



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Umum**

Suatu sistem tenaga listrik pada dasarnya terdiri dari susunan pembangkit, transmisi dan jaringan distribusi yang terhubung satu sama lain untuk membangkitkan, mentransmisikan dan mendistribusikan tenaga listrik tersebut hingga dapat dimanfaatkan oleh para pelanggan. Karena manfaat dan fungsi suatu sistem tenaga listrik yang sangat vital dalam kehidupan sehari - hari maka pengembangan sistem harus dilakukan melalui perancangan yang matang dan pertimbangan semua aspek terkait secara menyeluruh dalam arti luas sehingga sistem yang akan dibangun dapat dikelola secara optimum, handal, aman, dan ekonomis.

Faktor frekuensi dan lama gangguan pasokan tenaga listrik yang mungkin terjadi harus diperhatikan dan dipertimbangkan dengan sangat hati - hati sebab faktor-faktor tersebut sangat berpengaruh terhadap aktivitas industri maupun kegiatan sehari-hari dalam perkotaan, terutama pada era modern ini di mana hampir semua kehidupan sangat tergantung pada pasokan tenaga listrik. Oleh karena itu pengembangan suatu sistem ketenagalistrikan sangat memperhatikan masalah keandalan dan keamanan. Namun demikian, tingkat keandalan dan keamanan dalam kenyataannya selalu berbanding terbalik dengan masalah ekonomi. Artinya, semakin tinggi keandalan dan tingkat keamanan yang dibutuhkan maka semakin besar biaya yang dibutuhkan. Perancangan sistem tenaga listrik bisanya dilakukan berdasarkan kompromi antara kedua pertimbangan di atas sehingga diperoleh pengoperasian yang optimum.

Suatu sistem tenaga listrik terdiri dari banyak komponen mulai dari komponen pembangkitan, transmisi maupun komponen distribusi yang satu sama lain mempunyai kekhususan dan bahkan seringkali jauh berbeda. Investasi yang dibutuhkan untuk membeli komponen dan perangkat sistem tenaga listrik sesungguhnya relatif mahal. Belum lagi uang yang dibutuhkan untuk membeli lahan dan infrastruktur lain yang harus dibayar untuk memberi ruang bagi saluran



---

transmisi yang harus ditarik dari satu tempat ke tempat lain. Boleh dikatakan suatu perusahaan yang bergerak dalam sistem tenaga listrik adalah perusahaan padat modal yang membutuhkan permodalan yang sangat besar dalam mengembangkan sistem dan sarana yang dibutuhkan mulai dari pengembangan pembangkit, transmisi, distribusi hingga instalasi tegangan rendah sampai ke tempat pelanggan. Untuk memaksimalkan pengembalian investasi, seyogianya sistem tenaga listrik dikelola secara optimum dan semaksimal mungkin, yaitu maksimal mungkin dengan mengoptimalkan penggunaan berbagai sumber daya primer yang ada, efisiensi, keandalan dan sekuriti. Yang lebih mendasar adalah bahwa sistem tenaga listrik harus dapat dioperasikan secara aman sepanjang waktu dan selama mungkin tanpa menimbulkan bahaya terhadap peralatan maupun manusia. Namun malangnya, Sebagus dan seideal apapun perencanaan sistem tenaga listrik dilakukan, Sistem tersebut dalam kenyataannya tidak pernah terbebas dari gangguan.

Gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik bisa terjadi pada level dan tingkat destruksi yang berbeda masing-masing selalu mempunyai resiko baik terhadap manusia maupun terhadap peralatan sistem tenaga listrik itu sendiri. Daya rusak suatu busur api gangguan yang mengalirkan arus sangat besar sangatlah hebat sebab arus tersebut bisa membakar atau meleburkan kawat-kawat penghantar yang terbuat dari tembaga, aluminium, kumparan, lamel - lamel inti besi trafo ataupun kumparan mesin pembangkit dalam waktu yang sangat singkat, misalnya hanya dalam orde sepuluh hingga beberapa ratus milidetik saja. Meskipun jauh dari sumber gangguan, busur api listrik yang terjadi dalam waktu yang lama sampai beberapa detik dapat juga merusak peralatan dan instalasi. Pertimbangan yang perlu diambil untuk mendeteksi dan mengisolasi elemen-elemen sistem tenaga listrik dari gangguan merupakan bagian penting pada waktu perancangan sistem tenaga listrik.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Bonar Pandjaitan, 2012. *Praktik-Praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Andi. Hal:1



## 2.2 Pengertian Pemutus Tenaga

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 semua kondisi tegangan yang normal ataupun tidak normal.<sup>2</sup>

*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. 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 peralatan lain.<sup>3</sup>

Pemutus tenaga / PMT (*Circuit Breaker / CB*) merupakan suatu saklar yang berfungsi memutus dan menghubungkan rangkaian sistem tenaga listrik sesuai dengan kapasitas pemutusannya (*breaking capacity*). Operasi pensaklaran pada pemutus tenaga dapat dilakukan secara manual dan otomatis. Secara manual pemutus tenaga dapat menghubungkan dan memutuskan rangkaian sistem tenaga listrik dengan menggunakan tombol tekan atau tuas (*handle*), sedangkan secara otomatis hanya dapat memutuskan rangkaian sistem tenaga listrik sesuai isyarat/sinyal (*siynal*) yang diberikan oleh rele.

Syarat – syarat yang harus di penuhi oleh pemutus tenaga dalam sistem tenaga listrik adalah sebagai berikut :

- a. Mampu menyalurkan arus maksimum sistem tenaga listrik secara kontinyu.

---

<sup>2</sup> Wahyudi Sarimun N, 2012. *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Bekasi: Garamond. (Hal:52)

<sup>3</sup> IEC (*International Electrotechnical Commission*),2014. *Switchgear, controlgear and fuses / Switching devices*, (441-14-20).

- b. Mampu memutuskan dan menghubungkan jaringan dalam keadaan berbeban maupun dalam keadaan gangguan hubung 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, membuat sistem kehilangan kestabilan dan merusak pemutus tenaga itu sendiri.<sup>4</sup>



PMT 20 KV



PMT 150 KV



PMT 500 KV

Gambar 2.1. Macam – macam PMT

“Pelat nama sebuah pemutus tenaga umumnya memberikan indikasi mengenai :Arus konstanta maksimum yang dapat dipakai, besar arus interupsi maksimum, Maksimum tenaga saluran dan, Waktu interupsi yang dinyatakan dalam siklus.” (Samaulah, 2004:89)

Sifat – sifat utama suatu sistem pengaman adalah sebagai berikut :

- a. Selektif

---

<sup>4</sup> Carlos R.S dan Rumiasih, 2008. *Praktikum Sistem Proteksi TL 122610*. Laboratorium Teknik Listrik Modul Praktikum. Program Ttudi Teknik Listrik, Jurusan Eeknik Elektro, Politeknik Negeri Sriwijaya.Tidak diterbitkan (Hal:6)



Sistem proteksi harus selektif dan memilih dengan tepat bagian mana dari instalasi yang terganggu dan harus dipisahkan dari rangkaian yang tidak terganggu dan harus dipisahkan.

b. Sensitif

Sistem proteksi perlu memiliki suatu tingkat sensitifitas tinggi, agar gangguan dapat dideteksi sedini mungkin sehingga bagian yang terganggu, atau kemungkinan terjadinya kerusakan menjadi sekecil mungkin.

c. Andal

Sistem proteksi perlu memiliki suatu taraf keandalan yang tinggi, dan senantiasa dapat bekerja pada kondisi – kondisi gangguan yang terjadi.

d. Cepat

Sistem proteksi perlu memiliki tingkat kecepatan sebagaimana ditentukan, sehingga meningkatkan waktu pelayanan, keamanan manusia dan peralatan, serta stabilitas operasi.

e. Perluasan Sistem

Sistem proteksi harus di desain sedemikian rupa, hingga tidak akan mengganggu kemungkinan terjadinya perluasan instalasi atau jaringan di waktu yang akan datang.<sup>5</sup>

### **2.3 Daerah Pengamanan ( *Protection Zone* )**

Untuk mendapatkan daerah pengamanan yang cukup baik di dalam system tenaga listrik dibagi di dalam suatu daerah pengamanan yang cukup dengan pemutusan sub sistem seminim mungkin.

