



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Pemutus Tenaga (PMT)

Pemutus tenaga adalah alat yang terpasang pada gardu induk yang berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan arus beban atau arus gangguan. Syarat – syarat yang harus dipenuhi oleh suatu PMT agar dapat melakukan hal- hal diatas, adalah sebagai berikut:

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

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 kontinyu yang akan dialirkan melalui pemutus daya, 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 - 2.3).



2. PMT tegangan menengah (Medium Voltage)

PMT tegangan menengah ini biasanya dipasang pada gardu induk, pada kabel masuk ke busbar tegangan (incoming cubicle) 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 – 2.4).

2. PMT tegangan tinggi (High Voltage)

Dengan range tegangan 35 s/d 245 kV (SPLN 1.1995 – 2.5). 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 SF₆ (SF₆ 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 SF₆ sebagai bahan pemadam busur api. PMT ini memiliki range tegangan lebih besar dari 245 kVAC (SPLN 1.1995 – 2.6).

2.3 Klasifikasi PMT Berdasarkan Jumlah Mekanik dan Penggerak

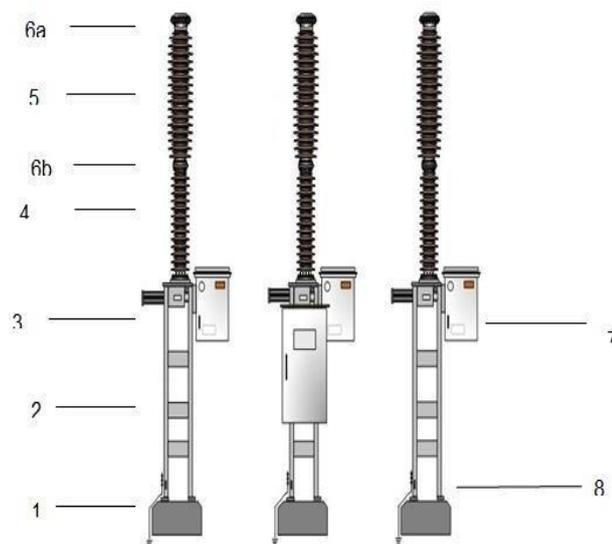
PMT dapat dibedakan menjadi 2, yaitu :



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

Keterangan :

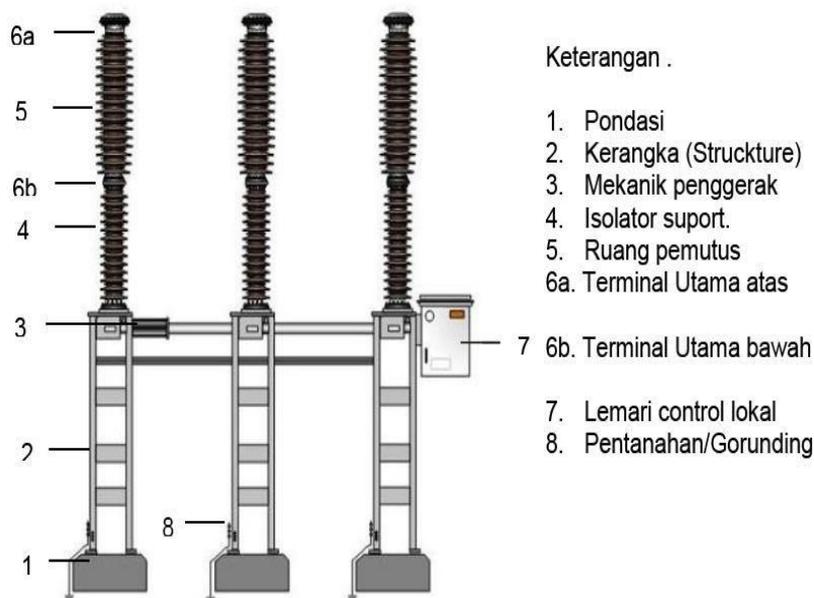
1. Pondasi
2. Kerangka (structure)
2. Mekanik penggerak
4. Isolator support
5. Ruangp emutus
6. a. Terminal utama atas
b. Terminal utama bawah
7. Lemari control local



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

2.4 PMT Media Gas SF6 (SF6 Circuit Breaker)

Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 40 kA dan pada rangkaian bertegangan sampai 765 kV. Media gas yang digunakan pada tipe ini adalah gas SF6 (Sulphur hexafluoride) (Gambar 2,8). Sifat gas SF6 murni adalah tidak berwarna,tidak berbau, tidak beracun dan tidak mudah terbakar. Pada suhu diatas 150° C, gas SF6 mempunyai sifat tidak merusak metal, plastic dan bermacam bahan yang umumnya digunakan dalam pemutus tenaga tegangan tinggi. Sebagai isolasi listrik, gasSF6 mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi (2,35 kali udara) dan kekuatan dielektrik ini bertambah dengan penambahan tekanan. Sifat lain dari gas SF6 ialah mampu mengembalikan kekuatan dielektrik dengan cepat,tidak

