



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pengertian Pemutus Tenaga (PMT)

*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 serta pada semua kondisi tegangan yang normal ataupun tidak normal.

Syarat – syarat yang harus dipenuhi oleh suatu PMT agar dapat melakukan hal- hal diatas, adalah sebagai berikut:

1. Mampu menyalurkan arus maksimum secara terus menerus.
2. Mampu memutuskan dan menutup jaringan dalam keadaan berbeban maupun terhubung singkat tanpa menimbulkan kerusakan pada pemutus tenaga itu sendiri.
3. Dapat memutuskan arus hubung singkat dengan kecepatan tinggi agar arus hubung singkat tidak sampai merusak peralatan sistem, membuat sistem kehilangan kestabilan, dan merusak pemutus tenaga itu sendiri.

Fungsi peralatan proteksi adalah untuk mengidentifikasi gangguan dan memisahkan bagian jaringan yang terganggu dari bagian lain yang masih sehat serta sekaligus mengamankan bagian yang masih sehat dari kerusakan atau kerugian yang lebih besar. Sistem Proteksi harus memenuhi syarat sebagai berikut:

1. Sensitif yaitu mampu merasakan gangguan sekecil apapun.
2. Handal yaitu akan bekerja bila diperlukan (*dependability*) dan tidak akan bekerja bila tidak diperlukan (*security*).
3. Selektif yaitu mampu memisahkan jaringan yang terganggu saja.
4. Cepat yaitu mampu bekerja secepat - cepatnya.



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 *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.<sup>1</sup>

## 2.2 Klasifikasi PMT Berdasarkan Besar / Kelas Tegangan

PMT dapat dibedakan menjadi 4 yaitu:

### 1. PMT Tegangan Rendah (*Low Voltage*)

Untuk jenis PMT tegangan rendah, kita tentunya sering menemukan jenis ini pada panel pembagi beban (Besaran yg efektif berkisar 15 A s/d 1500 A). Yang harus diperhatikan dalam jenis PMT ini adalah Tegangan efektif tertinggi dan frekuensi daya jaringan dimana pemutus daya itu akan dipasang. Nilainya tergantung pada jenis pentanahan titik netral sistem. Dan juga arus maksimum *continue* yang akan dialirkan melalui pemutus daya,

---

<sup>1</sup>Wahyudi Sarimun, *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, Garmond, Depok, 2012, hlm. 52-53.



dan nilai arus ini tergantung pada arus maksimum sumber daya atau arus nominal beban dimana pemutus daya tersebut terpasang. PMT ini mempunyai range tegangan 0.1 s/d 1 kV (SPLN 1.1995 - 3.3).

2. PMT Tegangan Menengah (*Medium Voltage*)

PMT tegangan menengah ini biasanya dipasang pada gardu induk, pada kabel masuk ke busbar tegangan (*Incoming Cubicel*) maupun pada setiap rel/busbar keluar (*Out Going Cubicle*) yang menuju penyulang keluar dari gardu induk. PMT ini mempunyai 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). Klasifikasi PMT untuk tegangan tinggi berdasarkan media insulator dan material dielektriknya, adalah terbagi menjadi empat jenis, yaitu:

- a) Sakelar PMT Minyak: Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 10 kA dan pada rangkaian bertegangan sampai 500 kV.
- b) Sakelar PMT Udara Hembus (*Air Blast Circuit Breaker*): Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 40 kA dan pada rangkaian bertegangan sampai 765 kV.
- c) Sakelar PMT vakum (*Vacuum Circuit Breaker*): Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus rangkaian bertegangan sampai 38 kV.
- d) Sakelar PMT Gas SF<sub>6</sub> (*SF<sub>6</sub> Circuit Breaker*): Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 40 kA dan pada rangkaian bertegangan sampai 765 kV.

#### 4. PMT Tegangan Extra Tinggi (*Extra High Voltage*)

PMT jenis ini biasanya dipasang di GITET (Gardu Induk Ekstra Tinggi) yang sudah memiliki bermacam-macam peralatan canggih. Salah satunya Gas Circuit Breaker (GCB). GCB merupakan pemutus tenaga yang menggunakan gas SF<sub>6</sub> sebagai bahan pemadam busur api. PMT ini memiliki range tegangan lebih besar dari 245 kVAC (SPLN 1.1995 – 3.6).

