

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Pemutus Tenaga¹

Berdasarkan IEV (International Electrotechnical Vocabulary) 441-14-20 disebutkan bahwa Circuit Breaker (CB) atau Pemutus Tenaga (PMT) merupakan peralatan saklar / switching mekanis, yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal serta mampu menutup, mengalirkan (dalam periode waktu tertentu) dan memutus arus beban dalam spesifik kondisi abnormal / gangguan seperti kondisi short circuit / hubung singkat.

Sedangkan definisi PMT berdasarkan IEEE C37.100:1992 (Standard definitions for power switchgear) adalah merupakan peralatan saklar/ switching mekanis, yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal sesuai dengan ratingnya serta mampu menutup, mengalirkan (dalam periode waktu tertentu) dan memutus arus beban dalam spesifik kondisi abnormal/gangguan sesuai dengan ratingnya.

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 PMT untuk proteksi saluran tenaga listrik adalah sebagai berikut:²

1. Mampu menyalurkan arus maksimum sistem secara terus-menerus.
2. Mampu memutuskan dan menutup jaringan dalam keadaan berbeban maupun terhubung singkat tanpa menimbulkan kerusakan pada pemutus tenaga itu sendiri.

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.

¹ PLN, Buku Pedoman Pemutus Tenaga, 2014, hlm 1

² Ir. Wahyudi Sarimun N. MT., *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik*



Setiap PMT dirancang sesuai dengan tugas yang akan dipikulnya, ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam rancangan suatu PMT, yaitu:³

- a. Tegangan efektif tertinggi dan frekuensi daya jaringan dimana pemutus daya itu akan dipasang. Nilainya tergantung pada jenis pentanahan titik netral sistem.
- b. 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.
- c. Arus hubung singkat maksimum yang akan diputuskan pemutus daya tersebut.
- d. Lamanya maksimum arus hubung singkat yang boleh berlangsung.
- e. Jarak bebas antara bagian yang bertegangan tinggi dengan objek lain disekitarnya.
- f. Jarak rambat arus bocor pada isolatornya.
- g. Iklim dan ketinggian lokasi penempatan pemutus daya.

2.2. Klasifikasi Pemutus Tenaga (PMT)⁴

Klasifikasi Pemutus Tenaga dapat dibagi atas beberapa jenis, antara lain berdasarkan tegangan rating/nominal, jumlah mekanik penggerak, media isolasi, dan proses pemadaman busur api jenis gas SF₆.

2.2.1. Berdasarkan Besar/Kelas Tegangan (Um)

PMT dapat dibedakan menjadi :

- a. PMT tegangan rendah (Low Voltage)
Dengan range tegangan 0.1 s/d 1 kV (SPLN 1.1995 - 3.3).
- b. PMT tegangan menengah (Medium Voltage)
Dengan range tegangan 1 s/d 35 kV (SPLN 1.1995 – 3.4).
- c. PMT tegangan tinggi (High Voltage)
Dengan range tegangan 35 s/d 245 kV (SPLN 1.1995 – 3.5).

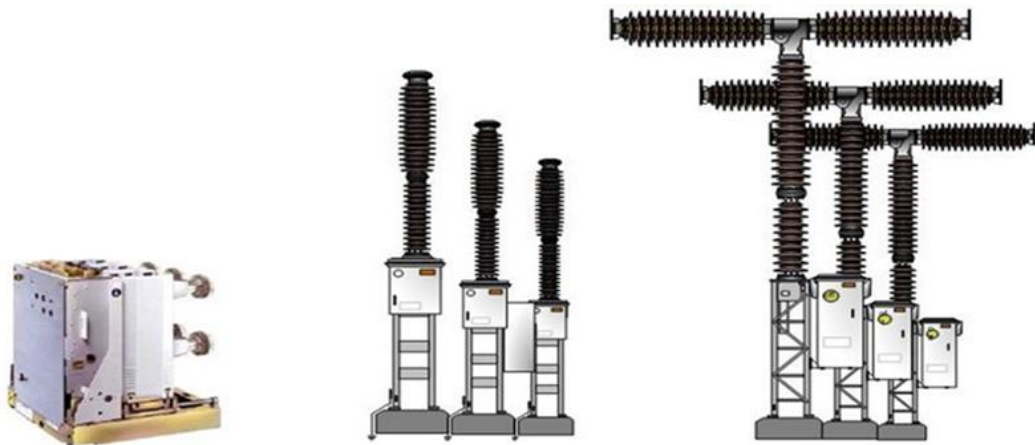
³ Ibid

⁴ PLN, Buku Pedoman Pemutus Tenaga, 2014, hlm 1-9



d. PMT tegangan extra tinggi (Extra High Voltage)

