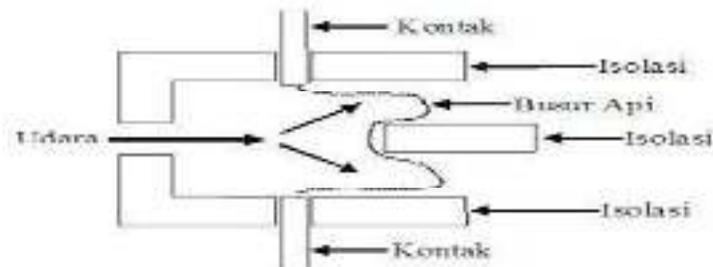
1. PMT dengan banyak menggunakan minyak (Bulk Oil Circuit Breaker).

Secara umum dipergunakan pada system tegangan sampai dengan 245 kv, pada tipe ini minyak berfungsi sebagai peredam loncatan bunga api listrik selama pemutusan kontak-kontak dan sebagai bahan isolasi antara bagian-bagian yang bertegangan dengan badan, PMT tipe ini ada yang mempunyai alat pembatas busur api listrik dan ada pula yang tidak memakai.

2. PMT dengan sedikit menggunakan minyak (Low Oil Content Circuit Breaker).  
Pada tipe ini minyak hanya dipergunakan sebagai peredam loncatan bunga api listrik, sedangkan sebagai bahan isolasi dari bagian-bagian yang bertegangan digunakan porselen atau material isolasi dari jenis organik

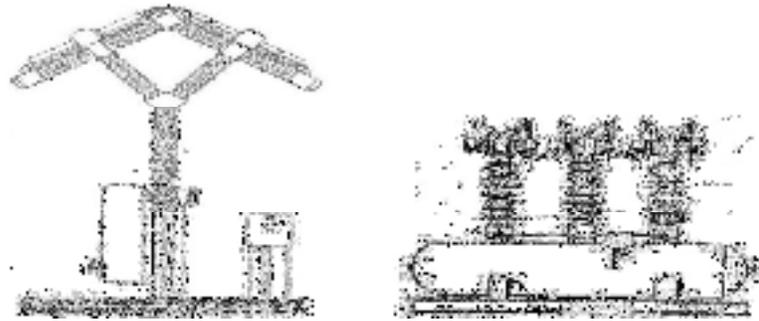
### 2.6.3.2 PMT Dengan Media Udara (Air Blast Circuit Breaker)

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. Saat busur api timbul, udara tekanan tinggi dihembuskan kebusur api dipadamkan oleh hembusan udara tekanan tinggi itu dan juga menyingkirkan partikel-partikel bermuatan dariselakontak, udara ini juga berfungsi untuk mencegah restriking voltage (tegangan pukul ulang).



Gambar-2.5 Proses Pemadaman Busur Api Media Air Blast

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.

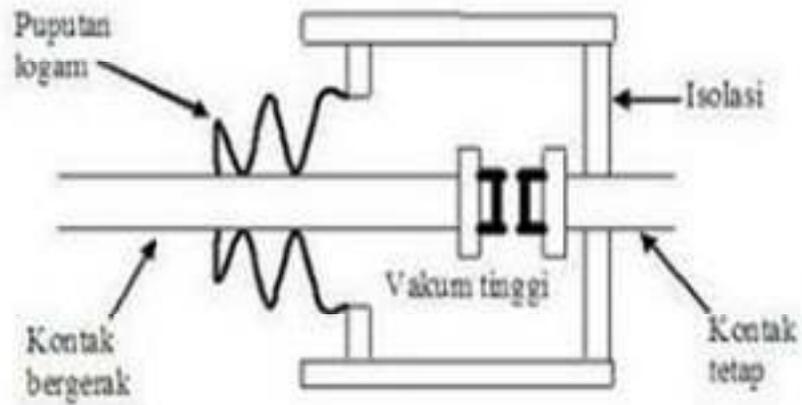


Gambar-2.6. Air Blast Circuit Breaker

### 2.6.3.3 PMT Media Hampa Udara (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. Pada vacuum circuit breaker kontak ditempatkan pada suatu bilik vakum. Untuk mencegah udara masuk ke dalam 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. Karena kemampuan ketegangan dielektrik yang tinggi maka bentuk fisik PMT jenis ini relatif kecil.



Gambar-2.7. Proses Pemadaman Busur Api Media Vakum

Prinsip kerjanya berbeda dengan dasar prinsip lain kerana 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.



Gambar-2.8. Vacuum Circuit Breaker

#### **2.6.3.4 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 SF<sub>6</sub> (Sulphur hexafluoride). Sifa-sifatt gas SF<sub>6</sub> murni ialah tidak berwarna, tidak berbau, tidak beracun dan tidak mudah terbakar. Pada temperature diatas 150° C gas SF<sub>6</sub> mempunyai sifat tidak merusak metal, plastik dan bermacam-macam bahan yang umumnya digunakandalam pemutus tenaga tegangan tinggi. Sebagai isolasi listrik, gas SF<sub>6</sub> mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi (2,35 kali udara) dan kekuatan dielektrik ini bertambah dengan pertambahan tekanan. Sifat lain dari gasSF<sub>6</sub> ialah mampu mengembalikan kekuatan dielektrik dengan cepat, tidak terjadi karbon selama terjadi busur api dan tidak menimbulkan bunyi pada saat pemutus tenaga menutup atau membuka. 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.



Gambar-2.9. SF6 Gas Circuit Breaker

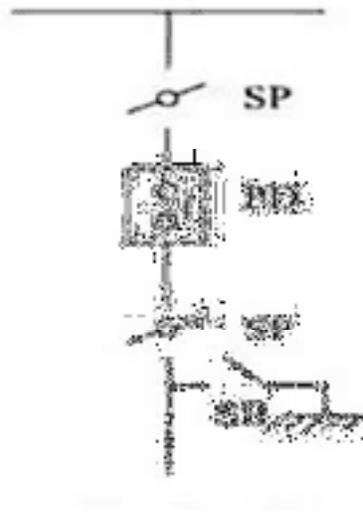
#### **2.6.4 PMS Pemisah atau Disconnecting Switch (DS)**

PMS Pemisah atau Disconnecting Switch (DS) adalah suatu peralatan sistem tenaga listrik yang berfungsi sebagai saklar pemisah rangkaian listrik tanpa arus beban (memisahkan peralatan listrik dari peralatan lain yang bertegangan), dimana pembukaan atau penutupan PMS ini hanya dapat dilakukan dalam kondisi tanpa

beban. Pemisah adalah suatu alat untuk memisahkan tegangan pada peralatan instalasi tegangan tinggi.