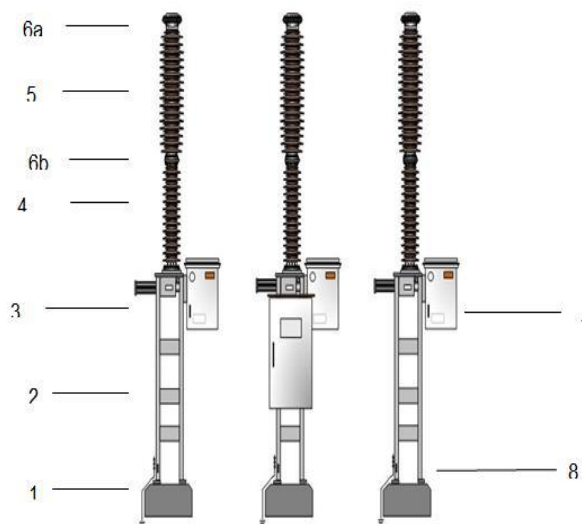
### 2.3 Klasifikasi PMT Berdasarkan Jumlah Mekanik dan Penggerak

PMT dapat dibedakan menjadi 2, yaitu:

1. PMT Single pole, dan
2. PMT Three Pole

#### 2.3.1 PMT Single Pole

PMT single pole (Gambar 2.1) ini mempunyai mekanik penggerak pada masing – masing pole, umumnya PMT jenis ini dipasang pada bay penghantar agar PMT bisa reclose satu fasa.



Gambar 2.1. PMT Single Pole<sup>2</sup>

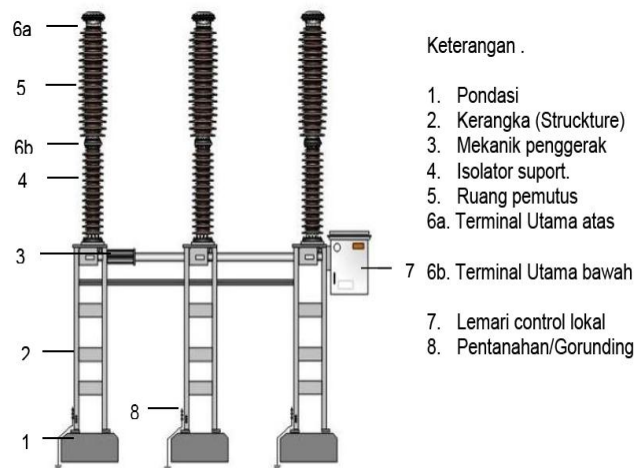
<sup>2</sup> PLN, *Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga*, Jakarta, 2014, hlm. 2.

Keterangan:

1. Pondasi.
2. Kerangka (*structure*).
3. Mekanik penggerak.
4. Isolator suport.
5. Ruang pemutus.
6. a. Terminal utama atas.  
b. Terminal utama bawah.
7. Lemari control local.
8. Pentanahan / grounding.

### 2.3.2 PMT Three Pole

PMT three pole (Gambar 2.2) mempunyai satu mekanik penggerak untuk tiga fasa, guna menghubungkan fasa satu dengan fasa lainnya dilengkapi dengan kopel mekanik, umumnya PMT jenis ini dipasang pada bay trafo dan bay kopel serta PMT 20 kV untuk distribusi.



Gambar 2.2. PMT Three Pole<sup>3</sup>

<sup>3</sup> PLN, *Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga*, Jakarta, 2014, hlm. 3.

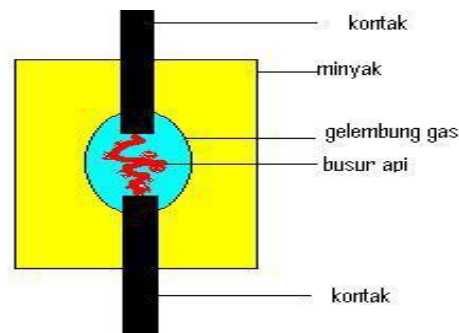
## 2.4 Klasifikasi PMT Berdasarkan Media Isolasi

PMT memiliki beberapa media isolasi yaitu :

1. Pemutus Tenaga (PMT) Media Minyak (*Oil Circuit Breaker*)
2. Pemutus Tenaga (PMT) Media Udara Hembus (*Air Blast Circuit Breaker*)
3. Pemutus Tenaga (PMT) Media Vakum (*Vacuum Circuit Breaker*)
4. Pemutus Tenaga (PMT) Media Gas SF<sub>6</sub> (*SF<sub>6</sub> Circuit Breaker*)

### 2.4.1 PMT Media Minyak (*Oil Circuit Breaker*)

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 seperti pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Pemadaman Busur Api Pada PMT Minyak<sup>4</sup>

Gas yang timbul karena dekomposisi minyak menimbulkan tekanan terhadap minyak, sehingga minyak terdorong kebawah melalui leher bilik. Di leher bilik, minyak ini melakukan kontak yang intim dengan busur api. Hal ini akan

<sup>4</sup>Wahyudi Sarimun, *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, Garmond, Depok, 2012, hlm. 55.