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

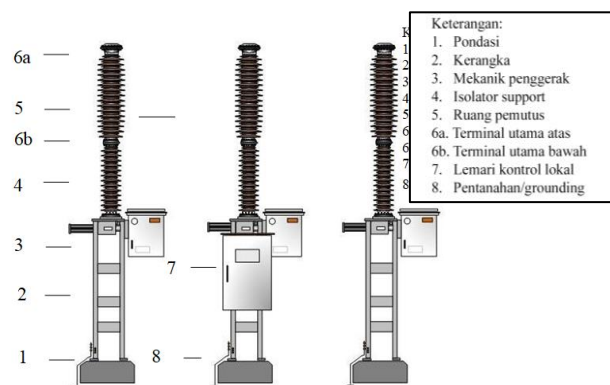


Gambar 2. 1. Macam-Macam PMT

2.2.2. Berdasarkan Jumlah Mekanik Penggerak/Tripping Coil

a. Pemutus Tenaga 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.



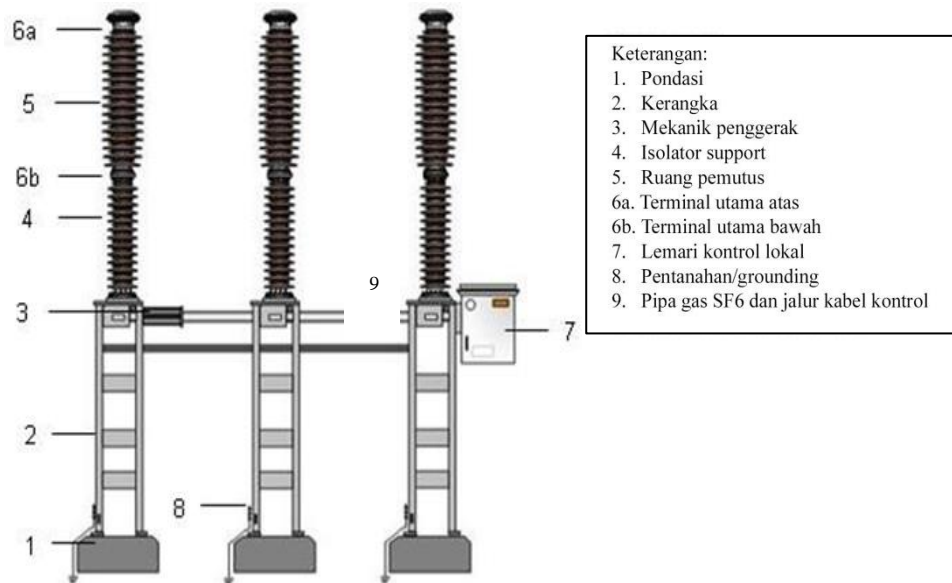
Gambar 2. 2. PMT Single Pole

b. Pemutus Tenaga 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. 3. PMT Three Pole

2.2.3. Pemutus Tenaga Berdasar Media Isolasi

Jenis PMT dapat dibedakan menjadi:

1. PMT Gas SF6
2. PMT Minyak
3. PMT Udara Hembus(Air Blast)
4. PMT Hampa Udara (Vacuum)

2.2.4. Pemutus Tenaga Berdasarkan Proses Pemadaman Busur Api

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

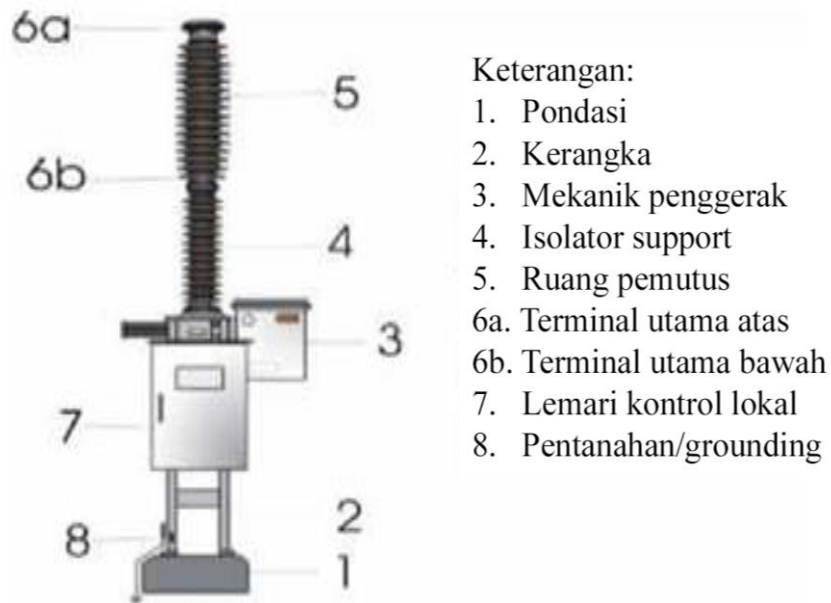
1. PMT Jenis Tekanan Tunggal (single pressure type)
2. PMT Jenis Tekanan Ganda (double pressure type)

2.3. Komponen dan Fungsi PMT

Sistem Pemutus (PMT) terdiri dari beberapa sub-sistem yang memiliki beberapa komponen sebagai berikut :



1. Primary
2. Dielectric
3. Driving Mechanism
4. Secondary



Gambar 2. 4. Bagian-Bagian Utama PMT

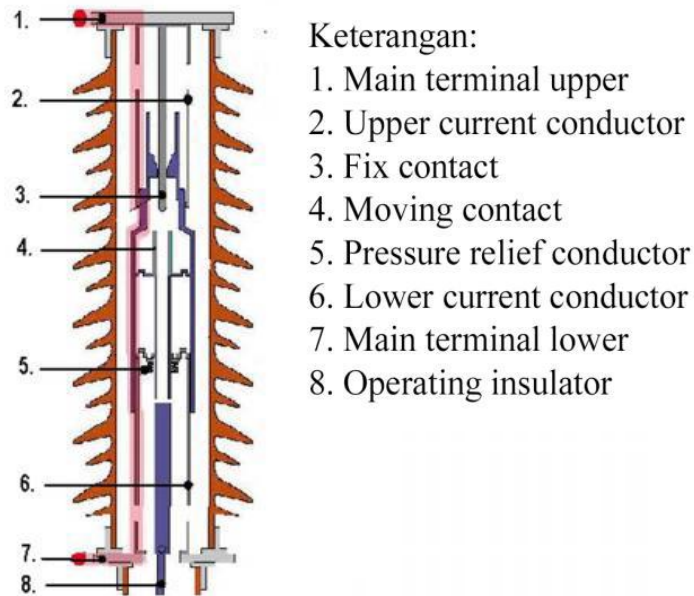
2.3.1. Primary

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.

a. 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 2. 5. Interrupter

b. 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 2. 6. Terminal Utama

2.3.2. Dielectric

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

a. Electrical Insulation (Isolator)