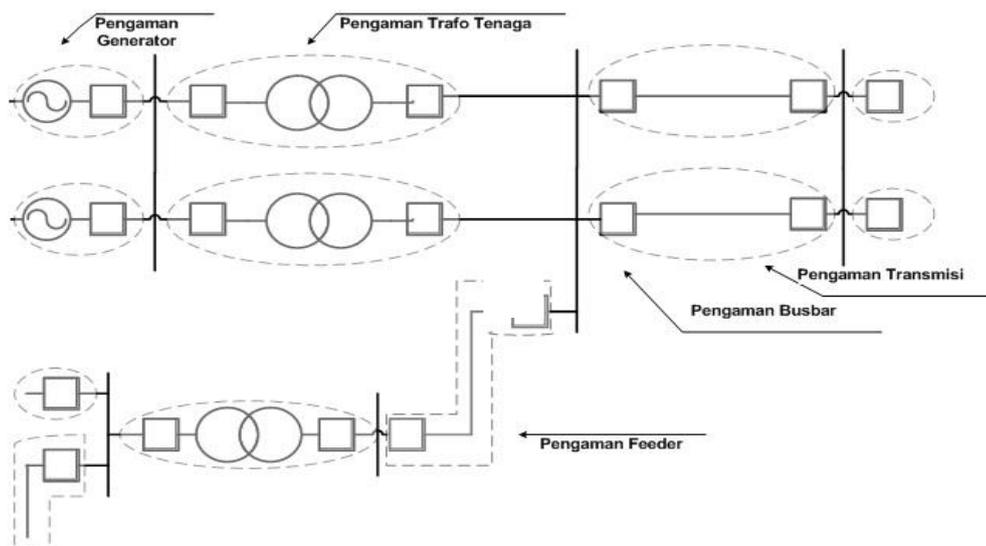
Sistem tenaga listrik dibagi dalam daerah pengamanan adalah:

1. Generator
2. Transformator daya
3. Bus bar
4. Transmisi dan distribusi
5. Motor

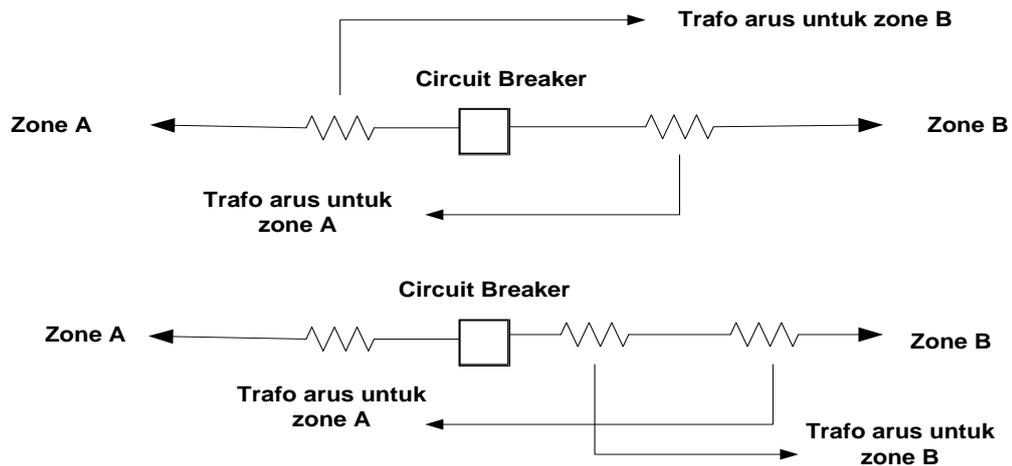
<sup>5</sup> Hazairin Samaulah, 2004. *Dasar-dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*. Unsri: (Hal:93-94).

Pembagian dalam 5 daerah pengaman dilaksanakan dengan saling meliputi daerah pengamanan didekatnya (*overlapping*). Sebagai contoh system tenaga listrik dan daerah pengaman diperlihatkan pada gambar 2.2.

Saling meliputi diperlukan guna menghindari kemungkinan adanya daerah yang tidak teramankan. Pelaksanaan saling meliputi dengan cara menghubungkan rele dengan trafo arus seperti contoh pada gambar 2.3.



Gambar 2.2 Diagram Satu garis yang menggambarkan pengamanan utama pada sebagian sistem tenaga



Gambar 2.3. Prinsip saling meliputi disekitar pemutus beban

Daerah pengamanan yang dibicarakan di atas adalah daerah jangkauan dari rele pengamanan utama, yaitu berarti rele pengamanan utama yang mendeteksi adanya gangguan hubungan singkat dan meneruskan sinyalnya untuk memutuskan rangkaian dengan pemutus beban (*Circuit Breaker*). Bila rele pengamanan utama gagal melaksanakan tugasnya, maka harus ada rele pengamanan kedua untuk menggantikan / meneruskan fungsi pengamanan. Rele pengamanan kedua itu disebut *back up relays*. Rele pengamanan kedua tersebut dapat dipasang pada titik lokasi dengan rele pengamanan utama atau dapat juga dengan rele pengamanan yang terletak di sisi selanjutnya yang berdampingan (ditempatkan pada lokasi / stasiun yang berlainan).

Sebagai contoh dari penempatan satu tempat dari rele pengamanan utama dan *back up* rele ini adalah pada pilot rele, sedangkan untuk hal kedua pada *distance* rele untuk SUTT. Sehingga *back up relay* mempunyai daerah jangkauan yang saling meliputi.<sup>6</sup>

<sup>6</sup>Hazairin Samaulah, 2004. *Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*. Unsri: (Hal:11-14).



---

## 2.4 Klasifikasi PMT

Klasifikasi Pemutus Tenaga dapat dibagi atas beberapa jenis, antara lain berdasarkan tegangan *rating*/nominal, jumlah mekanik penggerak, media isolasi, dan proses pemadaman busur api.

### 2.4.1 Berdasarkan besar / kelas tegangan (Um)

PMT dapat dibedakan menjadi :

1. PMT tegangan rendah (*Low Voltage*)

Dengan range tegangan 0.1 s/d 1 kV ( SPLN 1.1995 - 3.3 ).

2. PMT tegangan menengah (*Medium Voltage*)

Dengan range tegangan 1 s/d 35 kV ( SPLN 1.1995 – 3.4 ).

3. PMT tegangan tinggi (*High Voltage*)

Dengan range tegangan 35 s/d 245 kV ( SPLN 1.1995 – 3.5 ).

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

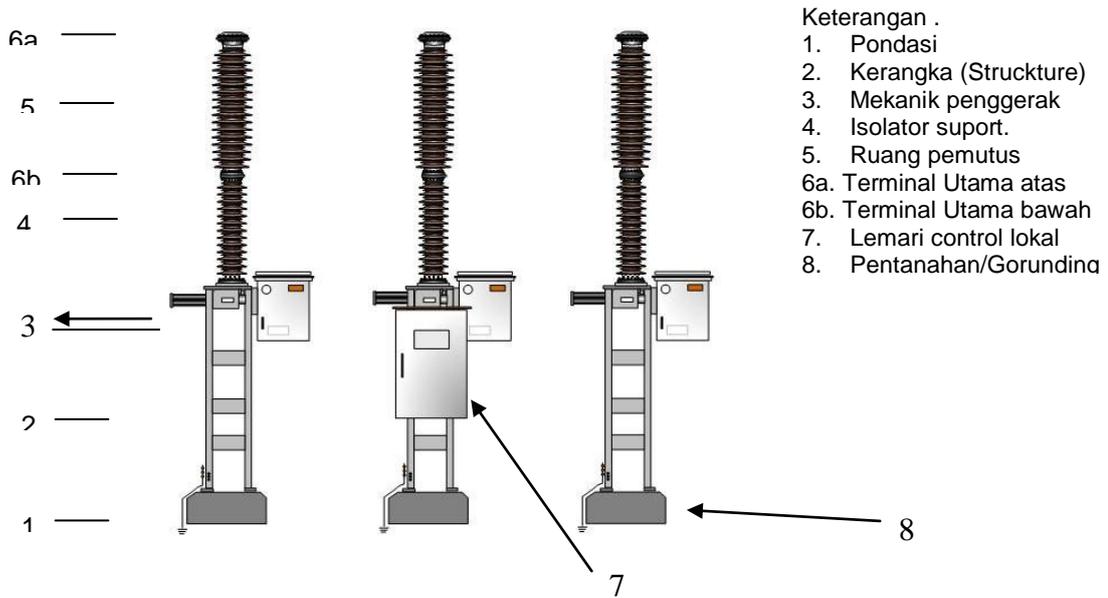
Dengan range tegangan lebih besar dari 245 kVAC ( SPLN 1.1995 – 3.6 ).