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 system yang membutuhkan pemutusan arus yang cepat. Gambar 2.4 adalah *Oil Circuit Breaker* yang ada pada gardu induk.



Gambar 2.4. *Oil Circuit Breaker*<sup>5</sup>

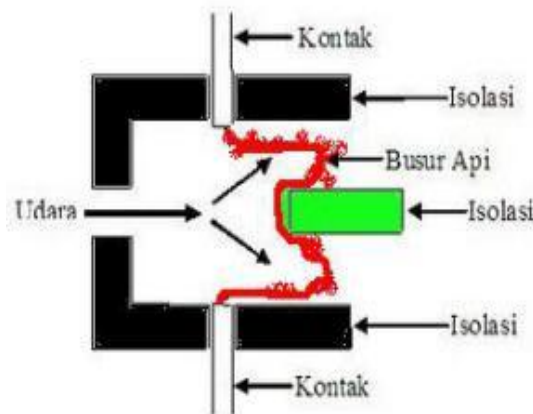
Sakelar PMT minyak terbagi menjadi 2 jenis, yaitu:

1. Sakelar PMT dengan banyak menggunakan minyak (*Bulk Oil Circuit Breaker*), pada tipe ini minyak berfungsi sebagai peredam loncatan bunga api listrik selama terjadi pemutusan kontak dan sebagai isolator antara bagian-bagian yang bertegangan dengan badan, jenis PMT ini juga ada yang dilengkapi dengan alat pembatas busur api listrik.
2. Sakelar 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 isolator dari bagian - bagian yang bertegangan digunakan porselen atau material isolasi dari jenis organic.

<sup>5</sup> Ditjeng Marsudi, *Pembangkitan Energi Listrik*, Erlangga, Jakarta, 2011, hlm. 18.

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

Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 40 kA dan pada rangkaian bertegangan sampai 765 kV. PMT udara hembus (Gambar 2.5) 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 ke busur api dipadamkan oleh hembusan udara tekanan tinggi itu dan juga menyingkirkan partikel - partikel bermuatan dari sela kontak, udara ini juga berfungsi untuk mencegah *restriking voltage* (tegangan pukul ulang).



Gambar 2.5. Pemadaman Busur Api Pada PMT Air Blast<sup>6</sup>

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.

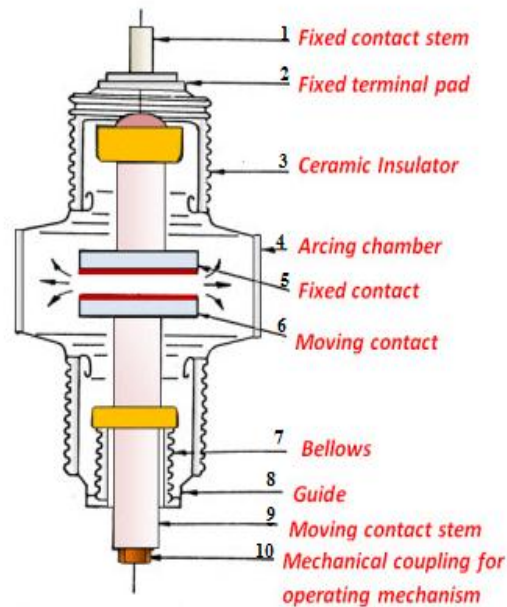
#### 2.4.3 PMT Media Vakum (*Vacuum Circuit Breaker*)

*Vacuum Circuit Breaker* adalah perangkat yang mengganggu sirkuit listrik untuk mencegah arus listrik yang tidak beralasan yang disebabkan oleh korsleting, biasanya akibat dari kelebihan beban. Fungsionalitas dasarnya adalah untuk

<sup>6</sup>Wahyudi Sarimun, *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, Garmond, Depok, 2012, hlm. 57.



mengganggu aliran arus setelah kesalahan terdeteksi. Sebuah pemutus sirkuit vakum adalah sejenis pemutus sirkuit di mana pencabutan busur terjadi dalam medium vakum. Pengoperasian pengaktifan dan penutupan kontak pembawa arus dan interupsi busur yang saling berkaitan berlangsung di ruang hampa udara dalam pemutus yang disebut *Vacuum Interrupter*.