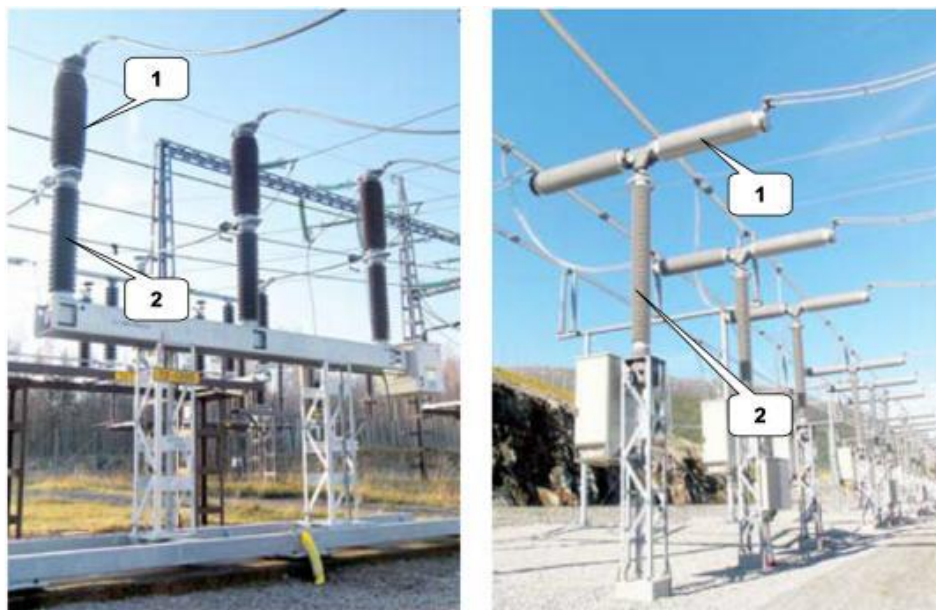
Pada Pemutus (PMT) terdiri dari 2 (dua) bagian isolasi yang berupa isolator, yaitu:

1. Isolator Ruang Pemutus (Interrupting Chamber)

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

2. Isolator Penyangga (Isolator Support)

Merupakan isolator yang berada pada penyangga/support (2)



Gambar 2. 7. Isolator pada Interrupting Chamber dan Support

2.3.3. Mekanisme Penggerak (Operating Mechanism)

Mekanisme penggerak berfungsi menggerakkan kontak bergerak untuk pemutusan dan penutupan dari PMT.

Pada PMT media gas SF₆ mekanisme penggeraknya terdiri dari :

a. Mekanisme penggerak PMT pegas (spring)

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

1. Pegas Pilin (helical spring)

PMT jenis ini menggunakan pegaspilin sebagai sumber tenaga penggerak



yang di tarik atau di regangkan oleh motor melalui rantai.



Gambar 2. 8. Sistem Pegas Pilin

2. Pegas Gulung (scroll spring)

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



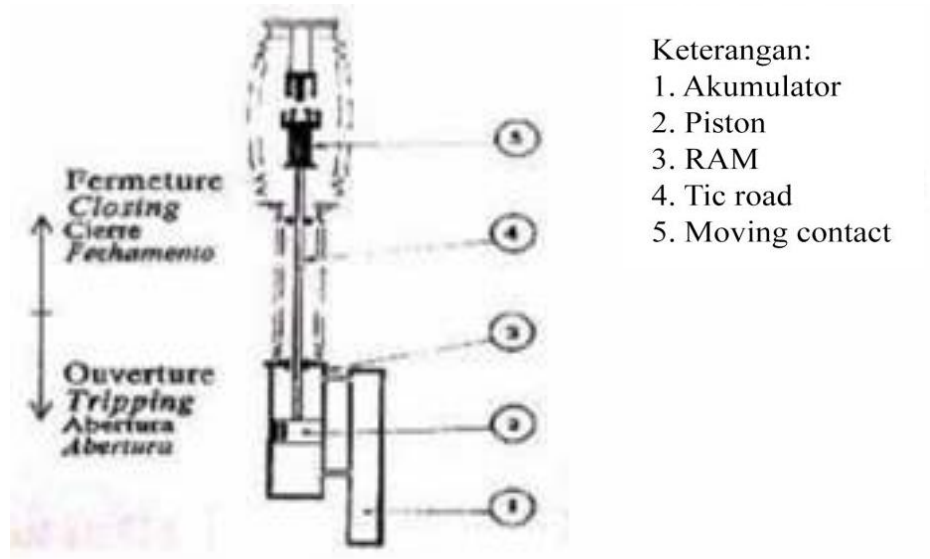
Gambar 2. 9. Sistem Pegas Gulung

b. Mekanik Penggerak Jenis Hidrolik

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



membuka dan menutup PMT.