#### 2.6.4.1 Interlok Saklar Pemisah

Kesalahan operasi saklar pemisah dapat menimbulkan kerusakan pada peralatan sistem lainnya, sehingga biaya pemeliharaan bertambah. Untuk mencegah kesalahan operasi dibuat interlok antara saklar pemisah dengan pemutus daya dan antara saklar pemisah dan saklar pembumian.

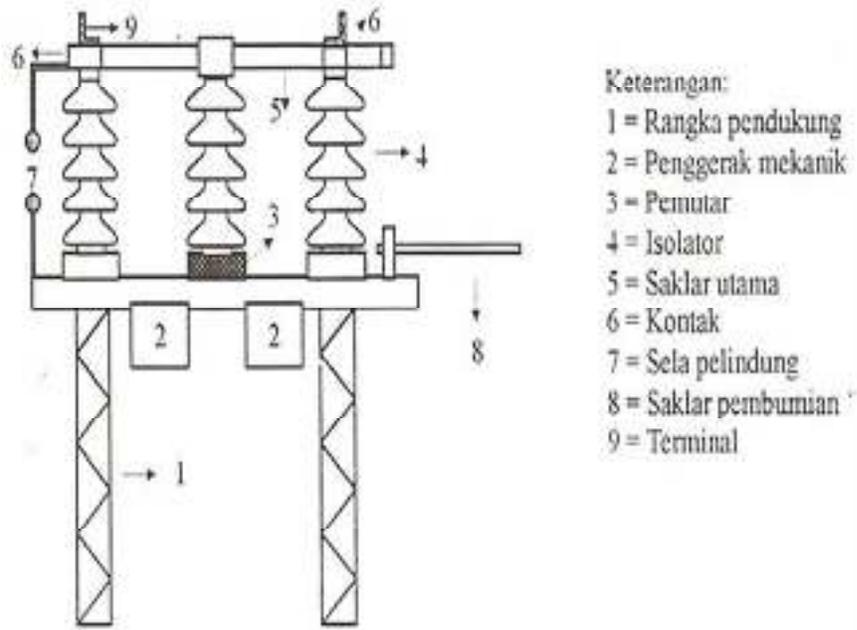


Gambar 2.10 Jaringan keluaran suatu sistem

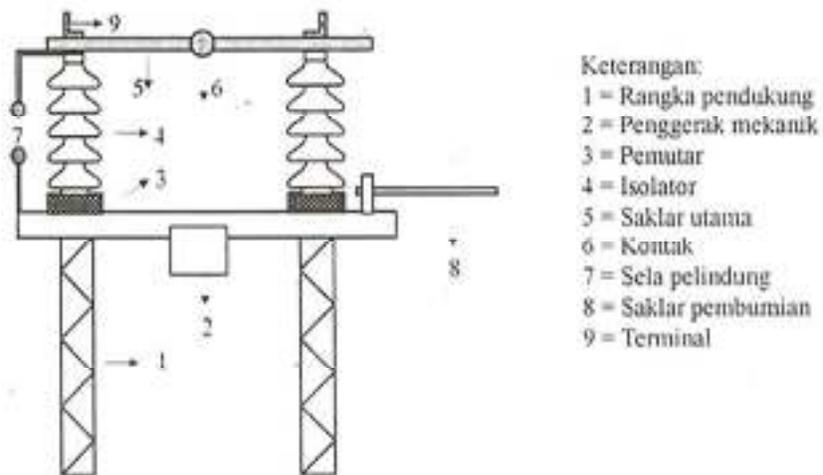
Interlok saklar pemisah harus memenuhi syarat sebagai berikut:

1. Saklar pemisah (SP) tidak dapat ditutup sebelum pemutus daya (PD) terkunci pada posisi terbuka.
2. Saklar pembumian (SB) dapat ditutup hanya saat saklar pemisah terkunci pada saat posisi terbuka dan tidak ada busur api.
3. Saklar pemisah dapat ditutup saat hanya saat pemutus daya dan saklar pembumian dalam keadaan terbuka.

4. Pemutus daya hanya dapat ditutup setelah semua saklar pemisah terkunci dalam posisi tertutup atau dalam posisi terbuka.



Gambar 2.11 Saklar pemisah tiga isolator, pemisah ganda



Gambar 2.12. Saklar pemisah dua isolator, pemisah tunggal

#### **2.6.4.2 Jenis-jenis Kontak PMS**

Menurut fungsi penempatan, pemisah dapat dibagi menjadi lima tempat yaitu :

a. **Saklar Pemisah Penghantar**

Saklar pemisah ini terpasang pada sisi penghantar.

b. **Saklar Pemisah Rel**

Saklar pemisah ini terpasang pada sisi rel atau bus, sehingga rel tersebut terpisah menjadi dua seksi.

c. **Saklar Pemisah Kabel**

Saklar pemisah ini terpasang pada sisi kabel.

d. **Saklar Pemisah Seksi**

Saklar pemisah ini terpasang pada suatu rel atau bus yang terpisah menjadi dua seksi. Saklar ini berada didekat jalur bus A dan bus B.

e. **Saklar Pemisah Tanah**

Saklar pemisah ini terpasang pada pada penghantar atau kabel yang menghubungkan ke tanah.

## **BAB III**

### **JENIS-JENIS PEMUTUS TENAGA**

#### **3.1 PMT GAS SF<sub>6</sub>**

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 SF<sub>6</sub> (Sulphur hexafluoride). Sifat gas SF<sub>6</sub> murni adalah tidak berwarna, tidak berbau, tidak beracun dan tidak mudah terbakar. Pada suhu diatas 150° C, gas SF<sub>6</sub> mempunyai sifat tidak merusak metal, plastic dan bermacam bahan yang umumnya digunakan dalam pemutus tenaga tegangan tinggi. Sebagai isolasi listrik, gas SF<sub>6</sub> mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi (2,35 kali udara) dan kekuatan dielektrik ini bertambah dengan pertambahan tekanan. Sifat lain dari gas SF<sub>6</sub> ialah mampu mengembalikan kekuatan dielektrik dengan cepat, tidak terjadi karbon selama terjadi busur api dan tidak menimbulkan bunyi pada saat pemutus tenaga menutup atau membuka.

Stabilitas gas SF<sub>6</sub> begitu baik sehingga tidak menimbulkan adanya perubahan kimia pada temperatur tinggi. Pada media pengisolasi lain seperti minyak, mulai beroksidasi dan rusak. Keunggulan kemampuan gas SF<sub>6</sub> dalam memadamkan busur api oleh karena sifat elektro negatifnya artinya molekul-molekulnya dengan mudah dan cepat menyerap elektron bebas pada lintasan busur api yang timbul diantara kontak pemutus tenaga ( Circuit Breaker ) untuk membentuk lon negatif.