Gambar 2.6. Bagian - Bagian *Vacuum Interrupter*<sup>7</sup>

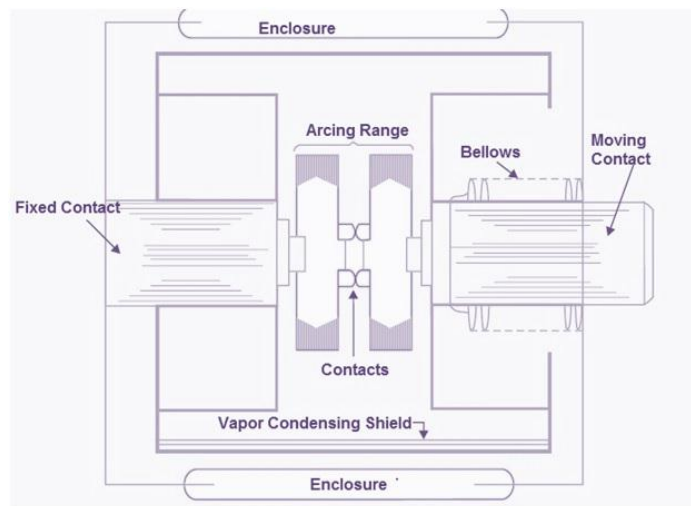
Keterangan :

1. Batang Kontak Tetap (*Fixed contact stem*).
2. Terminal Pad Tetap (*Fixed terminal pad*).
3. Isolator Keramik (*Ceramic insulator*).
4. Ruang Busur (*Arcing chamber*).
5. Kontak Tetap (*Fixed contact*).
6. Kontak Bergerak (*Moving contac*).
7. Puputan (*Bellows*).
8. Pemandu Batang Kontak Bergerak (*Guide Moving contact stem*).

<sup>7</sup> Tarun Agarwal, "Vacuum Circuit Breaker Bekerja dan Aplikasi", diakses dari <http://www.Elprocus.com/vacuum-circuit-breaker-working-applications/>, pada tanggal 6 Juni 2019 pukul 14.00.

9. Kopling Mekanis Untuk Mekanisme Operasi (*Mechanical coupling for operating mechanism*).

Pemutus sirkuit vakum terdiri dari ruang busur baja di isolator keramik yang diatur secara simetris. Bahan yang digunakan untuk kontak pembawa saat ini memainkan peran penting dalam kinerja pemutus sirkuit vacuum. Paduan seperti, *Copper-bismuth* atau *copper-chrome* adalah bahan yang ideal untuk membuat kontak VCB.



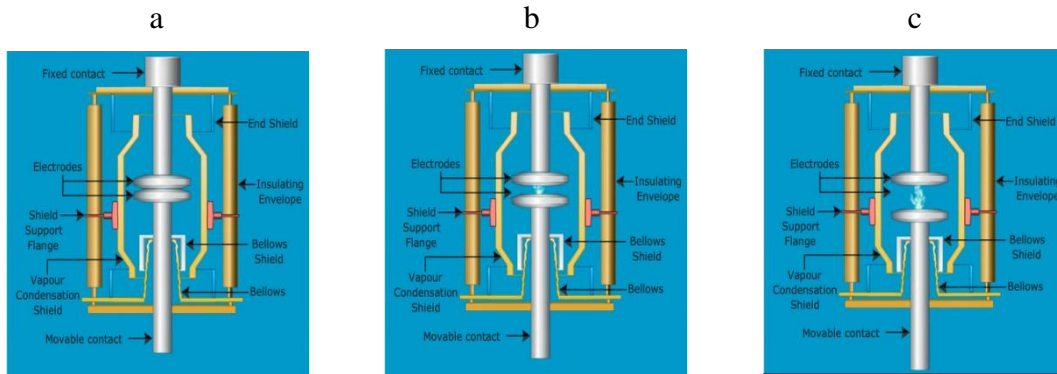
Gambar 2.7. Konstruksi Vacuum Circuit Breaker<sup>8</sup>

Dari gambar yang ditunjukkan di atas, pemutus sirkuit Vacuum terdiri dari kontak tetap, kontak bergerak dan Vacuum Interrupter. Kontak yang bergerak terhubung ke mekanisme kontrol dengan baja stainless di bawah. Pelindung busur didukung pada rumah isolasi sehingga menutupi pada pelindung ini dan dicegah dari kondensasi pada selungkup isolasi. Kemungkinan kebocoran dihilangkan karena penyegelan ruang vakum yang permanen untuk itu bejana gelas atau bejana keramik digunakan sebagai badan insulasi luar.