Gambar 2. 10. Mekanik penggerak Jenis Hidrolik

c. Mekanisme Penggerak Jenis Pneumatic

Sistem Pneumatic pada pemutus tenaga (PMT) adalah merupakan salah satu sistem penggerak kontak (moving contact) dari PMT yang menggunakan media udara sebagai energi penggerakannya. Pada beberapa PMT tekanan system udara ini mencapai 30 bar, akan tetapi tekanan udara nominal bisa lebih besar atau lebih kecil dari 30 bar bervariasi tergantung tipe dan merk PMT tersebut.

2.3.4. Secondary

Sub sistem secondary berfungsi mengirim sinyal kontrol/trigger untuk mengaktifkan subsistem mekanik pada waktu yang tepat, bagian subsistem secondary terdiri dari:

a. Lemari mekanik / control

Lemari mekanik / control berfungsi untuk melindungi peralatan tegangan rendah dan sebagai tempat secondary equipment.



Gambar 2. 11. Lemari Mekanik Kontrol

b. Terminal dan Wiring control

Terminal dan Wiring control berfungsi sebagai terminal wiring kontrol PMTserta memberikan trigger pada mekanik penggerak untuk operasi PMT.



Gambar 2. 12. Terminal dan Wiring control

2.4. Media Pemadam Busur Api

Berfungsi sebagai media pemadam busur api yang timbul pada saat PMT bekerja membuka atau menutup. Berdasarkan media pemadam busur api,



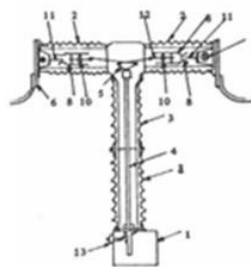
PMT dapat dibedakan menjadi beberapa macam, antara lain:

2.4.1. Media Pemadam Busur Api dengan Gas SF₆

Berfungsi sebagai media pemadam busur api yang timbul pada saat PMT bekerja membuka atau menutup. Pada PMT gas SF₆ ini media pemadam busur apinya adalah gas Sulfur Hexa Flourida (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 penambahan tekanan.

Umumnya PMT jenis ini merupakan tipe tekanan tunggal, 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
2. Pemutus
3. Isolator penyangga dari porselen rongga
4. Batang penggerak berisolasi glass fibre
5. Penyambung diantara no. 4 dan no. 12
6. Terminal-terminal
7. Saringan
8. Silinder bergerak
9. Torak tetap
10. Kontak tetap

Gambar 2. 13. PMT Satu Katup dengan Gas SF₆

2.4.2. Media Pemadam Busur Api dengan 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:

- PMT menggunakan banyak minyak (bulk oil)
- PMT menggunakan banyak minyak (bulk oil)

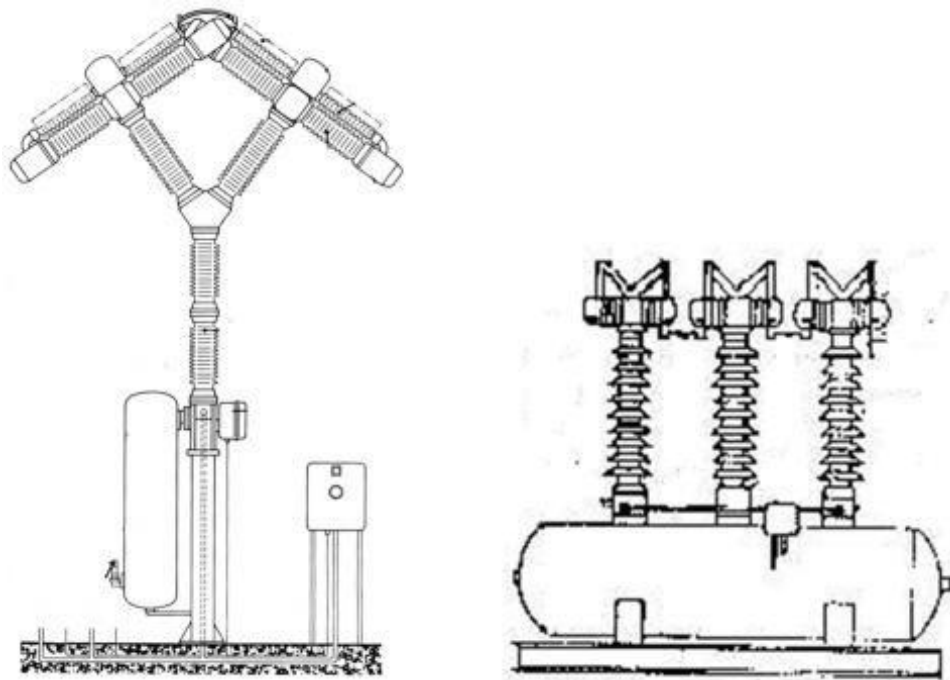
PMT jenis ini digunakan mulai dari tegangan menengah 6 kV sampai tegangan ekstra tinggi 425 kV dengan arus nominal 400 A sampai 1250 A dengan arus pemutusan simetris 12 kA sampai 50 kA.