### 3.1.1 Keunggulan PMT Gas SF<sub>6</sub>

Sementara itu, keunggulan PMT gas SF<sub>6</sub> dilihat dari keuntungan sifat- sifat dari gas SF<sub>6</sub> di atas dibandingkan dengan PMT jenis lain untuk mengamankan Gardu Induk dan jaringan yaitu :

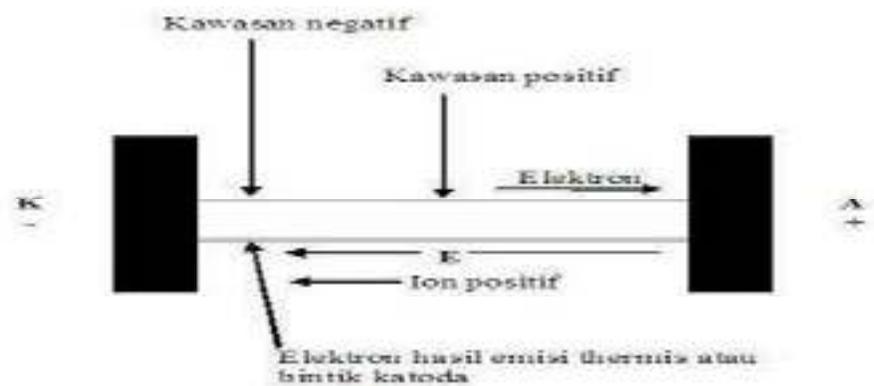
1. Hanya memerlukan energi yang rendah untuk mengoperasikan mekanismenya. Pada prinsipnya, SF<sub>6</sub> sebagai pemadam busur api adalah tanpa memerlukan energi untuk mengkompresikannya, namun semata-mata karena pengaruh panas busur api yang terjadi.
2. Tekanan SF<sub>6</sub> sebagai pemadam busur api maupun sebagai pengisolasi dapat dengan mudah dideteksi.
3. Penguraian pada waktu memadamkan busur api maupun pembentukannya kembali setelah pemadaman adalah menyeluruh.
4. Mampu mengembalikan kekuatan dielektrik dengan cepat, setelah arus bunga api listrik melalui titik nol.
5. Relatif mudah terionisasi sehingga plasmanya pada PMT konduktivitas tetap rendah dibandingkan pada keadaan dingin. Hal ini mengurangi kemungkinan busur api tidak stabil dengan demikian ada pemotongan arus dan menimbulkan tegangan antar kontak.
6. Karakteristik gas SF<sub>6</sub> adalah elektro negatif sehingga penguraiannya menjadikan dielektriknya naik secara bertahap.
7. Transien frekuensi yang tinggi akan naik selama operasi pemutusan dan dengan adanya hal ini busur api akan dipadamkan pada saat nilai arusnya rendah.
8. Selain itu PMT jenis ini simpel (tidak makan tempat)



Gambar 3-1 Circuit Breaker SF6 Gardu Induk Binjai

### 3.2 Proses terjadinya busur api pada Circuit breaker

Pada waktu pemutusan atau penghubungan suatu rangkaian sistem tenaga listrik maka pada PMT akan terjadi busur api, hal tersebut terjadi karena pada saat kontak PMT dipisahkan, beda potensial diantara kontak akan menimbulkan medan elektrik diantara kontak tersebut, seperti ditunjukkan pada gambar dibawah.



Gambar 3.2 Pembentukan Busur Api

Arus yang sebelumnya mengalir pada kontak akan memanaskan kontak dan menghasilkan emisi termis pada permukaan kontak. Sedangkan medan elektrik menimbulkan emisi medan tinggi pada kontak katoda (K). Kedua emisi ini menghasilkan elektron bebas yang sangat banyak dan bergerak menuju kontak anoda (A). Elektron - elektron ini membentur molekul netral media isolasi dikawasan positif, benturan- benturan ini akan menimbulkan proses ionisasi.

Dengan demikian, jumlah elektron bebas yang menuju anoda akan semakin bertambah dan muncul ion positif hasil ionisasi yang bergerak menuju katoda, perpindahan elektron bebas ke anoda menimbulkan arus dan memanaskan kontak anoda. Ion positif yang tiba di kontak katoda akan menimbulkan dua efek yang berbeda. Jika kontak terbuat dari bahan yang titik leburnya tinggi, misalnya tungsten atau karbon, maka ion positif akan menimbulkan pemanasan di katoda.

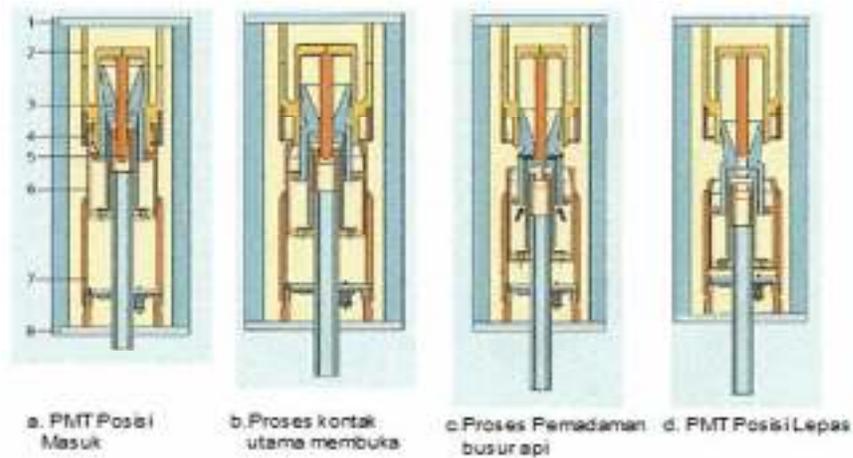
Akibatnya, emisi termis semakin meningkat. Jika kontak terbuat dari bahan yang titik leburnya rendah, misal tembaga, ion positif akan menimbulkan emisi medan tinggi. Hasil emisi termis ini dan emisi medan. tinggi akan melanggengkan proses ionisasi, sehingga perpindahan muatan antar kontak terus berlangsung dan inilah yang disebut busur api.

### **3.3 Proses Pemadaman Busur Api Listrik Diruang Pemutus**

PMT SF6 dapat dibagi dalam 2 (dua) jenis, yaitu:

#### **3.3.1 PMT Jenis Tekanan Tunggal**

PMT terisi gas SF6 dengan tekanan kira-kira 5 Kg/cm<sup>2</sup>, selama terjadi proses pemisahan kontak – kontak, gas SF6 ditekan (fenomena thermal overpressure) ke dalam suatu tabung/cylinder yang menempel pada kontak bergerak selanjutnya saat terjadi pemutusan, gas SF6 ditekan melalui nozzle yang menimbulkan tenaga hembus/tiupan dan tiupan ini yang memadamkan busur api.