<sup>8</sup> Tarun Agarwal, "Vacuum Circuit Breaker Bekerja dan Aplikasi", diakses dari <http://www.Elprocus.com/vacuum-circuit-breaker-working-applications/>, pada tanggal 6 Juni 2019 pukul 14.00.

### 2.4.3.1 Prinsip Kerja Pemutus Vacuum Circuit Breaker

Produksi busur dalam pemutus Vacuum Circuit Breaker dan kepunahannya dapat dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 2.8. Prinsip Kerja Pemutus Vacuum Circuit Breaker<sup>9</sup>

Pemutus tenaga / *Circuit Breaker (CB)* dengan media Vacuum, menggunakan sistem penggunaan pegas (spring) untuk mengamankan sisi 6 Kv pada Motor Boiler Feed Water Pump yang terdapat di PLTGU Keramasan unit 2.

Berikut prinsip kerja *Circuit Breaker (CB)*, yaitu:

1. Kontak *Circuit Breaker* dalam keadaan tersambung atau close, dapat dilihat pada gambar 2.8 a.
2. Kemudian salah satu kontak pada *Circuit Breaker (CB)* bergerak untuk membuka atau open, yang akan menimbulkan busur api, yang terjadi karena pada saat kontak *Circuit Breaker (CB)* dipisahkan dalam ruang hampa ( $10^{-7}$  hingga  $10^{-5}$  torr), dapat dilihat pada gambar 4.3 b.
3. Produksi busur disebabkan oleh ionisasi logam dan sangat bergantung pada bahan kontak, Busur cepat dipadamkan karena uap logam elektron, dan ion yang dihasilkan selama busur tersebar dalam waktu singkat dan diserap oleh permukaan kontak *Circuit Breaker*, karena Vacuum mempunyai tingkat pemulihan kekuatan dielektrik yang sangat cepat maka kepunahan Vacuum cepat di padamkan, dapat dilihat pada gambar 4.3 c.

<sup>9</sup> Star Telugu, "Vacuum Circuit Breaker", diakses dari [https://youtu.be/z\\_gvoeET32M](https://youtu.be/z_gvoeET32M), diakses pada tanggal 20 Mei 2019 pukul 10.00.



### 2.4.3.2 Keuntungan dan Kerugian dari Pemutus Vacuum Circuit Breaker

#### a. Keuntungan :

1. Pemutus Vacuum Circuit Breaker Tidak memerlukan minyak dan gas Sebagai media peredam busur api.
2. Memiliki kekuatan dielektrik yang tinggi dan kemampuan material untuk bisa tahan terhadap tegangan tinggi tanpa berakibat terjadinya kegagalan dan mengandung Uap logam, Elektron, dan Ion yang tersebar dalam Vacuum.
3. Pemutus Vacuum memiliki umur yang panjang biasanya tahan sampai (20 tahun).
4. Tidak ada bahaya kebakaran karena Vacuum Circuit Breaker langsung meredam busur api yang timbul dalam ruang hampa dengan cepat sehingga kemungkinan kecil terjadi kebakaran.
5. Vacuum Circuit Breaker bisa beroperasi berulang kali secara manual dan automatic sesuai dengan keinginan untuk beroperasi.
6. Dalam pemeliharaan Vacuum Circuit Breaker tidak banyak memerlukan perawatan karena Vacuum Circuit Breaker tidak memiliki banyak konstruksi yang membutuhkan banyak perawatan atau hampir bebas perawatan
7. Saat beroperasi Vacuum Circuit Breaker tidak akan menimbulkan polusi dan tidak mempunyai suara pada saat Vacuum Circuit Breaker beroperasi.

#### b. Kerugian :

1. Pada tegangan yang melebihi 38 Kv harus menggunakan 2 buah Vacuum Circuit Breaker harus di pasang secara seri sehingga tidak ekonomis untuk digunakan pada tegangan yang melebihi 28 Kv.
2. Dalam memproduksi Vacuum Circuit Breaker harus memahami persyaratan teknologi apa saja yang harus dilakukan dalam



menggunakan produksi interruptsi Vacuum untuk menghindari hal-hal yang tidak diinginkan pada saat Vacuum beroperasi.

3. Biaya pemutus menjadi berebihan pada tegangan yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa ada tegangan tinggi (di atas 38 kV) lebih dari dua nomor pemutus sedikit harus dihubungkan secara seri dan harga 1 buah.<sup>10</sup>

#### **2.4.4 PMT Media Gas SF<sub>6</sub> (*SF<sub>6</sub> 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*). 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. Gambar 2.9 adalah *SF<sub>6</sub> circuit breaker* yang ada pada gardu induk.