Gambar 2. 14. PMT Bulk Oil

2.4.3. Pemadam 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).



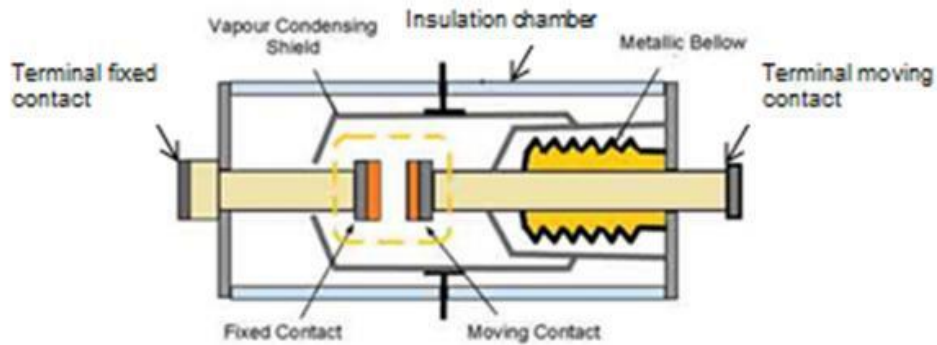
Gambar 2. 15. PMT Udara Hembus/Air Blast

2.4.4. Pemadam 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 tegangan dielektrik yang tinggi maka bentuk fisik PMT jenis ini relatif kecil.



Gambar 2. 16. Ruang Kontak Utama (Breaking Chamber) Pada PMT Vacuum



Gambar 2. 17. PMT dengan Hampa Udara (vacuum)

2.5. Struktur Mekanik

Terdiri dari struktur besi / beton serta pondasi sebagai dukungan struktur peralatan pemutus (PMT). Struktur Mekanik berfungsi sebagai tempat didudukannya PMT SF6. Struktur beton Struktur baja / besi Pondasi.



2.6. Sistem Pentanahan / Grounding

Sistem pentanahan atau biasa disebut sebagai grounding adalah system pengamanan terhadap perangkat-perangkat yang mempergunakan listrik sebagai sumber tenaga, dari lonjakan listrik, petir dan lain- lain. Fungsi pentanahan peralatan listrik adalah untuk menghindari bahaya tegangan sentuh bila terjadi gangguan atau kegagalan isolasi pada peralatan / instalasi dan pengaman terhadap peralatan.



Gambar 2. 18. Sistem Pentanahan PMT gas SF6

2.7. Pengoperasian PMT Gas SF6

Pemutus tenaga (PMT) Gas SF6 dioperasikan adalah untuk membebaskan peralatan gardu induk pada kondisi normal atau saat kondisi gangguan agar tidak bertegangan atau sebaliknya. Pembebasan atau pemasukan tegangan pada peralatan gardu induk dinamakan manuver. Manuver dilaksanakan sesuai ijin dari pusat / region, dan akan dicatat SOP dari pengoperasian manuver tersebut. Pengoperasian PMT itu sendiri bisa diremote / dikendalikan dari pusat atau region oleh dispanser, ataupun bisa dilakukan manual dari gardu induk itu sendiri, tergantung dari kesepakatan komunikasi sebelum dilaksanakan proses manuver. Dalam proses manuver, PMT tidak bekerja sendiri tetapi ada peralatan yang dinamakan pemisah (PMS). PMS ini berfungsi untuk memisahkan peralatan yang