### 2.4.2 Berdasarkan jumlah mekanik penggerak / *tripping coil*

PMT dapat dibedakan menjadi :

#### 1. PMT *Single Pole*

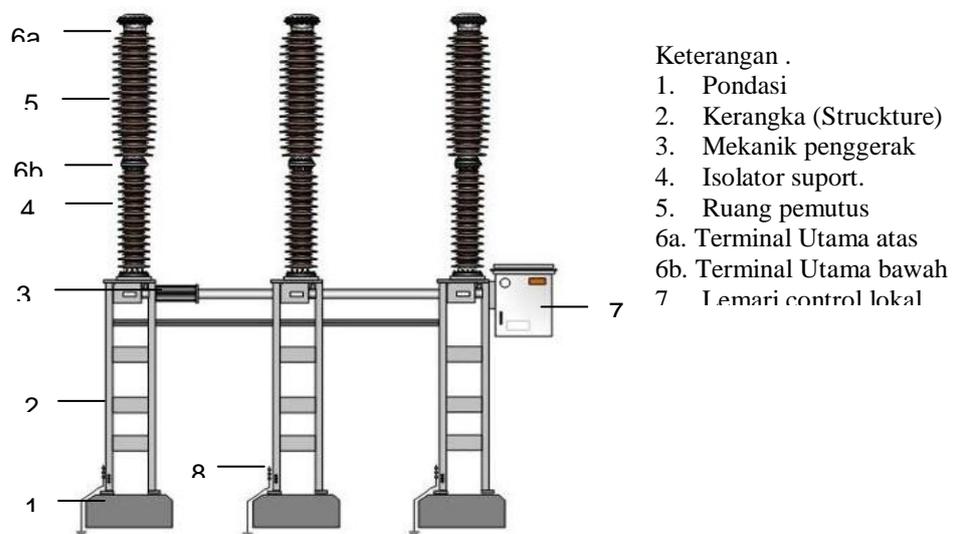
PMT type ini mempunyai mekanik penggerak pada masing-masing *pole*, umumnya PMT jenis ini dipasang pada bay penghantar agar PMT bisa reclose satu fasa.



Gambar 2.4. PMT *Single Pole*

## 2. PMT *Three Pole*

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



Gambar 2.5. PMT *Three Pole*

### 2.4.3 Berdasarkan media isolasi

Jenis PMT dapat dibedakan menjadi :

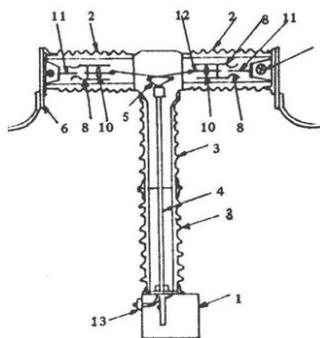
1. PMT Gas SF<sub>6</sub>
2. PMT Minyak (*Oil*)
3. PMT Udara Hembus (*Air Blast*)
4. PMT Hampa Udara (*Vacuum*)

### 2.4.4 Media pemadam busur api

Berfungsi sebagai media pemadam busur api yang timbul pada saat PMT bekerja membuka atau menutup. Berdasarkan media pemadam busur api, PMT dapat dibedakan menjadi beberapa macam, antara lain :

#### 2.4.4.1 Pemadaman busur api dengan gas SF<sub>6</sub>

Menggunakan gas SF<sub>6</sub> sebagai media pemadam busur api yang timbul pada waktu memutus arus listrik. Sebagai isolasi, gas SF<sub>6</sub> 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 SF<sub>6</sub> ditekan ke dalam suatu tabung/silinder yang menempel pada kontak bergerak. Pada waktu pemutusan, gas SF<sub>6</sub> ditekan melalui *nozzle* dan tiupan ini yang mematikan busur api.



Gambar 2.6. PMT Satu Katup dengan Gas SF<sub>6</sub>



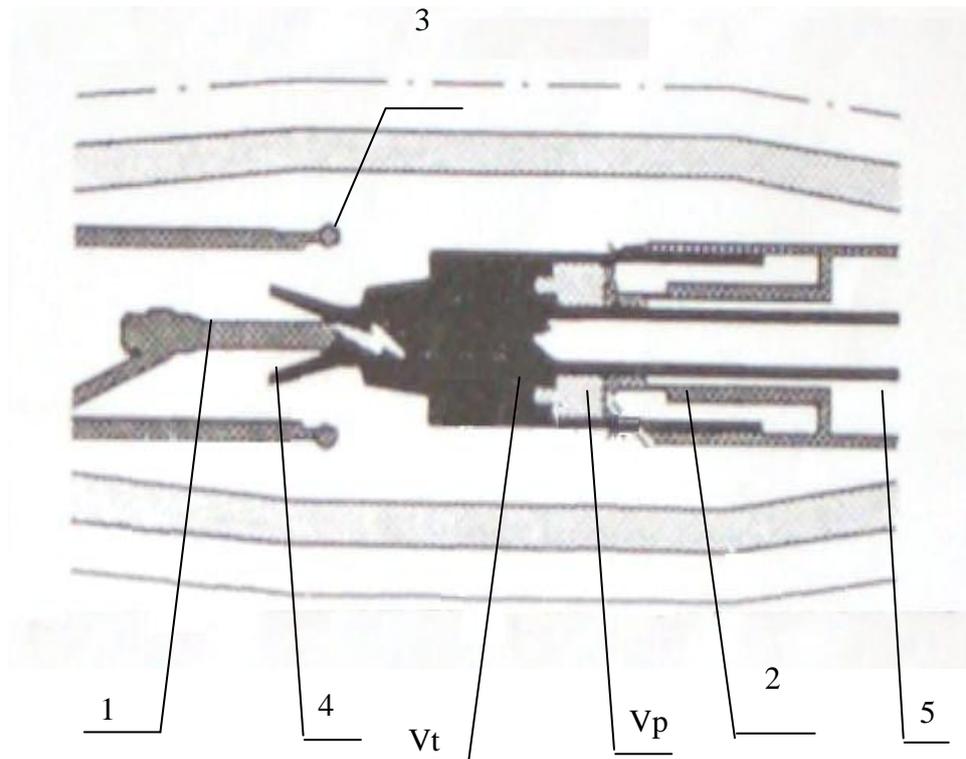
1. Mekanisme penggerak (operating mechanism).
2. Pemutus (interrupter).
3. Isolator penyangga dari porselen rongga (hollow support insulator porcelain).
4. Batang penggerak berisolasi glass Fibre (Fibre Glass Insulating Operating Rod).
5. Penyambung diantara no.4 dan no.12 (linkages).
6. Terminal-terminal.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

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

1. PMT Jenis Tekanan Tunggal (*single pressure type*)
2. PMT Jenis Tekanan Ganda (*double pressure type*)

### **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 2.7. Interrupting *chamber* PMT SF6 saat proses pemutusan arus listrik

1. Rod Kontak diam (*Fixed contacts rod*)
2. katup (*Valve*)
3. Kontak Utama (*Main contact*)
4. *Insulating Nozle*
5. Kontak bergerak (*The Moving Contact support*)

*Vt. Thermal Pressure*

*Vp. The Compression of the Volume*

## 2. PMT Jenis Tekanan Ganda

PMT terisi gas SF6 dengan sistim 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 SF6 dari sistem tekanan tinggi dialirkan melalui *nozle* ke sistem tekanan rendah. Gas pada sistem tekanan rendah kemudian dipompakan kembali ke sistem tekanan tinggi, saat ini PMT SF6 tipe ini sudah tidak diproduksi lagi.

---

#### **2.4.4.2 Pemadaman busur api dengan *oil* / minyak**

Menggunakan minyak isolasi sebagai media pemadam busur api yang timbul pada saat PMT bekerja membuka atau menutup.

Jenis PMT dengan minyak ini dapat dibedakan menjadi :

1. PMT menggunakan banyak minyak (*bulk oil*)
2. PMT menggunakan sedikit minyak (*small oil*)

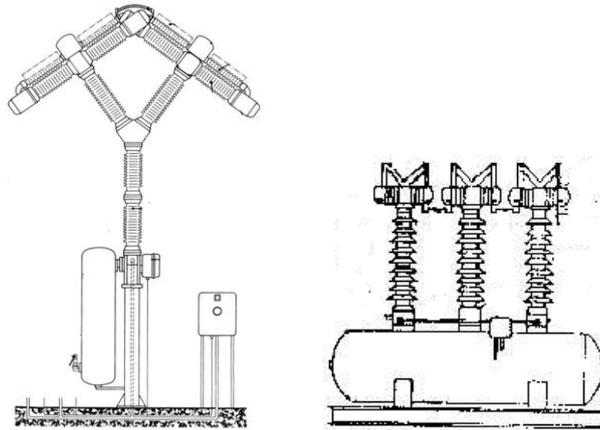
PMT jenis ini digunakan mulai dari tegangan menengah 6 kV sampai tegangan ekstra tinggi 425 kV dengan arus nominal 400 A sampai 1250 A dengan arus pemutusan simetris 12 kA sampai 50 kA.