---

<sup>10</sup> Tarun Agarwal, “Vacuum Circuit Breaker Bekerja dan Aplikasi”, diakses dari <http://www.Elprocus.com/vacuum-circuit-breaker-working-applications/>, pada tanggal 6 Juni 2019 pukul 14.00.



Gambar 2.9. *SF<sub>6</sub> Circuit Breaker*<sup>11</sup>

Selama pengisian, gas SF<sub>6</sub> akan menjadi dingin jika keluar dari tangki penyimpanan dan akan panas kembali jika dipompakan untuk pengisian ke dalam 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.

## 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:

---

<sup>11</sup>Wahyudi Sarimun, *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, Garmond, Depok, 2012, hlm. 58.

### 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.



Gambar 2.10. Sistem Pegas Pilin (*Helical*)<sup>12</sup>

### 2. Pegas Gulung (*Scroll Spring*)

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



Gambar 2.11. Sistem Pegas Gulung (*Scroll*)<sup>13</sup>

<sup>12</sup> PLN, *Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga*, Jakarta, 2014, hlm. 10.

<sup>13</sup> PLN, *Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga*, Jakarta, 2014, hlm. 11.

## 2.5.2 Penggerak Hidrolik

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

### 1. Penggerak Pneumatic

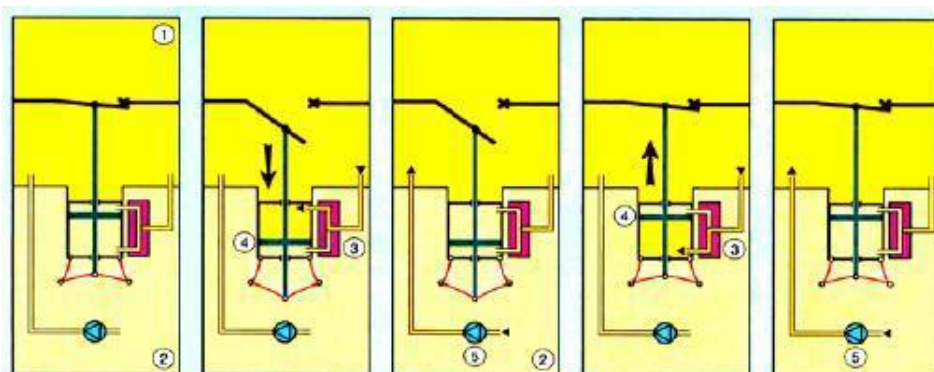
Penggerak mekanik PMT pneumatic adalah rangkaian gabungan dari beberapa komponen mekanik, elektrik dan udara bertekanan yang dirangkai sedemikian rupa sehingga dapat berfungsi sebagai penggerak untuk membuka dan menutup PMT.

### 2. 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 komplit 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 isolator tumpu.
2. Volume dalam enclosure mekanik penggerak.<sup>14</sup>



Gambar 2.12. Diagram mekanisme operasi PMT SF6 dynamic<sup>15</sup>

<sup>14</sup> PLN, *Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga*, Jakarta, 2014, hlm. 11-12.

<sup>15</sup> PLN, *Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga*, Jakarta, 2014, hlm. 12.





## 2.6 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.

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 electron bebas ke anoda menimbulkan arus dan memanaskan kontak anoda. Ion positif yang tiba dikontak 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.

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 ke busur api untuk member 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 medium pemisah kontak dari gas elektro negatif, sehingga elektron - elektron bebas tertangkap oleh molekul netral gas tersebut.

Jika pengurangan partikel bermuatan karena proses deionisasi lebih banyak dari pada penambahan muatan karena proses ionisasi, maka busur api akan padam. Ketika busur api padam, disela kontak akan tetap ada terpaan medan elektrik. Jika suatu saat terjadi terpaan medan elektrik yang lebih besar dari pada kekuatan dielektrik media isolasi kontak, maka busur api akan terjadi lagi.

## **2.7 Pemadaman Busur Api**

Suatu pemutus daya dinyatakan berhasil memutuskan hubungan rangkaian jika selama kontak terbuka, arus yang melalui sela kontak sama dengan nol, atau tidak terjadi busur api lagi pada sela kontak. Ketika busur api padam, di sela kontak akan tetap ada medan elektrik. Jika kuat medan elektrik pada sela kontak lebih besar dari pada kekuatan elektrik medium di sela kontak, maka busur api akan terjadi lagi.