ada di gardu induk dengan kondisi tidak berbeban. Berikut proses pengoperasian PMT gas SF₆ yang terdiri dari pembukaan jaringan yang berarti pembebasan tegangan dan penutupan jaringan yang berarti pemberian tegangan.

1. Pembukaan Jaringan

Pembukaan jaringan atau pembebasan tegangan dilakukan apabila ada suatu gangguan yang terjadi pada peralatan di dalam maupun di luar gardu induk atau dalam system transmisi, dan juga apabila akan diadakan proses pemeliharaan peralatan-peralatan di dalam maupun di luar lingkup gardu induk.

Hal yang perlu diperhatikan dalam pembukaan jaringan :

- a. PMT dioperasikan terlebih dahulu, baru kemudian pemisah-pemisahnya.
- b. Sebelum pemisah dikeluarkan / dioperasikan harus diperiksa apakah PMT sudah terbuka sempurna.

2. Penutupan Jaringan

Penutupan jaringan dilakukan setelah peralatan yang ada di dalam maupun di luar gardu induk telah selesai dilaksanakan pemeliharaan ataupun jaringan telah berada dalam kondisi siap diberi tegangan kembali.

Hal yang perlu diperhatikan dalam penutupan jaringan :

- a. PMT dioperasikan setelah pemisah - pemisahnya dimasukkan.
- b. Setelah PMT dimasukkan diperiksa apakah terjadi kebocoran isolasi (misal kebocoran gas SF₆) pada PMT.

2.8. Pengujian Tahanan Isolasi, Tahanan Kontak dan Keserempakan Kontak

2.8.1. Pengujian Tahanan Isolasi

Pengukuran tahanan isolasi pemutus tenaga (PMT) ialah proses pengukuran dengan suatu alat ukur Insulation Tester (megger) untuk memperoleh hasil (nilai/besaran) tahanan isolasi pemutus tenaga antara bagian yang diberi tegangan (fasa) terhadap badan (case) yang ditanahkan maupun antara terminal masukan (I/P terminal) dengan terminal keluaran (O/P terminal) pada fasa yang sama.



Politeknik Negeri Sriwijaya



Hal yang bisa mengakibatkan kerusakan alat ukur adalah bilamana alat ukur tersebut dipakai untuk mengukur obyek pada lokasi yang tegangan induksi listrik di sekitarnya sangat tinggi atau masih adanya muatan residual pada belitan atau kabel. Langkah untuk menetralkan tegangan induksi maupun muatan residual adalah dengan menghubungkan bagian tersebut ke tanah beberapa saat sehingga induksinya hilang.

Untuk mengamankan alat ukur terhadap pengaruh tegangan induksi maka peralatan perlu dilindungi dengan Sangkar Faraday dan kabel-kabel penghubung rangkaian pengujian sebaiknya menggunakan kabel yang dilengkapi pelindung (Shield Wire). Jadi untuk memperoleh hasil yang valid maka obyek yang diukur harus betul – betul bebas dari pengaruh induksi.

Standar Pengukuran / Pengujian Tahanan Isolasi:

Batasan tahanan isolasi PMT sesuai Buku Pemeliharaan Perlatan SE.032/PST/1984 dan menurut Standard VDE (catalogue 228/4) minimum besarnya tahanan isolasi pada suhu **operasi dihitung “ 1 kilo Volt = 1 MΩ (Mega Ohm) “**.

Dengan catatan 1 kV = besarnya tegangan fasa terhadap tanah, kebocoran arus yang diijinkan setiap kV = 1 mA.