Gambar 2.8. PMT Bulk *oil*

#### **2.4.4.3 Pemadaman busur api dengan udara hembus / *air blast***

PMT ini menggunakan udara sebagai media pemadam busur api dengan menghembuskan udara ke ruang pemutus. PMT ini disebut juga sebagai PMT Udara Hembus (*Air Blast*).

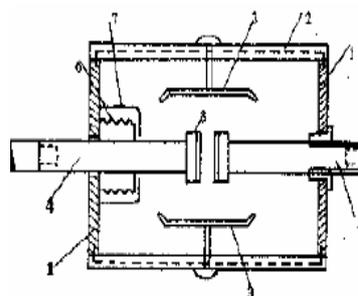


Gambar 2.9. PMT Udara Hembus / Air Blast

**2.4.4.4 Pemadaman busur api dengan hampa udara (*Vacuum*)**

Ruang hampa udara mempunyai kekuatan dielektrik (*dielektrik strength*) yang tinggi dan sebagai media pemadam busur api yang baik. Saat ini, PMT jenis *vacuum* umumnya digunakan untuk tegangan menengah (24kV). Jarak (*gap*) antara kedua katoda adalah 1 cm untuk 15 kV dan bertambah 0,2 cm setiap kenaikan tegangan 3 kV. Untuk pemutus vacuum tegangan tinggi, digunakan PMT jenis ini dengan dihubungkan secara seri.

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



1. Plat-plat penahan – bukan bahan magnet
2. Rumah pemutus dari bahan berisolasi
3. Pelindung dari embun uap
4. Kontak bergerak
5. Kontak tetap
6. Penghembus dari bahan logam
7. Tutup alat penghembus
8. Ujung kontak

Gambar 2.10. Ruang kontak utama (*breaking chamber*) pada PMT vacuum



Gambar 2.11. PMT dengan Hampa Udara (*vacuum*)

## 2.5 Sistem Penggerak

Berfungsi menggerakkan kontak gerak (*moving contact*) untuk operasi pemutusan atau penutupan PMT.

Terdapat beberapa jenis sistem penggerak pada PMT, antara lain :

### 2.5.1 Penggerak pegas (*Spring drive*)

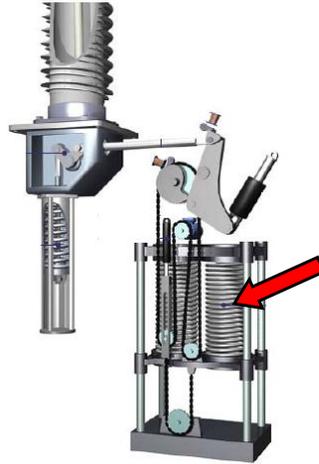
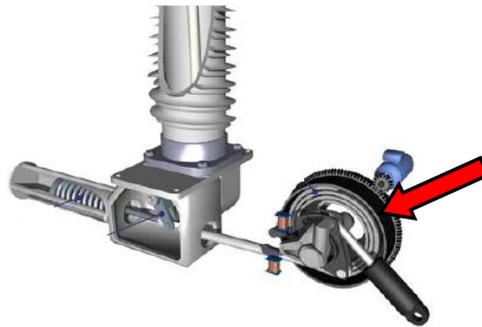
Mekanis penggerak PMT dengan menggunakan pegas (*spring*) terdiri dari 2 macam, yaitu :

1. **Pegas pilin (*helical spring*)**

PMT jenis ini menggunakan pegas pilin sebagai sumber tenaga penggerak yang di tarik atau di regangkan oleh motor melalui rantai.

2. **Pegas gulung (*scroll spring*)**

PMT ini menggunakan pegas gulung untuk sumber tenaga penggerak yang di putar oleh motor melalui roda gigi.

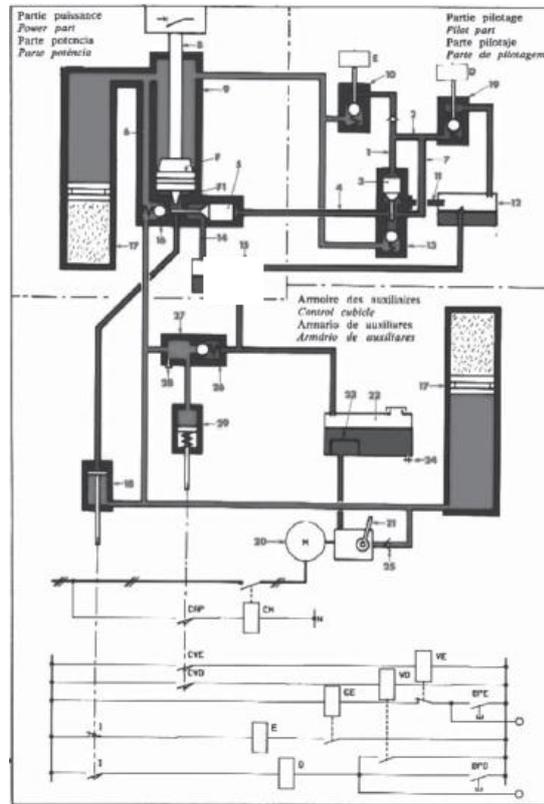
Gambar 2.12. Sistem pegas pilin (*helical*)Gambar 2.13. Sistem pegas gulung (*scroll*)

### 2.5.2 Penggerak hidrolis

Penggerak mekanis PMT hidrolis adalah rangkaian gabungan dari beberapa komponen mekanis, elektrik dan hidrolis *oil* yang dirangkai sedemikian rupa sehingga dapat berfungsi sebagai penggerak untuk membuka dan menutup PMT.

### 2.5.2.1 Skematik diagram hidrolik dan elektrik

Skematik diagram sistem hydraulic dan elektrik berikut, merupakan skematik sederhana untuk memudahkan pemahaman cara kerja sistem hydraulic dan keterkaitannya dengan sistem elektrik.



Gambar 2.14. Skematik diagram sistem hidrolik

Pada kondisi PMT membuka / keluar, sistem hidrolik tekanan tinggi tetap pada posisi seperti pada gambar piping diagram, di mana minyak hidrolik tekanan rendah (warna biru) bertekanan sama dengan tekanan Atmosfir dan (warna merah) bertekanan tinggi hingga 360 bar.

### 2.5.3 Penggerak pneumatic

Penggerak mekanik PMT pneumatic adalah rangkaian gabungan dari beberapa komponen mekanik, elektrik dan udara bertekanan yang dirangkai sedemikian rupa sehingga dapat berfungsi sebagai penggerak untuk membuka dan menutup PMT.



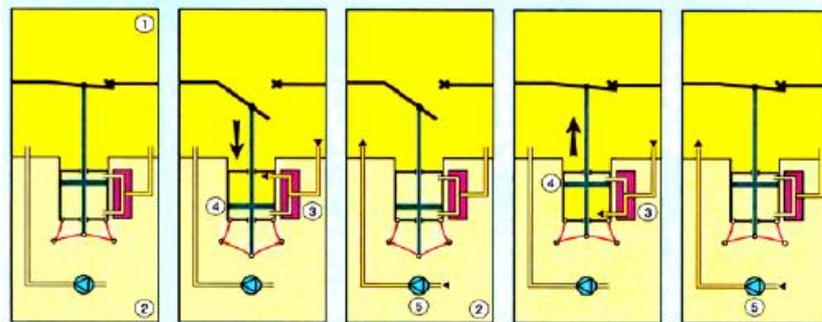
#### 2.5.4 SF6 gas dynamic

PMT jenis ini media memanfaatkan tekanan gas SF6 yang berfungsi ganda selain sebagai pemadam tekanan gas juga dimanfaatkan sebagai media penggerak.