Tujuan akhir pemadaman busur api adalah untuk membuat arus pada sela kontak sama dengan nol. Membuat arus searah menjadi nol berbeda dengan membuat arus bolak balik menjadi nol. Oleh karena itu, pemadaman busur api pada pemutus daya searah berbeda dengan pemadaman busur api pada pemutus daya bolak - balik sebagai berikut:

### **2.7.1 Pemadaman Busur Api Arus Searah**

Secara alami, arus searah tidak pernah nol. Ada dua cara membuat arus searah menjadi nol, yaitu:

1. Membuat jatuh tegangan (V) pada busur api sama atau lebih besar dari pada tegangan system.
2. Menginjeksikan arus yang berlawanan arah dengan arus pada busur api.

Cara pertama di lakukan pada pemutus daya berkapasitas dan bertegangan rendah, sedangkan cara kedua dilakukan pada daya bertegangan tinggi. Pada cara



pertama jatuh tegangan pada busur api di perbesar dengan menaikkan resistansi busur api. Menaikan resistansi busur api bisa dilakukan dengan tiga cara yaitu:

1. Memperpanjang lintasan busur api.
2. Menekan permukaan busur api supaya diameter busur api semakin kecil.
3. Memotong busur api dengan beberapa plat logam sehingga membentuk segmen segmen busur api pendek yang terhubung secara seri. Setiap segmen busur api mengalami pengerutan sehingga resistansi seluruh segmen busur api lebih besar dari pada resistansi busur api tanpa plat logam.

Cara kedua adalah membuat arus pada busur api sama dengan nol, yaitu dengan menghubungkan suatu kapasitor bermuatan ke terminal pemutus daya dengan polaritas yang berlawanan.

### **2.7.2 Pemadaman Busur Api Arus Bolak Balik**

Secara alamiah, dalam satu periode, arus bolak balik dua kali bernilai nol. Agar arus terus bernilai nol, setelah arus bernilai nol yang pertama, pembentukan busur api yang berikutnya harus di cegah. Pencegahan dilakukan dengan deionisasi. Deionisasi akan mengurangi lektron bebas, sehingga konduktivitas busur api berkurang. Pengurangan konduktivitas mengakibatkan resistansi busur api semakin besar. Penambahan resistansi busur api akan memperkecil arus pada sela kontak pemutus daya dan cenderung menjadi nol.

Jika pengurangan partikel bermuatan karena proses deionisasi lebih banyak dari pada penambahan muatan karena proses ionisasi, maka busur api akan padam. Usaha-usaha yang dilakukan untuk menimbulkan proses deionisasi, antara lain adalah sebagai berikut:

1. Meniupkan udara kesela kontak, sehingga busur api mengalami pendinginan dan partikel – partikel hasil ionisasi terdorong menjauhi sela kontak.
2. Menyemburkan minyak atau gas isolasi ke busur api untuk mendinginkan busur api sehingga peluang bagi proses rekombinasi semakin besar.



3. Memotong busur api dengan tabir isolasi atau tabir logam, sehingga member peluang yang lebih besar bagi proses rekombinasi.
4. Membuat medium pemisah kontak dari bahan gas elektron negatif, sehingga elektron-elektron bebas tertangkap oleh molekul netral gas tersebut.<sup>16</sup>

## 2.8 Peraturan dan Ketentuan Pemeliharaan Pemutus Tenaga

Dalam proses pelaksanaan pemeliharaan pemutus tenaga, harus sesuai dengan peraturan dan ketentuan yang berlaku, sebagai pedoman dalam pelaksanaan kegiatan pemeliharaan tersebut. Berdasarkan FMEA / FMECA tahun 2008, PLN melaksanakan dan menganalisa terhadap efek modus gangguan yang terjadi pada komponen peralatan sehingga uraian kegiatan dalam review Buku Pemeliharaan Peralatan SE.032/PST/1984 dan suplemennya mengalami perubahan, pemeliharaan PMT terdiri dari:

- a. Pemeliharaan Preventive (*Time Base Maintenance*)
- b. Pemeliharaan Prediktif (*Conditional Maintenance*)
- c. Pemeliharaan Korektif (*Corective Maintenance*)
- d. Pemeliharaan Darurat (*Breakdown Maintenance*)

Pemeriksaan dan pemeliharaan Pemutus Tenaga (PMT) dengan media gas SF<sub>6</sub> biasanya sesuai dengan petunjuk pabriknya akan tetapi secara umum, meliputi:

- a. Pemeriksaan dan Pemeliharaan Harian
- b. Pemeriksaan dan Pemeliharaan Bulanan
- c. Pemeriksaan dan Pemeliharaan Tahunan
- d. Pemeriksaan dan Pemeliharaan Overhaul

---

<sup>16</sup> Bonggas L. Tobing, *Peralatan Tegangan Tinggi*, Erlangga, Jakarta, 2012, hlm. 17-18.