Untuk mengetahui tentang pengukuran tahanan isolasi, perlu mengetahui persamaan sederhana yaitu “Hukum Ohm” dimana :

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

Keterangan :

V = Tegangan (Volt)

I = Kuat Arus (Ampere)

R = Tahanan (Ohm)

Untuk Rumus mencari arus bocor sebagai berikut :

$$I = \frac{V}{R} \dots\dots\dots(2.2)$$



2.8.2. Pengujian Tahanan Kontak

Rangkaian tenaga listrik sebagian besar terdiri dari banyak titik sambungan. Sambungan adalah dua atau lebih permukaan dari beberapa jenis konduktor bertemu secara fisik sehingga arus/energi listrik dapat disalurkan tanpa hambatan yang berarti. Pertemuan dari beberapa konduktor menyebabkan suatu hambatan/resistan terhadap arus yang melaluinya sehingga akan terjadi panas dan menjadikan kerugian teknis. Rugi ini sangat signifikan jika nilai tahanan kontakannya tinggi.

Digunakannya arus sebesar 100 ampere karena pembagian dengan angka 100 A akan memudahkan dalam menentukan nilai tahanan kontak dan lebih cepat. Sambungan antara konduktor dengan PMT atau peralatan lain merupakan tahanan kontak yang syarat tahananannya memenuhi kaidah Hukum Ohm sebagai berikut:⁵

$$V = I \times R \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

V = tegangan

I = arus

R = tahanan

Jika didapat kondisi tahanan kontak sebesar 1 Ohm dan arus yang mengalir adalah 100 Ampere maka besar rugi daya yang ditimbulkan akibat tahanan kontak dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P_{loss} = I^2 \cdot R \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

P_{loss} = Rugi Daya (Watt)

⁵ Alfa Aland Saghawari, Analisa Kinerja Circuit Breaker Saat Gangguan Sisi 70 KV, hlm 4



$I =$ Arus (Ampere)

$R =$ Resistansi (Ohm)

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 :

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

Standard PLN (apabila tidak tercantum di nameplate) $\leq 100 \mu\Omega$ (sesuai dengan P3B O&M PMT/001.01).

2.8.3. Pengujian Keserempakan (Breaker Analyzer)

Pengujian keserempakan PMT bertujuan untuk mengetahui waktu kerja PMT secara individu serta untuk mengetahui keserempakan PMT pada saat menutup ataupun membuka. Berdasarkan cara kerja penggerak, maka PMT dibedakan atas jenis three pole (penggerak PMT tiga fasa) dan single pole (penggerak PMT satu fasa). Untuk T/L Bay biasanya PMT menggunakan jenis single pole dengan maksud PMT tersebut dapat trip satu fasa apabila terjadi gangguan satu fasa ke tanah dan dapat reclose satu fasa yang biasa disebut SPAR (Single Pole Auto Reclose). Apabila PMT tidak membuka atau menutup secara serempak pada fasa R, S, dan T akan menyebabkan gangguan didalam sistem tenaga listrik dan menyebabkan sistem proteksi bekerja. Oleh karena itu perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui perbedaan waktu yang terjadi antar fasa R, S, T pada saat PMT membuka dan menutup serta keserempakan PMT pada saat membuka dan menutup.

Untuk toleransi perbedaan waktu pada pengujian keserempakan kontak PMT, yang terjadi antar fasa R, S dan T pada waktu PMT membuka atau menutup ditentukan dengan melihat nilai delta time (Δt) yang merupakan selisih waktu tertinggi dan terendah antar fasa R, S, T sewaktu membuka atau menutup kontak.

$$\Delta t = t_{maks} - t_{min} \dots \dots \dots (2.5)$$



Keterangan :

Δt = Selisih waktu

t_{maks} = Waktu tertinggi

t_{min} = Waktu terendah

Pada waktu PMT trip akibat terjadi suatu gangguan pada system tenaga listrik diharapkan PMT bekerja dengan cepat sehingga clearing time yang diharapkan sesuai standard SPLN No 52-1 1983 untuk system 70 kV = 150 millidetik dan SPLN No 52-1 1984 untuk system 150 kV = 120 millidetik, dan final draft Grid Code 2002 untuk system 500 kV – 90 millidetik dapat terpenuhi.