Gambar 3.3 Proses pemadaman busur api pada circuit breaker

**Keterangan Gambar:**

1. Terminal Utama atas (Rod Kontak diam)
2. Support Kontak diam
3. Nozzle
4. Kontak Utama (main contact)
5. Arcing contact
6. Kontak bergerak
7. Support kontak bergerak
8. Terminal utama bawah

**3.3.2 PMT Jenis Tekanan Ganda**

PMT terisi gas SF<sub>6</sub> dengan sistem tekanan tinggi kira-kira 12 Kg / cm<sup>2</sup> dan sistem tekanan rendah kira-kira 2 Kg / cm<sup>2</sup>, pada waktu pemutusan busur api gas SF<sub>6</sub> dari sistem tekanan tinggi dialirkan melalui nozzle ke sistem tekanan rendah. Gas pada sistem tekanan rendah kemudian dipompakan kembali ke sistem tekanan tinggi, saat ini PMT SF<sub>6</sub> tipe ini sudah tidak diproduksi lagi.

### 3.4 Komponen dan Fungsi

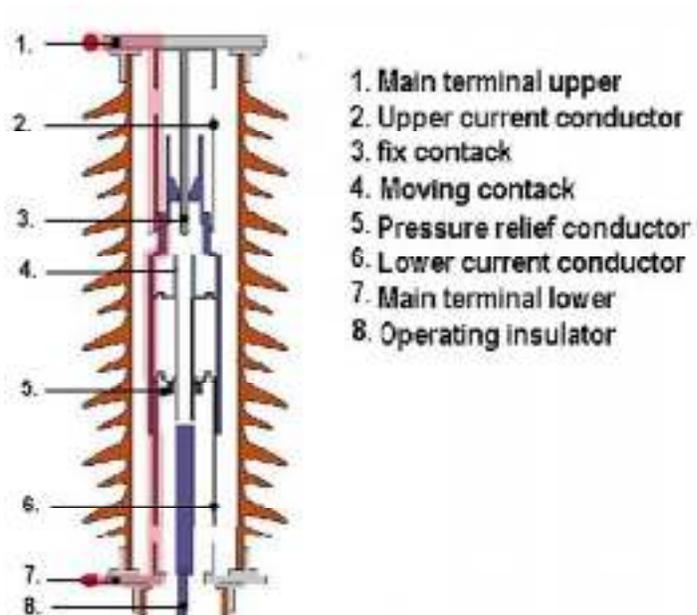
#### 3.4.1 Primary

Merupakan bagian PMT yang bersifat konduktif dan berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dengan nilai losses yang rendah dan Mampu menghubungkan / memutuskan arus beban saat kondisi normal / tidak normal.

#### 3.4.2 Interrupter

Merupakan bagian terjadinya proses membuka atau menutup kontak PMT. Didalamnya terdapat beberapa jenis kontak yang berkenaan langsung dalam proses penutupan atau pemutusan arus, yaitu:

- Kontak bergerak/*moving contact*
- Kontak tetap/*fixed contact*
- Kontak arcing/*arcing contact*



Gambar 3.4 Interrupter

### 3.4.3 Terminal Utama

Bagian dari PMT yang merupakan titik sambungan/koneksi antara PMT dengan konduktor luar dan berfungsi untuk mengalirkan arus dari atau ke konduktor luar.



Gambar 3.5 Terminal Utama

### 3.4.4 Dielectric

Berfungsi sebagai Isolasi peralatan dan memadamkan busur api dengan sempurna pada saat moving contact bekerja.

### 3.4.5 Electrical Insulation (Isolator)

Pada Pemutus (PMT) terdiri dari 2 (dua) bagian isolasi yang berupa isolator, yaitu:

#### 3.4.5.1 Isolator Ruang Pemutus (Interrupting Chamber)

Merupakan isolator yang berada pada ruang pemutus (interrupting chamberi)(1).

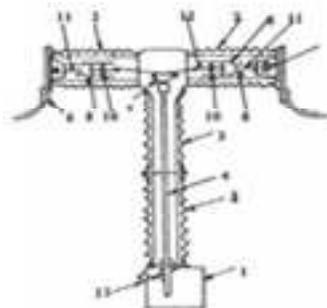
**3.4.5.2 Isolator Penyangga (Isolator Support)**

Merupakan isolator yang berada pada penyangga/support (2)



### 3.5 Pemadam busur api dengan gas Sulfur Hexa Fluorida (SF6)

Menggunakan gas SF6 sebagai media pemadam busur api yang timbul pada waktu memutus arus listrik. Sebagai isolasi, gas SF6 mempunyai kekuatan dielektrik yang lebih tinggi dibandingkan dengan udara dan kekuatan dielektrik ini bertambah seiring dengan pertambahan tekanan. Umumnya PMT jenis ini merupakan tipe tekanan tunggal (single pressure type), dimana selama operasi membuka atau menutup PMT, gas SF6 ditekan kedalam suatu tabung/silinder yang menempel pada kontak bergerak. Pada waktu pemutusan, gas SF6 ditekan melalui nozzle dan tiupan ini yang mematikan busur api.



1. Mekanisme penggerak (operating mechanism).
2. Pemutus (interrupter).
3. Isolator penyangga dari porselen rongga (hollow support insulator porcelain).
4. Batang penggerak berisolasi glass Fibre (Fibre Glass Insulating Operating Rod).
5. Penyambung diantara no.4 dan no.12 (linkages).
6. Terminal-terminal.
7. Saringan (filters).
8. Silinder bergerak (movable cylinder).
9. Torak tetap (fixed piston).
10. Kontak tetap (fixed contact).

Gambar 3-6 PMT Satu Katup dengan Gas SF6

### 3.6 Sifat-Sifat Gas SF<sub>6</sub>

SF<sub>6</sub> ini digunakan pada switchgear dan sakelar PMT/CB Gas SF<sub>6</sub> (SF<sub>6</sub> Circuit Breaker)

#### a. Sifat Fisik

- Tidak mudah terbakar
- Tidak berwarna
- Tidak berbau
- Tidak beracun
- Pada suhu dan tekanan normal berbentuk gas.

#### b. Sifat Kimia

Sifat kimiawi gas SF<sub>6</sub> sangat stabil, pada ambient temperatur dapat berupa gas netral dan juga sifat pemanasannya sangat stabil. Pada temperatur diatas 150°C mempunyai sifat tidak merusak metal, plastik dan bermacam-macam bahan yang umumnya digunakan dalam pemutus tenaga tegangan tinggi.