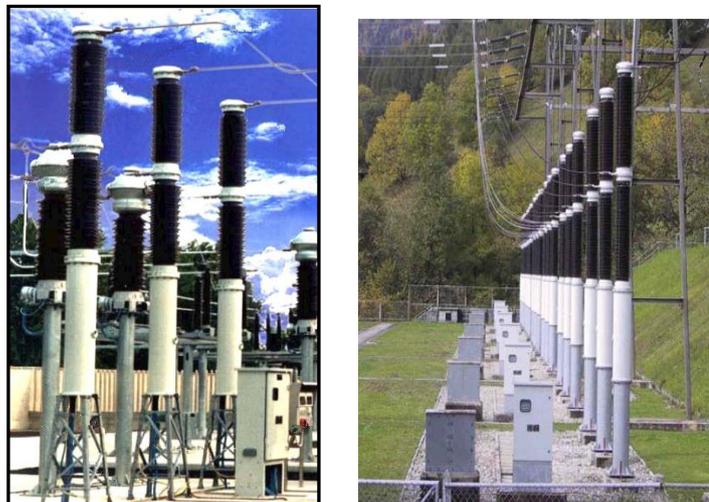
Setiap PMT terdiri dari 3 identik *pole*, dimana masing – masing merupakan unit komplet dari *Interrupter*, isolator tumpu, dan power aktuator yang digerakkan oleh gas SF6 masing – masing *pole* dalam *cycle* tertutup.

Energi untuk menggerakkan kontak utama terjadi karena adanya perbedaan tekanan gas SF6 antara :

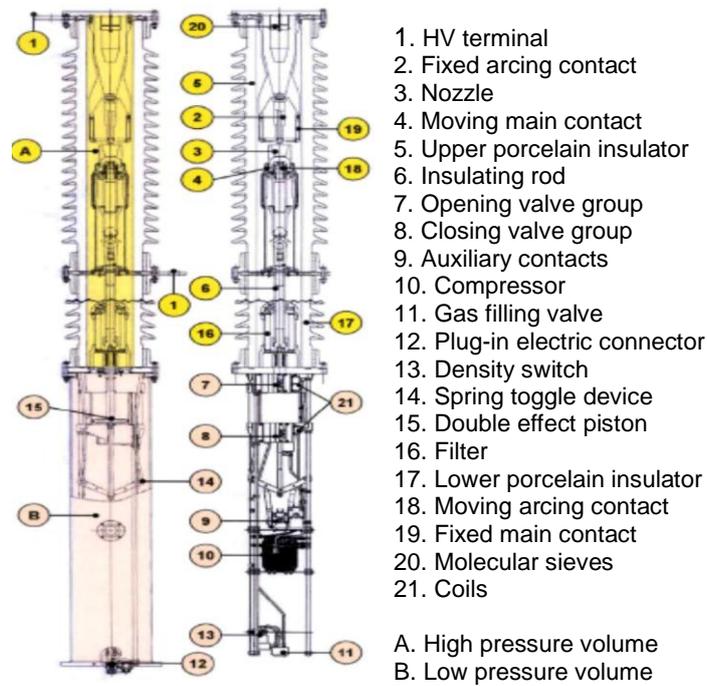
1. Volume yang terbentuk dalam *interrupter* dan isolastor tumpu.
2. Volume dalam enclosure mekanik penggerak.



Gambar 2.15. Diagram mekanisme operasi PMT SF6 dynamic



Gambar 2.16. PMT SF6 dynamic



Gambar 2.17. Skematik PMT SF6 dynamic

## 2.6 Komponen dan Fungsi

Sistem Pemutus (PMT) terdiri dari beberapa sub-sistem yang memiliki beberapa komponen. Pembagian komponen dan fungsi dilakukan *berdasarkan Failure Modes Effects Analysis (FMEA)*, sebagai berikut :

1. Penghantar arus listrik (*electrical current carrying*)
2. Sistem isolasi (*electrical insulation*)
3. Media pemadam busur api
4. Mekanik penggerak
5. *Control / Auxiliary circuit*
6. Struktur mekanik
7. Sistem pentanahan (*grounding*)<sup>7</sup>

<sup>7</sup> Tim Penyusun, 2009. *Buku Petunjuk Batasan Operasi dan Pemeliharaan Peralatan Penyaluran Tenaga Listrik*. Jakarta: PT.PLN (Persero).

### 2.6.1 Sistem dan fungsi

Tabel 2.1. Sistem dan Fungsi

Sistem	Fungsi
<i>Circuit Breaker (CB)</i> atau Pemutus Tenaga (PMT)	Menghubungkan atau memutuskan arus / daya listrik sesuai dengan ratingnya

### 2.6.2 Sub sistem dan fungsi

Tabel 2.2. Sub Sistem dan Fungsi

No	Sub Sistem	Fungsi
1	Penghantar arus listrik ( <i>electrical current carrying</i> )	Bagian konduktif untuk menghantarkan / mengalirkan arus listrik
2	Sistem isolasi ( <i>electrical insulation</i> )	Sebagai isolasi bagian yang bertegangan dengan yang tidak bertegangan serta antara bagian yang bertegangan
3	Media pemadam busur api	Sebagai media pemadam busur api yang timbul pada saat PMT bekerja membuka atau menutup
4	Mekanik penggerak	Bagian untuk menggerakkan kontak gerak ( <i>moving contact</i> ) untuk operasi pemutusan atau penutupan PMT
5	<i>Control / Auxilary circuit</i>	Sebagai tempat / wadah <i>secondary equipment</i> dan melindungi peralatan tegangan rendah, serta sebagai terminal wiring kontrol dan memberikan trigger untuk operasi PMT

6	Struktur mekanik	Sebagai dudukan struktur dan penyangga peralatan
7	Sistem <i>grounding</i>	Sebagai pengaman peralatan / orang terhadap tegangan lebih, arus bocor dan tegangan induksi

### 2.6.3 Sub sistem dan sub sub sistem komponen

Tabel 2.3. Sub Sistem dan sub sub sistem komponen

No	Sub sistem	Sub sub sistem	Komponen
1	Penghantar arus listrik ( <i>electrical current carrying</i> )	<i>Interrupter</i>	Kontak utama (bergerak dan tetap)
			Kontak <i>arcing</i>
		Asesoris <i>interrupter</i> (jika ada)	Resistor
			Kapasitor
		Terminal utama	-
2	Sistem isolasi ( <i>electrical insulation</i> )	Isolator <i>interrupter chamber</i>	-
		Isolator <i>support / penyangga</i>	-
3	Media pemadam busur api	-	-
4	Mekanik penggerak	-	-
5	<i>Control / Auxilary circuit</i>	Lemari mekanik / kontrol	-
		Terminal & wiring kontrol	-



6	Struktur mekanik	Struktur besi/baja atau beton	-
		Pondasi	-
7	Sistem <i>grounding</i>	-	-

Setiap PMT 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 kontinyu 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.

Tegangan pengenalan PMT dirancang untuk lokasi yang ketinggiannya maksimum 1000 meter diatas permukaan laut. Jika PMT dipasang pada lokasi yang ketinggiannya lebih dari 1000 meter, maka tegangan operasi maksimum



dari PMT tersebut harus dikoreksi dengan faktor yang diberikan pada tabel 2.4.<sup>8</sup>

Tabel 2.4. Faktor Koreksi antara Tegangan vs Lokasi

Ketinggian (meter)	Faktor Koreksi
1000	1,00
1212	0,98
1515	0,95
3030	0,80

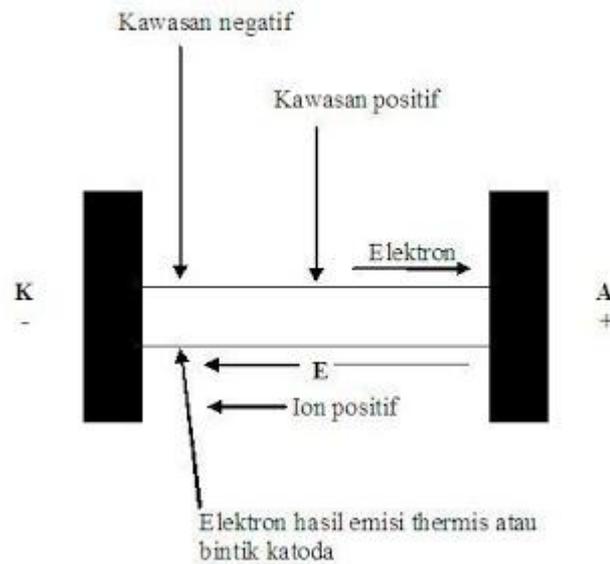
(Tobing, 2003: 37)

## 2.7 Proses Terjadinya Busur Api

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 2.18.

---

<sup>8</sup>Hanif Guntoro, 2008. *Circuit Breaker Saklar Pemutus Tenaga/PMT*, 2008. (<http://dunia-listrik.blogspot.com/2008/10/jenis-jenis-circuit-breaker-sakelar.html>, diakses pada 2 Mei 2014).



Gambar 2.18. 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



---

memperlama proses ionisasi, sehingga perpindahan muatan antar kontak terus berlangsung dan inilah yang disebut busur api.