## 2.9 Peraturan dan Ketentuan Pengujian Pemutus Tenaga

Pada proses pengujian pemutus tenaga, terdapat tiga jenis pengujian, yaitu sebagai berikut:

### 2.9.1 Pengukuran Tahanan Isolasi

Batasan tahanan isolasi PMT sesuai Buku Pemeliharaan Peralatan SE.032/PST/1984 dan menurut standard VDE (catalogue 228/4) minimum besarnya tahanan isolasi pada suhu operasi dihitung “1 kilo Volt = 1 M $\Omega$  (Mega Ohm)”. Dengan catatan 1 kV = besarnya tegangan fasa terhadap tanah, kebocoran arus yang diijinkan setiap kV = 1 mA.

Syarat Tahanan Isolasi:

Berdasarkan PUIL 1987 (Pasal 220.B.1) syarat pengujian tahanan isolasi adalah:

1. Resistansi isolasi dari bagian instalasi dalam ruangan yang kering harus mempunyai nilai sekurang-kurangnya 1000 ohm per satu volt tegangan nominal.
2. Bagian instalasi yang diukur adalah yang terletak diantara dua pengaman arus lebih dan yang terletak sesudah pengaman arus yang terakhir.<sup>17</sup>

### 2.9.2 Pengukuran Tahanan Kontak

Nilai tahanan kontak PMT yang normal (acuan awal) harus disesuaikan dengan petunjuk / manual dari masing – masing pabrikan PMT (dikarenakan nilai ini dapat berbeda antar merk), sebagai contoh adalah sebagai berikut :

- a. Standard G.E.  $\leq 100 - 350 \mu\Omega$ .
- b. Standard ASEA  $\leq 45 \mu\Omega$ .
- c. Standard MG  $\leq 35 \mu\Omega$ .

Menurut panduan pemeliharaan CB oleh *United States Department of The Interior Bureau of Reclamation* tahun 1999 yaitu tahanan kontak maksimum

---

<sup>17</sup> PLN, *Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga*, Jakarta, 2014, hlm. 64.



adalah 50 Micro Ohm untuk Vacuum Circuit Breaker pada rating tegangan 5 – 15 kV dan arus nominal 2000 A.

Berdasarkan hukum ohm, dapat diketahui besar tegangan yang terjadi pada kontak PMT dengan menggunakan persamaan:

$$V = I \times R \quad (2.1)$$

Keterangan:

I = Arus Mjolner 600 Micro Meter.

V = Tegangan Kontak

R = Tahanan Kontak (Ohm)

Berdasarkan IEC 449, IEC 60479 dan PUIL 2000, batas maksimum tegangan yang aman untuk manusia adalah 50 volt untuk arus bolak balik (AC) dan 120 volt untuk arus searah (DC).<sup>18</sup>

### 2.9.3 Pengukuran Keserempakan (*Breaker Analyzer*)

Pengujian keserempakan bertujuan untuk mengukur kecepatan waktu kerja Circuit Breaker pada saat buka (*Trip*) dan tutup (*Close*). Dari pengukuran tersebut, kecepatan waktu kerja Circuit Breaker tidak boleh memiliki perbedaan waktu yang besar berdasarkan standar PLN SK/114/DIR/2010 perbedaan waktu ( $\Delta t$ ) tidak boleh melebihi dari 10 Milidetik.

$$\Delta t = t_{\text{maks}} - t_{\text{min}} \quad (2.2)$$

Dengan:

$\Delta t$  = Selisih waktu.

$t_{\text{maks}}$  = Waktu tertinggi.

$t_{\text{min}}$  = Waktu terendah.

Batas maksimum waktu kerja PMT sesuai dengan:

1. *SPLN No 52-1 1983* untuk sistem 70 KV = 150 milli detik.
2. *SPLN No 52-1 1984* untuk sistem 150 kV = 120 milli detik, dan
3. Final draft *Grid Code 2002* untuk sistem 500 kV = 90 milli detik dapat terpenuhi.

<sup>18</sup> Buku Pemeliharaan CB, *United States Department of The Interior Bureau of Reclamation*, 1999.