Sifat dari SF<sub>6</sub> sebagai media pemadam busur api dan relevansinya pada sakelar pemutus beban (PMT)/ circuit breaker (CB) adalah :

- a. Hanya memerlukan energi yang rendah untuk mengoperasikan mekanismenya. Pada prinsipnya, SF<sub>6</sub> sebagai pemadam busur api adalah tanpa memerlukan energi untuk mengkompresikannya, namun semata-mata karena pengaruh panas busur api yang terjadi.
- b. Tekanan SF<sub>6</sub> sebagai pemadam busur api maupun sebagai pengisolasi dapat dengan mudah dideteksi.
- c. Penguraian pada waktu memadamkan busur api maupun pembentukannya kembali setelah pemadaman adalah menyeluruh.
- d. Relatif mudah terionisasi sehingga plasmanya pada CB konduktivitas tetap rendah dibandingkan pada keadaan dingin. Hal ini mengurangi kemungkinan busur api tidak stabil dengan demikian ada pemotongan arus dan menimbulkan tegangan antar kontak.

- e. Karakteristik gas SF<sub>6</sub> adalah elektro negatif sehingga penguraiannya menjadikan dielektriknya naik secara bertahap.
- f. Transien frekuensi yang tinggi akan naik selama operasi pemutusan dan dengan adanya hal ini busur api akan dipadamkan pada saat nilai arusnya rendah.

### 3.7 Kualitas Gas SF<sub>6</sub>

Sampai dengan sekarang ini, kualitas gas Sulfur Heksafluorida (SF<sub>6</sub>) yang bisa terukur oleh alat ukur dan uji yang tersedia antara lain :

- a. Purity ( kemurnian )

Purity dinyatakan dengan presentase jumlah gas Sf<sub>6</sub> murni dalam suatu kompartmen GIS .semakin tinggi prosentase ini maka semakin sedikit Zat lain dalam isolasi gas Sf<sub>6</sub>. Untuk gas Sf<sub>6</sub> baru nilai kemurniannya yang di syaratkan adalah > 99,9 % ( IEC standard 60376).

- b. Dew Point ( titik embun ).

Dew Point menunjukan titik di mana gas berubah menjadi air. Hal ini terkait dengan tingkat kelembaban gas Sf<sub>6</sub>, yaitu berapa banyak partikel air yang terkandung dalam isolasi gas Sf<sub>6</sub>. Nilai titik embun ini sangat di pengaruhi oleh kondisi lingkungan terutama suhu. Semakin tinggi suhu maka semakin tinggi kandungan uap air yang berada di dalamnya (CIGRE 15/23-1 Diagnostic Methods For GIS Insulating System,1992).

- c. Decomposition Product ( Produk hasil dekomposisi ).

Decomposition Product terjadi karena ketidak sempurnaan pembentukan kembali gas Sf<sub>6</sub>. hal ini dapat terjadi karena adanya pemanasan yang berlebih, percikan listrik serta busur api daya. ( IEE STD C37.122.1-1993 IEEE guide for gas insulated substation ). Jika Decomposition Product ini terjadi dalam jumlah yang besar ,maka kekuatan Dielektrik dari isolasi gas Sf<sub>6</sub> akan mengalami penurunan.

d. Partial Discharge.

Partial Discharge adalah Peluahan elektrik pada medium isolasi yang terdapat di antara dua elektroda berbeda tegangan, di mana peluahan tersebut tidak sampai menghubungkan kedua elektroda secara sempurna. Peristiwa semacam ini dapat terjadi pada bahan isolasi yang padat. Sedangkan pada bahan isolasi gas, partial discharge terjadi di sekitar elektroda yang runcing. Partial discharge di sekitar suatu elektroda dalam gas biasanya disebut korona.

Adanya aktifitas partial discharge di dalam kompartemen menandakan adanya defect dalam kompartemen. Sumber partial discharge tersebut dapat disebabkan oleh beberapa hal, antara lain :

- Partikel bebas.
- Partikel bebas yang menempel pada permukaan.
- Tonjolan atau ketidakrataan permukaan ( protrusion ).
- Elektroda yang mengambang ( floating electrode ).
- Gelembung udara ( void ).

e. Suhu.

Suhu memiliki kaitan yang erat dengan dew point. Untuk lingkungan dengan suhu yang tinggi maka kandungan uap air yang ada pun akan menjadi tinggi. Hal ini akan membuat kemungkinan untuk terjadinya intrusi uap air ke dalam gas SF<sub>6</sub> menjadi lebih tinggi.

f. Korona

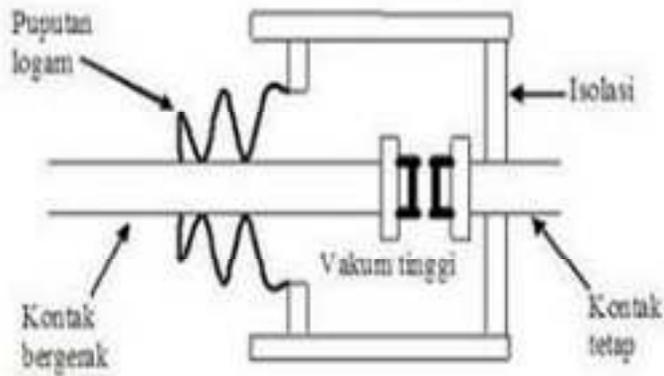
Korona merupakan partial discharge yang bercahaya disebabkan ionisasi udara. Bertambahnya ionisasi yang timbul hanya jika elektron bergerak cukup kuat misalnya jika medan listrik melebihi nilai kritisnya. Faktor-faktor yang mempengaruhi pelepasan korona yaitu tekanan udara, kelembaban, dan suhu. Dengan berkurangnya tekanan udara maka akan mengurangi nilai kritis sehingga mengakibatkan korona bertambah. Dengan bertambahnya kelembaban akan membantu terjadinya pelepasan korona. Sedangkan dengan meningkatnya suhu maka akan menurunkan tekanan udara sehingga nilai kritis berkurang dan pada akhirnya korona bertambah.

### 3.8 Data Circuit Breaker SF6

Rated voltage	170 KV
Rated lightning imp withstand voltage	750 KV
Rated frequency	50 Hz
Rated Normal Current	3150 A
Rated Duration Of short-circuit	3 s
Rated Short Circuit breaking current	40 kA
First pole to clear factor	1.5
Rated out of phase breaking current	10 Ka
Rated line charging breaking current	63 A
Rated SF6 gas pressure for interruption	0.64 MPa
Rated suplay voltage of closing and opening device	110 VDC
Rated suplay voltage of auxiliary circuits	110 VDC
Rated suplay voltage of motor	110 VDC
Mass of SF6 gas	11.9 Kg
Mass	1221.9 Kg
Rated operating sequence	O – 0.3s – CO – 3min – CO
Year of manufactured	2011
Temperature class	-30... + 50°C

### 3.9 PMT Media Vakum (Vacuum Circuit Breaker)

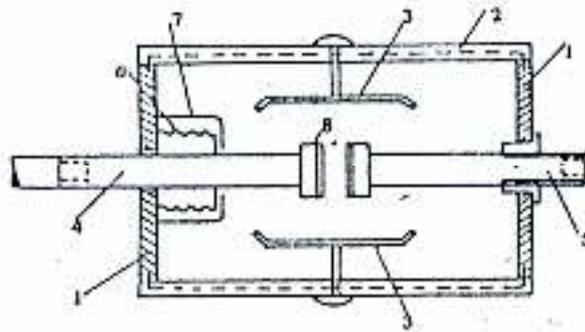
Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus rangkaian bertegangan sampai 38 kV. Pada PMT vakum, kontak ditempatkan pada suatu bilik vakum. Untuk mencegah udara masuk kedalam bilik, maka bilik ini harus ditutup rapat dan kontak Bergeraknya diikat ketat dengan perapat logam.