Untuk memadamkan busur api tersebut perlu dilakukan usaha-usaha yang dapat menimbulkan proses deionisasi, antara lain dengan cara sebagai berikut:

1. Meniupkan udara ke sela kontak, sehingga partikel-partikel hasil ionisasi dijauhkan dari sela kontak.
2. Menyemburkan minyak isolasi kebusur api untuk memberi peluang yang lebih besar bagi proses rekombinasi.
3. Memotong busur api dengan tabir isolasi atau tabir logam, sehingga memberi peluang yang lebih besar bagi proses rekombinasi.
4. Membuat media pemisah kontak dari gas elektronegatif, sehingga elektron-elektron bebas tertangkap oleh molekul netral gas tersebut.

Jika pengurangan partikel bermuatan karena proses deionisasi lebih banyak daripada penambahan muatan karena proses ionisasi, maka busur api akan padam. Ketika busur api padam, di sela kontak akan tetap ada terpaan medan elektrik. Jika suatu saat terjadi terpaan medan elektrik yang lebih besar daripada kekuatan dielektrik media isolasi kontak, maka busur api akan terjadi lagi.<sup>9</sup>

## **2.8 Pemadaman Busur Listrik**

Busur listrik adalah suatu jenis pelepasan energi listrik antara elektroda- elektroda. Dalam pemutusan tenaga busur listrik berlangsung selama periode yang singkat sesudah pemisahan kontak-kontak yang membawa arus. Pemutus tenaga harus mampu memadamkan busur tanpa mengalami kerusakan. Busur memegang peranan penting terhadap karakteristik pemutus tenaga. Dalam busur arus bolak - balik, arus akan melewati titik nol arus dan busur akan lenyap sesaat. Pada saat inilah busur harus dicegah dari restriking kembali

---

<sup>9</sup>Hanif guntoro, 2008. *Circuit Breaker Saklar Pemutus Tenaga/PMT*, 2008. (<http://dunia-listrik.blogspot.com/2008/10/jenis-jenis-circuit-breaker-sakelar.html>, diakses pada 2 Mei 2014).

untuk kemudian dipadamkan.

Tugas pemadaman busur, walaupun tidak sering tetapi memberikan stress yang tertinggi pada pemutus tenaga. Cara-cara yang digunakan untuk pemadaman busur dapat diklasifikasikan dalam dua kategori sebagai berikut :

1. Pemutusan tahanan tinggi

Tahanan alur arus diperbesar bertahap yang akan menghasilkan tegangan jatuh yang meningkat. Busur akan padam jika tegangan system tidak lagi dapat mempertahankan busur karena nilai tegangan jatuh yang tinggi. Prinsip ini digunakan dalam pemutus arus searah dan pemutus arus bolak-balik jenis pemutusan udara yang kapasitasnya relative rendah dalam beberapa ratus MVA. Dalam metode ini panjang dan energi busur ditingkatkan, energi tersimpan dalam induktansi secara bertahap disisipkan dalam busur

2. Pemutus arus nol

Busur diputuskan pada saat nol arus natural bolak-balik dan kekuatan dielektrik antara celah kontak ditingkatkan sedemikian rupa sehingga dapat bertahan terhadap stress tegangan yang timbul.

### **2.8.1 Pemadaman busur dalam semburan udara**

Selama pemadaman busur dalam pemutus semburan udara, udara mengalir dari reservoir tekanan tinggi ke reservoir tekanan atmosfer yang rendah. Laju aliran diatur oleh diameter nosel. Desain diatur agar dicapai kecepatan aliran supersonik. Aliran aksial udara pada kecepatan tinggi menyebabkan pengurangan yang cepat dari diameter busur dan busur tidak akan muncul kembali setelah akhir nol arus.



---

### **2.8.2 Pemadaman busur dalam minyak**

Busur yang terjadi akan mengurangi minyak dielektrik. Gas-gas yang terbentuk karena dekomposisi minyak inilah akan menyebabkan peningkatan tekanan dalam ruangan pemadaman. Aliran gas ini mengalir melalui saluran ruang pemadam, maka busur mencoba meluas dengan saluran akan didinginkan oleh aliran gas ini. Gas mengandung sekitar 70 % yang mana memiliki kekuatan dielektrik yang baik. Sesudah pemadaman busur, ruang kontak segera diisi dengan minyak elektrik yang baru. Dalam beberapa pemutus tenaga, suatu piston diletakkan pada kontak gerak yang menyebabkan aliran minyak dalam ruang kontak. Hal ini akan memberikan jaminan cepatnya diperoleh kekuatan dielektrik. Dalam disain lain ruang pemadam diberi tekanan oleh gas nitrogen. Tekanan dalam minyak akan memberikan efek pembilasan ruang kontak dengan dielektrik yang segar sesudah akhir pemadam busur. Jumlah gas yang terbentuk selama pembusuran sebanding dengan arus busur.

### **2.8.3 Pemadaman busur dalam gas SF<sub>6</sub>**

Dalam plasma, sebagian besar arus dibawa oleh electron-elektron. Pada gas-gas tertentu seperti SF<sub>6</sub>, atom-atom dan molekul-molekul mempunyai sifat menarik electron untuk membentuk ion-ion negative. Ion-ion negative lebih berat dari electron dan bergerak lambat, jadi tahanan plasma meningkat pesat. Jadi gas electronegative seperti gas SF<sub>6</sub> adalah sangat baik sebagai pemadam busur.

Proses pemadaman busur pada gas SF<sub>6</sub> didasarkan atas prinsip disipasi panas aksial. Gas mengalir dari tekanan tinggi ke tekanan rendah melalui nozzle menuju busur, mengambil panas busur yang menyebabkan pengurangan diameter busur. Sesudah arus nol, media memperoleh kembali kekuatan dielektriknya dengan cepat. Sifat kembali kekuatan dielektrik ini disebabkan sifat elektronegatif dari gas.



---

#### **2.8.4 Pemadaman busur dalam vakum**

Saat kontak interufter vakum memisah, busur muncul diantaranya. Arus meninggalkan elektroda dari nilai yang kecil sampai yang paling besar. Kontak logam akan menguap dari spot ini. Aliran uap merupakan plasma dari busur vakum. Uap yang terbentuk sebanding dengan laju emisi penguapan yang juga sebanding dengan arus busur. Pada saat nol arus, plasma menjadi hilang. Jadi busur dipadamkan pada arus nol. Material dan bentuk kontak busur adalah sangat penting dalam disain pemutus vakum ini. Konstanta busur vakum adalah paling rendah.

#### **2.9 Proses Pemutus Tenaga Terhadap Gangguan**

Dalam kondisi operasi normal pemutus tenaga dapat dibuka atau ditutup oleh operator dengan maksud switching atau pemeliharaan. Dalam kondisi abnormal atau gangguan rele-rele akan memberikan reaksi terhadap gangguan dan menutup menutup rangkaian trip pemutus tenaga, kemudian pemutus tenaga membuka. Pemutus tenaga mempunyai dua posisi kerja , membuka dan menutup. Operasi pembukaan dan penutupan otomatis kontak-kontak dilakukan oleh mekanisme operasi pemutus tenaga. Busur dipadamkan pada titik nol arus netral arus bolak- balik.

#### **2.10 Mekanisme Kerja PMT**

Pemutus tenaga mempunyai dua posisi kerja, membuka dan menutup. Selama operasi penutupan, kontak-kontak penutup menutup melawan gaya-gaya saling berlawanan. Selama operasi pembukaan, kontak-kontak tertutup terpisah sedini mungkin. Mekanisme kerja pemutus tenaga harus melakukan gaya-gaya yang besar pada kecepatan yang tinggi. Waktu operasi antara saat penerimaan sinyal trip dan akhir pemisahan kontak dalam orde 0,03 detik (*1,5 cycle*) dalam pemutus tegangan tioni. Pada pemutus lambat yang digunakan dalam system distribusi, waktu ini sekitar 3 siklus. Ketika menutup, penutupan



kontak harus cepat dengan tekanan kontak yang tepat pada akhir perjalanan kontak. Jika kondisi ini tidak terpenuhi, pengelasan kontak dapat terjadi. Mekanisme harus mampu memberikan tugas khusus pemutus tenaga, kerja pembukaan dan penutupan.

### **2.10.1 Pembukaan jaringan**

- a. PMT dioperasikan (dilepas) lebih dahulu
- b. Sebelum pemisah dioperasikan apakah PMT sudah terbuka sempurna, apakah amperemeter menunjukkan angka nol.