Gambar 3.7 Proses pemadaman busur api media vakum [8]

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 bertem 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.

Kontak-kontak pemutus dari PMT ini terdiri dari kontak tetap dan kontak bergerak yang di tempatkan dalam ruang hampa udara. Ruang hampa udara ini mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi dan media pemadam busur api yang baik. Gambar 3.4 menunjukkan pemutus sebuah PMT hampa udara.



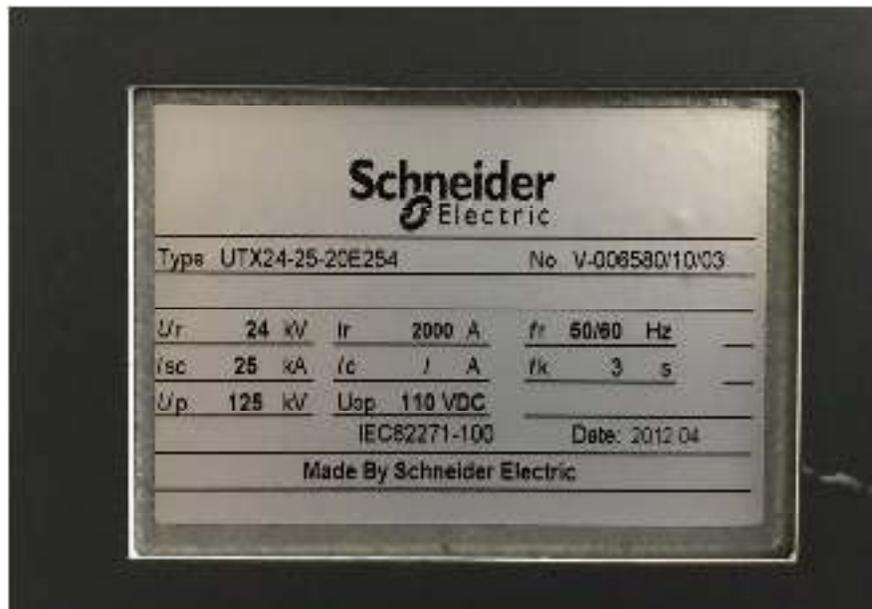
Gambar 3.8 Pemutus dari PMT Hampa Udara

Keterangan Gambar :

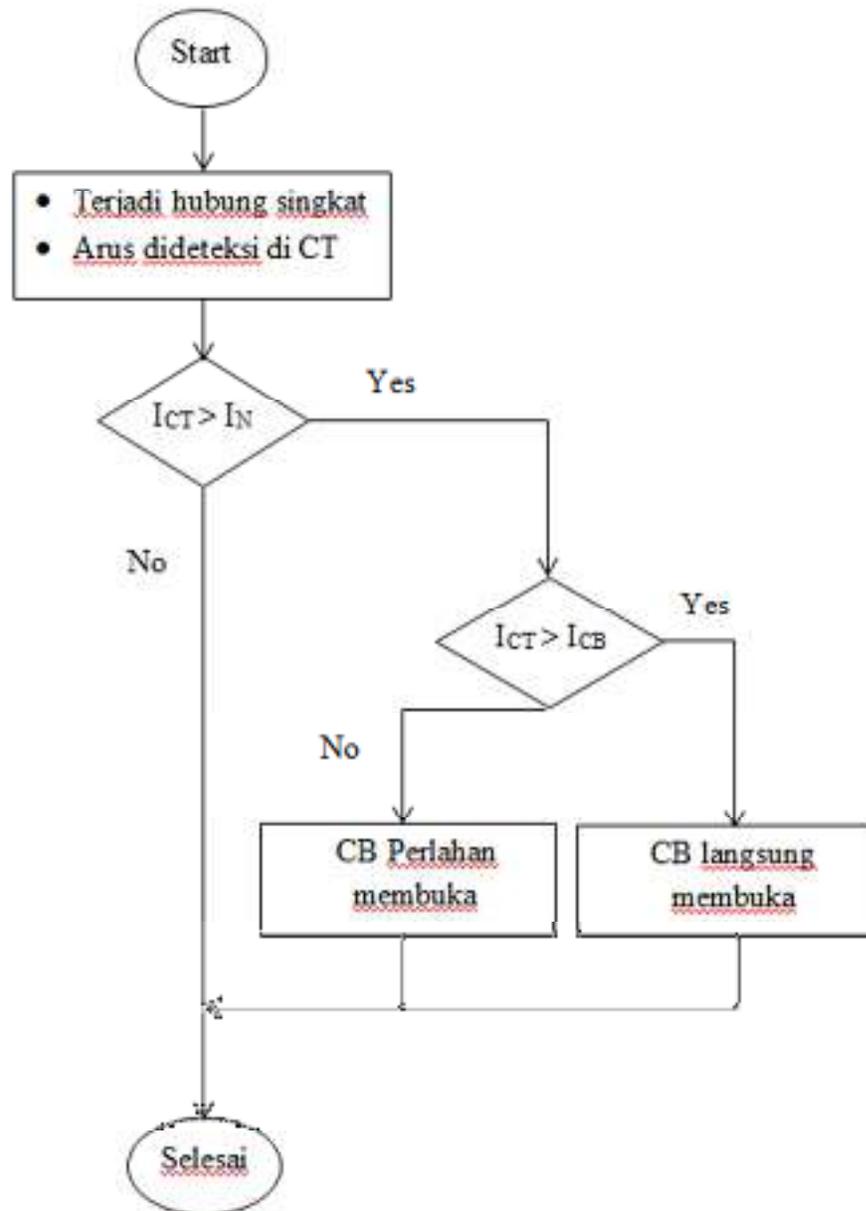
1. plat-plat penahan bukan bahan magnet
2. rumah pemutus dari bahan isolasi
3. pelindung dari embun uap
4. kontak bergerak
5. kontak tetap
6. penghembus dari bahan logam
7. tutup alat penghembus
8. ujung kontak



Gambar 3.9 Vacuum circuit breaker gardu induk Binjai



Gambar 3.10 Name Plate Vacuum circuit breaker gardu induk Binjai



Gambar 3.11 Flow chart cara kerja CB

### 3.10 Data Trafo Tenaga GI Binjai

Merk Trafo	UNINDO
Tahun pembuatan	2011
Daya	60 MVA
Ratio Tenaga	150/20 KV
Arus Nominal	1039.2/1732.1 A
Impedansi	12,19 %
Connection	Ynyno
NGR	40 ohm

### 3.11 Impedansi Urutan Positif dan Urutan Nol Pada Penyulang

Impedansi urutan positif, urutan negatif dan urutan nol didapatkan berdasarkan dari data teknis pada gardu induk Binjai.

Tabel 3.1 Impedansi Urutan Positif Dan Nol Penghantar AAAC

Penampang nominal (mm <sup>2</sup> )	jari-jari (mm)	Jumlah Urat	GMR (mm)	Impedansi urutan positif (Ω / km)	Impedansi urutan nol (Ω / km)
16	2,2563	7	1,638	2,0161 + j0,4036	1,1641 + j1,6911
25	2,8203	7	2,0475	1,2903 + j0,3895	1,4384 + j1,6770
35	3,3371	7	2,4227	0,9217 + j0,3790	1,0697 + j1,6665
50	3,9886	7	2,8957	0,6452 + j0,3678	0,7932 + j1,6553
70	4,7193	7	3,4262	0,4608 + j0,3572	0,6088 + j1,6447
95	5,4979	19	4,1674	0,3396 + j0,3449	0,4876 + j1,6324
120	6,1791	19	4,6837	0,2688 + j0,3376	0,4618 + j1,6251
150	6,9084	19	5,2365	0,2162 + j0,3305	0,3441 + j1,6180
185	7,6722	19	5,8155	0,1744 + j0,3239	0,3224 + j1,6114
240	8,7386	19	6,6238	0,1344 + j0,3158	0,2824 + j1,6003

### 3.12 Gangguan Hubung Singkat

Hubung singkat/short circuit adalah salah satu gangguan yang bisa terjadi di sistem tenaga listrik. Hubung singkat adalah hubungan konduksi sengaja atau tidak sengaja melalui hambatan atau impedansi yang cukup rendah antara dua atau lebih titik yang dalam keadaan normalnya mempunyai beda potensial. Hubung singkat dapat di bedakan menjadi tiga jenis yaitu hubung singkat satu fasa ke tanah, hubung singkat dua fasa dan hubung singkat tiga fasa. Dari ketiga jenis gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan hukum ohm

$$I = \frac{V}{Z} \dots\dots\dots(3.1)$$

Dimana :

I = Arus hubung singkat(Amper)

V= Tegangan sumber (Volt)

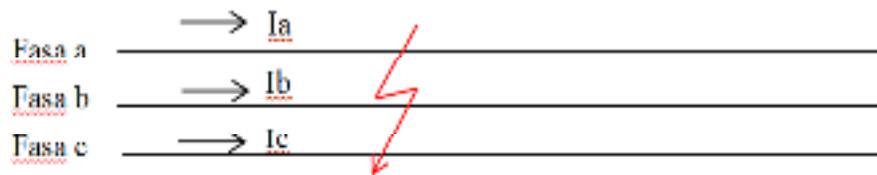
Z= eqivalen seluruh impedansi sumber sampai titik gangguan (Ohm)

Penyebab dari hubung singkat diantaranya adalah:

1. Hubungan kontak langsung dengan konduktor bertegangan.
2. Temperatur berlebih karena adanya arus lebih/overload.
3. Pelepasan/discharge elektron yang merusak karena tegangan berlebih.
4. Busur/arcing karena pengembunan dengan udara terutama pada isolator.

### 3.13 Hubung Singkat 3 Fasa

Hubung singkat 3 fasa adalah hubung singkat atau short circuit yang terjadi pada ke tiga fasa atau dengan kata lain tehubungnya ketiga kawat fasa. Gangguan hubung singkat tiga fasa termasuk dalam klasifikasi gangguan simetris, dimana arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi. Sehingga pada sistem ini dapat dianalisa hanya dengan menggunakan urutan positif saja. Gangguan hubung singkat tiga fasa dapat dilihat seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar.3.12. Hubung singkat tiga fasa

Untuk mencari nilai arus hubung singkat pada gangguan hubung singkat tiga fasa ini dapat dicari dengan menggunakan rumus:

$$I_{sc\ 3\phi} = \frac{V_f}{Z_1} \dots\dots\dots(3.2)$$

Dimana:

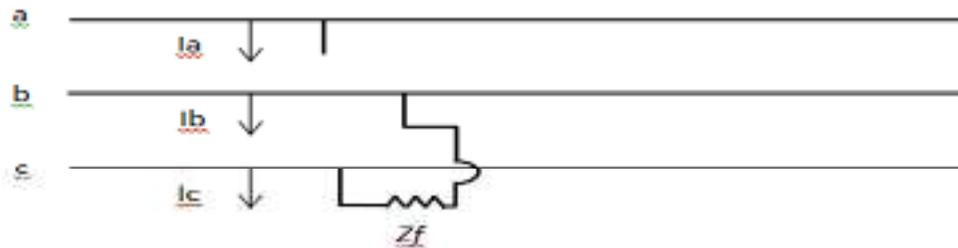
$I_{3\phi}$  = Arus hubung singkat 3 fasa(Amper)

$V_f$  = Tegangan fasa-netral ( $20\text{ KV}/\sqrt{3}$ ) (Volt)

$Z_1$  = Impedansi jaringan urutan positif (ohm)

### 3.14 Hubung singkat dua fasa

Hubung singkat dua fasa atau yang biasa disebut hubung singkat fasa ke fasa adalah kondisi dimana antara fasa ke fasa saling terhubung singkat. Pada gangguan hubung singkat fasa ke fasa, arus saluran tidak mengandung komponen urutan nol dikarenakan tidak ada gangguan yang terhubung ke tanah. Gangguan hubung singkat dua fasa ini dapat ditunjukkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 3.13. Gangguan hubung singkat dua fasa atau fasa ke fasa

Rumus yang dapat digunakan dalam menghitung arus hubung singkat dua fasa yaitu :

$$I_{2\text{ fasa ke tanah}} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2} \dots\dots\dots(3.3)$$

Dimana :