Urutan pembukaan jaringan :

1. PMT
2. PMS
3. PMS tanah

Dalam operasi pembukaan, energi yang diperlukan untuk pembukaan dapat diperoleh dari salah satu metode tersebut :

- a. Pegas yang terbuka
- b. Minyak hidrolik tekanan tinggi yang tersimpan dalam akumulator.
- c. Udara kompresif tekanan tinggi yang dalam penerima udara .

Gerak termasuk kontak - kontak dan kaitannya dengan cepat untuk memperoleh karakteristik pembukaan yang diinginkan.

Selama operasi pembukaan ada gaya - gaya perlawanan seperti :

- a. Gaya-gaya elektromagnetik pada cengkaman kontak. Kontak-kontak jari adalah pegas terisi dan gaya cengkramannya melawan gaya kontak gerak. Selama hubung singkat, gaya-gaya elektromagnetik cenderung meningkatkan cengkraman pasangan kontak jari gaya cengkraman kontak meningkat sebanding dengan kuadrat arus.
- b. Gesekan. Berbagai lirik operasi, pembukaan bantalan, pembukaan



antara bagian-bagian gerak dan tepat, dan semuanya memberikan gesekan yang tinggi dan dapat mengurangi kecepatan awal dari kontak gerak yang mana dapat menghasilkan kegagalan pemutus dalam pemadaman busur.

- c. Inersia dari bagian-bagian gerak. Energi dari dalam mekanisme kerja dipakai dalam mempercepat sub – pasangan gerak untuk memperoleh kecepatan yang diinginkan.
- d. Gaya - gaya pelawan medium pemadam.

### **2.10.2 Penutupan jaringan**

- a. PMT dioperasikan setelah pemisah-pemisah dihubungkan.
- b. Setelah PMT dihubungkan diperiksa apakah terjadi kebocoran isolasi pada PMT.

Urutan penutupan jaringan :

1. PMS tanah
2. PMS
3. PMT

Secara normal, penutupan kontak-kontak pemutus tenaga dalam kondisi normal tidak menimbulkan persoalan. Mekanisme kerja harus mampu mengatasi gesekan dan mempercepat kontak gerak. Tetapi ketika pemutus tenaga menutup pada kondisi hubung singkat gaya elektromagnetik akan terlibat. Kapasitas penutupan pemutus tenaga tergantung atas gaya dan kecepatan pada waktu operasi penutupan dilakukan.

Selama operasi penutupan akan terjadi beberapa gaya perlawanan seperti :

- a. Gaya elektromagnetik antara kontak-kontak. Ketika kontak-kontak saling menyentuh pada operasi penutupan, gaya-gaya elektromagnetik akan muncul, yang besarnya berbanding kuadratis terhadap arus dan arahnya berlawanan terhadap arah penutupan.



Gaya-gaya ini besar jika pemutus menutup pada kondisi hubung singkat. Pemutus harus mampu menutup pada kondisi hubung singkat.

- b. Kerja pegas operasi. Kontak-kontak gerak pemutus terbuka dengan tekanan pegas. Ketika menutup, pegas ini melawan penutupan.
- c. Inersia dari sub-pasangan gerak kontak-kontak penahannya. Batang penegang, link operasi dari mekanisme kerja dan lain-lain. Massa sub pasangan ini cukup besar pada pemutus tenaga tegangan tinggi dan inersia melawan aksekarsi yang cepat.
- d. Gaya perlawanan karena medium seperti minyak gas SF<sub>6</sub>. sub-pasangan gerak harus bergerak dalam medium elektrik, dalam beberapa kasus pada tekanan yang tinggi.
- e. Gesekan. Gaya-gaya total pada mekanisme kerja harus lebih besar dari jumlah gaya-gaya pelawan yang sudah disebutkan.<sup>10</sup>

## **2.11 Sistem Per Unit**

Dalam Suatu system tenaga listrik terinterkoneksi yang memiliki berbagai tingkat tegangan dan macam – macam peralatan daya adalah lebih mudah untuk bekerja dan membuat perhitungan – perhitungan dengan mempergunakan besaran – besaran sistem pr unit (*pu*). Nilai pu dari suatu besaran didefinisikan sebagai:

$$\frac{\text{Nilai Aktual Suatu Besaran}}{\text{Nilai Acuan Besaran yang Sama}}$$

Dalam teknik tenaga listrik terdapat tiga besaran dasar, yaitu tegangan, arus dan impedansi. Bilamana dipilih dua besaran sebagai acuan, maka besaran ketiga akan dengan sendirinya memiliki nilai acuan juga. Misalnya bilamana V dan arus I merupakan besaran dasar, maka impedansi dasar sudah jelas karena:

<sup>10</sup> Hanif Guntoro, 2008. *Circuit Breaker Saklar Pemutus Tenaga/PMT*, 2008. (<http://dunia-listrik.blogspot.com/2008/10/jenis-jenis-circuit-breaker-sakelar.html>, diakses pada 2 Mei 2014).



$$Z = V/I \dots\dots\dots 1^{11}$$

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{(\text{tegangan dasar, kV})^2}{\text{MVA } 3\phi \text{ dasar}} \dots\dots\dots 2^{12}$$

$$\text{Impedansi sebenarnya} = R + jX \dots\dots\dots 3^{13}$$

$$Z \text{ sebenarnya} = \sqrt{R^2 + jX^2} \dots\dots\dots 4$$

Impedansi per-unit dari suatu elemen rangkaian

$$= \frac{\text{Impedansi sebenarnya, } \Omega}{\text{Impedansi dasar, } \Omega} \dots\dots\dots 5^{14}$$

$$Z_{pu} = \frac{Z \text{ sebenarnya}}{Z \text{ dasar}} pu \dots\dots\dots 6$$

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{(\text{tegangan dasar, kV}_{LL})^2 \times 1000}{\text{kVA}_{3\phi} \text{ dasar}} \dots\dots\dots 7$$

Dengan mensubstitusikan impedansi dasar yang diberikan dalam persamaan (7)

Kedalam persamaan (5), kita peroleh

$$= \frac{(\text{Impedansi sebenarnya, } \Omega) \times (\text{kVA dasar})}{(\text{tegangan dasar, kV})^2 \times 1000} \dots\dots\dots 8$$

Rumus diatas memperlihatkan bahwa impedansi per-unit berbanding lurus dengan kilovoltampere dasar dan berbanding terbalik dengan kuadrat tegangan dasar.

<sup>11</sup> Abdul Kadir, 1998. *Transmisi Tenaga Listrik*. Jakarta: Universitas Indonesia. (Hal:13)

<sup>12</sup> William D. Stevenson Jr., 1994. *Analisa Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta: Erlangga. (Hal:31)

<sup>13</sup> William D. Stevenson Jr., 1994. *Analisa Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta: Erlangga. (hal:144)

<sup>14</sup> William D. Stevenson Jr., 1994. *Analisa Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta: Erlangga. (hal:30)



Karena itu untuk mengubah dari impedansi per-unit menurut suatu dasar yang diberikan menjadi impedansi per-unit suatu dasar yang baru, dapat dipakai persamaan berikut:

$$Z_{baru\ per-unit} = Z_{diberikan\ per-unit} \left( \frac{kV\ diberikan\ dasar}{kV\ baru\ dasar} \right)^2 \times \left( \frac{MVA\ baru\ dasar}{MVA\ diberikan\ dasar} \right) \dots 9^{15}$$

$$Z_{pu\ sumber} = Z_{pu\ sumber} \times \left( \frac{kV\ sekunder}{kV\ primer} \right)^2 \dots 10$$

## 2.12 Impedansi Transformator

Untuk suatu transformator impedansi dapat ditinjau dari sisi tegangan tinggi atau tegangan rendahnya. Apabila persen atau per unit dari impedansi suatu transformator ditinjau dari sisi tegangan rendah nya, maka besarnya juga dipilih dari tegangan rendahnya.

$$Z_t = \frac{\text{Impedansi Transformator (\%)}}{100} \times 1pu \dots 11$$

## 2.13 Impedansi Pada Sisi 20 kV

Menentukan impedansi pada sisi 20 kV memerlukan data resistansi (R) dan reaktansi (X) pada jaringan penghantar yang digunakan pada Gardu Induk.

$$Z = (R + jX) \text{ ohm/km} \dots 12^{16}$$

$$Z_{pu} = \frac{Z \times MVA_d}{(kV_d)^2} \dots 13^{17}$$

<sup>15</sup> William D. Stevenson Jr., 1994. *Analisa Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta: Erlangga. (hal:32)

<sup>16</sup> Wahyudi Sarimun N, 2012. *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Bekasi: Garamond. (Hal:167)