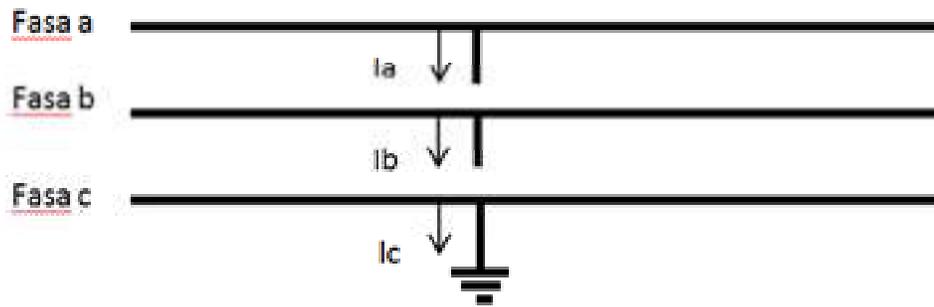
$V_f$  : Tegangan di titik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan (V)

$Z_1$  : Impedansi urutan positif dilihat dari titik gangguan ( $\Omega$ )

$Z_2$  : Impedansi urutan positif negatif dilihat dari titik gangguan ( $\Omega$ )

### 3.15 Hubung Singkat 1 Fasa-Tanah

Untuk gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah yaitu impedansi yang digunakan adalah jumlah impedansi urutan positif ditambah urutan negatif dan ditambah urutan nol, nilai ekivalennya  $Z_1 + Z_2 + Z_0$  dimana  $Z_1 = Z_2$  dan tegangannya adalah tegangan fasa- fasa. Gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik merupakan gangguan asimetris sehingga memerlukan metode komponen simetris untuk menganalisa tegangan dan arus pada saat terjadi gangguan. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dapat ditunjukkan seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar.3.14. Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah

Gangguan yang terjadi dapat dianalisa dengan menghubungkan-singkatkan semua sumber tegangan yang ada pada sistem dan mengganti titik (*node*) gangguan dengan sebuah sumber tegangan yang besarnya sama dengan tegangan sesaat sebelum terjadinya gangguan di titik gangguan tersebut. Dengan menggunakan metode ini sistem tiga fasa tidak seimbang dapat direpresentasikan dengan menggunakan teori komponen simetris yaitu berdasarkan komponen urutan positif, komponen urutan negatif, dan komponen urutan nol.

Sehingga arus hubung singkat satu fasa ke tanah dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$I_{1 \text{ fasa ke tanah}} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \dots\dots\dots(3.4)$$

Karena  $Z_1 = Z_2$ , maka :

$$I_{1 \text{ fasa ke tanah}} = \frac{V_f}{2 \times Z_1 + Z_0} \dots\dots\dots(3.5)$$

Dimana:

- $I_1$  = Arus hubung singkat 1 fasa-tanah (Amper)
- $V_f$  = Tegangan fasa-fasa ( $3 \times 20 \text{KV} / \sqrt{3}$ )(Volt)
- $Z_{1eq}$  = Impedansi jaringan urutan positif (ohm)
- $Z_{0eq}$  = Impedansi jaringan urutan nol (ohm)

### 3.16 Impedansi Sumber

Untuk mengetahui besar impedansi sumber (trafo) maka dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$X_s = \frac{KV^2}{MVA} \dots \dots \dots (3.6)$$

Keterangan :

- $KV^2$  = Tegangan pada sisi primer
- MVA = short circuit level trafo tenaga 60 MVA
- $X_s$  = Impedansi sumber (dalam hal ini pada sisi sumber 150kV)

### 3.17 Impedansi Trafo

Impedansi urutan positif ( $X_t$ ) adalah impedansi bocor trafo. Besarnya impedansi urutan negatif sama dengan besarnya impedansi urutan nol, tergantung dari hubungan trafo dan impedansi pentanahannya.

$$X_{t1} = X_{t2} = \{Z(\%)\} \times \frac{KV^2}{MVA} \dots \dots \dots (3.7)$$

Keterangan:

- $X_{t1}$  dan  $X_{t2}$  = Reaktansi urutan positif(ohm)
- MVA = Kapasitas pada trafo tenaga (MVA)
- KV = Tegangan di Bus(KVA)

### 3.18 Impedansi jaringan Urutan Positif

Untuk menghitung impedansi jaringan urutan positif adalah dengan menjumlahkan impedansi sumber ( $Z_s$ ), impedansi trafo ( $Z_{t1}$ ) dan impedansi jaringan urutan positif. Dengan persamaan sebagai berikut:

$$Z_1 = Z_2 = \%panjang \times L \times Z_1 \text{ atau } Z_2 \dots\dots\dots(3.8)$$

Dimana :

$Z_1$  = Impedansi urutan positif ( $\Omega$ )

$Z_2$  = Impedansi urutan negatif ( $\Omega$ )

$L$  = Panjang penghantar (km)

### 3.19 Rating arus nominal

Harga arus nominal harus dapat mengalirkan harga arus rata-rata yang mana CB dapat membawa nilai frekuensi secara kontinyu tanpa adanya penyimpangan walaupun adanya kenaikan temperature dan berbagai bagian yang yang tidak melebihi harga standard yang ditentukan.

$$I_{nom} = \frac{P_{trafo}}{\sqrt{3} \times V} \dots\dots\dots(3.9)$$

Dimana:

$I_{nom}$  = Arus nominal (kA)

$V$  = Tegangan sistem (kV)

$P$  = Daya trafo tenaga.

### 3.20 Kemampuan Arus Pemutus Daya

Kemampuan arus suatu pemutus daya dinyatakan dalam dua besaran yaitu:

- a. Kemampuan pemutusan arus.

Yaitu harga efektif arus hubung singkat simetri tertinggi yang dapat diputuskan pemutus daya tanpa menimbulkan kerusakan pada kontak pemutus daya

b. Kemampuan arus sesaat.

Yaitu harga efektif hubung singkat asimetri tertinggi yang dapat dipikul pemutus daya tanpa menimbulkan kerusakan pada pemutus daya.

Kedua kemampuan arus diatas ditetapkan dengan menghitung terlebih dahulu harga efektif arus hubung singkat simetri dan asimetri. Arus simetri yang diperoleh dikalikan dengan factor pengali. Factor pengali tersebut besarnya tergantung dari waktu pembukaan alat pemutus tenaga. Factor pengali dan lamanya waktu membuka alat pemutus tenaga ditunjukkan pada tabel dibawah ini:

Periode waktu pembukaan (cycle)	Faktor pengali
8 cycle (0,16 second)	1,0
5 cycle (0,1 second)	1,1
3 cycle (0,06 second)	1,2
2 cycle (0,04 second)	1,4
Sesaat	1,6

Secara umum, kemampuan arus sesaat adalah:

$$I_m = 1,6 \times I_{hs} \dots \dots \dots (3.10)$$

Dimana:

$I_m$  = kemampuan arus sesaat (kA)

$I_{hs}$  = Arus hubung singkat(kA)