---


$$ZL_{pu} = \frac{ZL \times MVA_d}{(kV_d)^2} \dots\dots\dots 14$$

### 2.14 Impedansi Total

Untuk mengetahui impedansi total, maka terlebih dahulu harus dicari impedansi sumber ( $Z_{sumber pu}$ ), impedansi transformator ( $Z_t pu$ ), dan impedansi pada penyulang ( $ZL pu$ ), kemudian dicari impedansi total dengan rumus:

$$Z_T = Z_{sumber pu} + Z_t pu + ZL pu \dots\dots\dots 13$$

### 2.15 Menghitung Besarnya Arus Hubung Singkat Tiga Fasa

Untuk mengetahui arus hubung singkat tiga fasa perlu diketahui transformator daya ( $pu$ ) sisi sekunder dengan menggunakan rumus:

$$V_{pu} = \frac{V_{aktual}}{V_{dasar}} \dots\dots\dots 14$$

$$V_{pu} = \frac{V_{sebenarnya}}{V_{dasar}} \dots\dots\dots 15$$

Maka arus hubung singkat tiga fasa adalah:

$$I_{hs 3\emptyset} = \frac{V(pu)}{Z_{Total(pu)}} \dots\dots\dots 16$$

Untuk mencari arus hubung singkat tiga fasa dalam amper, maka harus dicari dahulu arus dasarnya ( $I_d$ ) dengan rumus:

---

<sup>17</sup> Abdul Kadir, 1998. *Transmisi Tenaga Listrik*. Jakarta: Universitas Indonesia. (Hal:14)



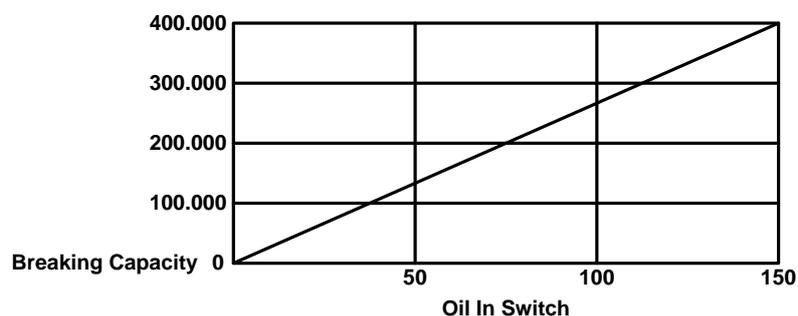
$$\text{Arus dasar, } A = \frac{kV_{3\phi} \text{ dasar}}{\sqrt{3} \times \text{tegangan dasar, } kV_{LL}} \dots\dots\dots 17^{18}$$

$$I_{3\phi} (\text{ampere}) = I_{3\phi} (\text{pu}) \times I_{\text{dasar}} \dots\dots\dots 18$$

## 2.16 Kapasitas Pemutusan

Ditentukan keadaan hubung singkat atau arus pemutusan yang didapatkan pada suatu keadaan khusus, selanjutnya ditentukan *switch* yang cocok selama keadaan tersebut berlangsung. Beberapa pabrik menetapkan tegangan dan arus yang diizinkan pada sebuah *switch*, juga kapasitas pemutusan maksimum.

Bagian selanjutnya karya tulis I.E.E dapat memberikan kejelasan hingga sekarang digunakan di Eropa mengenai waktu, ukuran yang sangat besar yang merupakan kriteria kapasitas pemutusan dan sebuah kurva (Gbr.2.19) yang memperlihatkan hubungan antara hal tersebut dengan banyaknya minyak.



Gambar 2.19. Kurva hubungan jumlah minyak dengan kapasitas pemutusan dari pemutus tenaga minyak.

Setiap sambungan antara fasilitas pemakai jaringan dengan jaringan transmisi harus dikontrol oleh PMT yang mampu memutuskan arus hubung singkat maksimum pada titik sambung. Berdasarkan permintaan, P3BS harus

<sup>18</sup> William D. Stevenson Jr., 1994. *Analisa Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta: Erlangga. (Hal:31)



memberikan nilai arus hubung singkat saat penyambungan dan yang akan datang, serta PMT saat berlangsung dan pada titik – titik sambungan terkait yang akan dibangun. (Peraturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik Sumatera No.37 Tahun 2008)

Tabel 2.5. Seleksi *rating* PMT

No.	kA Hubung singkat 1,5 kal proteksi	Seleksi rating kA CB
1.	0,97 kA – 7,74 kA	12,5 kA
2.	7,75 kA – 15,38 kA	25 kA
3.	15,39 kA – 27,33 kA	31,5 kA
4.	27,34 kA – 35,37 kA	50 kA
5.	35,38 kA – 51,68 kA	65 kA

Arus hubung singkat dikali 1,5 untuk menginginkan proteksi lebih dari 20% dan agar umur PMT pada gardu induk lebih panjang.

$$I_{CB} = I_{hs3\phi} \times 1,5 \text{ (SPLN 9B:1978)} \dots\dots\dots 19$$

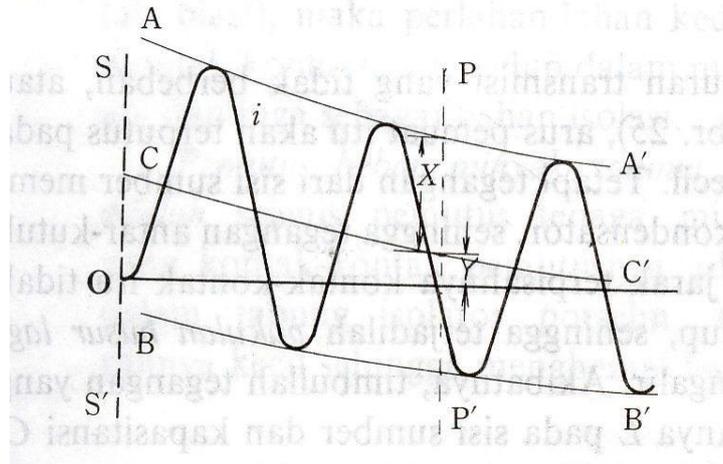
## 2.17 Pemutus Beban

Pemutus beban mempunyai beberapa pengenal (*rating*) dasar sebagai berikut :

a. Arus pemutusan dasar =  $X/\sqrt{2}$ .....20<sup>19</sup>

b. Arus pemutusan dasar asimetris =  $\sqrt{(X \sqrt{2})^2 + Y^2}$ .....21

<sup>19</sup> Arismunandar A.dan S. Kuwahara, 1997. *Teknik Tenaga Listrik*. Jakarta: Pradnya Pramita (Hal:25).



Gambar 2.20. Bentuk Gelombang Arus Pemutusan

Keterangan:

- $i$  : arus pemutusan
- AA' : sampul arus pemutusan
- BB' : sampul arus pemutusan
- CC' : garis tengah antar AA' dan BB'
- SS' : saat terjadi hubung-singkat
- PP' : saat terjadi busur api
- X : komponen simetris atau bolak-balik dari arus pemutusan waktu terjadi busur api.
- Y : komponen searah dari arus pemutusan waktu terjadi busur api.

Dimana X adalah amplituda arus komponen bolak-balik, sedang Y adalah komponen searah pada saat timbulnya busur api (lihat gbr. 2.20).

c. Kapasitas pemutusan dasar =  $\sqrt{3} \times (\text{arus pemutusan dasar}) \times (\text{tegangan dasar})$

Kapasitas pemutusa dasar bersangkutan dengan arus pemutusan dasar komponen yang simetris. Yang bersangkutan dengan arus pemutusan dasar asimetris adalah kapasitas pemutusan asimetris.

Waktu pemutusan dasar, yaitu jumlah dari waktu buka kontak dan waktu



---

berlangsungnya busur api. Waktu buka adalah jangka waktu mulai dari dimuatinya kumparan pembuka (*tripping coil*) sampai terbukanya kontak dari pemutus beban itu. Pada pemutus beban bolak-balik, karena padamnya busur pada waktu arus mencapai titik nolnya, maka berlangsungnya busur api itu harus dihitung 1 *cycle*. Ini berarti bahwa untuk pemutus beban 3-*cycle* yang sering dipakai untuk penutupan kembali (*reclosing*) pada saluran tegangan tinggi sekali waktu bukanya harus kurang dari 2-*cycle*. Waktu pemutusan dasar, selain 3-*cycle*, ada yang 5-*cycle*, 8 *cycle* dan sebagainya, sesuai dengan penggunaannya masing - masing.<sup>20</sup>

---

<sup>20</sup> Arismunandar A.dan S. Kuwahara, 1997. *Teknik Tenaga Listrik*. Jakarta: Pradnya Pramita (Hal:25-26).