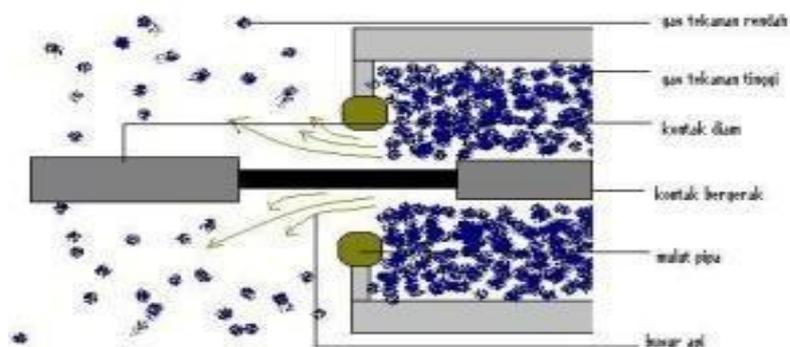


terjadi karbon selama terjadi busur api dan tidak menimbulkan bunyi pada saat pemutus tenaga menutup atau membuka.



Gambar 2.3. SF6 Circuit Breaker

Selama pengisian, gas SF6 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 SF6 perlu diadakan pengaturan tekanannya beberapa jam setelah pengisian, pada saat gas SF6 pada suhu lingkungan.



Gambar 2.4. Proses Pemadaman Busur Api Pada SF6

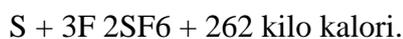
Sakelar PMT SF6 terdiri dari 2 tipe, yaitu:



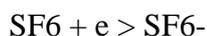
1. PMT Tipe Tekanan Tunggal (Single Pressure Type), PMT SF6 tipe ini diisi dengan gas SF6 dengan tekanan kira - kira 5 Kg/cm². Selama pemisahan kontak - kontak, gas SF6 ditekan kedalam suatu tabung yang menempel pada kontak bergerak. Pada waktu pemutusan kontak terjadi, gas SF6 ditekan melalui nozzle dan tiupan ini yang mematikan busur api.
2. PMT Tipe Tekanan Ganda (Double Pressure Type), dimana pada saat ini sudah tidak diproduksi lagi. Pada tipe ini, gas dari sistem tekanan tinggi dialirkan melalui nozzle ke gas sistem tekanan rendah selama pemutusan busur api. Pada sistem gas tekanan tinggi, tekanan gas SF6 kurang lebih 12 Kg/cm² dan pada sistem gas tekanan rendah, tekanan gas SF6 kurang lebih 2 kg/cm². Gas pada sistem tekanan rendah kemudian dipompakan kembali ke sistem tekanan tinggi.

Penggunaan Gas Sulphur Hexa Fluorida (SF6)

Sulphur Hexa Fluorida (SF6) merupakan suatu gas bentukan antara unsur sulphur dengan fluor dengan reaksi eksotermis:



Gas sulfur heksafluorida (SF6) memiliki kekuatan isolasi yang tinggi disebabkan memiliki afinita (affinity) untuk electron, yaitu bilamana suatu electron bebas bertubrukan dengan molekul gas netral guna membentuk ion negatif, electron akan diserap oleh molekul gas netral. Melekatnya electron dengan molekul gas netral itu dapat terjadi dengan dua cara :



Ion - ion negative yang terbentuk relative lebih berat bilamana dibanding dengan electron bebas, dan karenanya, didalam suatu medan listrik tertentu, ion-ion itu tidak memiliki jumlah energy yang cukup guna mengawali suatu ionisasi kumulatif didalam gas. Hal ini merupakan suatu cara yang efektif guna menyingkirkan elektron-elektron dari ruangan, yang mungkin akan dapat



menyebabkan terjadinya suatu banjir elektron. Sifat ini memberikan suatu kekuatan dielektrik yang tinggi kepada SF6.

Gas ini tidak hanya memiliki kekuatan dielektrik yang baik, akan tetapi juga mempunyai sifat khas untuk dapat cepat melakukan rekombinasi setelah sumber energy mata api dihilangkan. Ciri ini membuat SF6 sangat efektif dalam memadamkan busur api. Gas SF6 adalah kira-kira seratus kali lebih efektif daripada udara dalam memadamkan busur api. Gas SF6 juga memiliki sifat baik dalam pemindahan panas, karena berat molekulnya yang tinggi dan viskositas gas yang rendah menyebabkan gas ini dapat dengan baik memindahkan panas dengan konveksi dari terbanyak gas lainnya. Konstanta termal SF6 rendah, hal ini menyebabkan tekanan penyimpanan maupun tekanan pemakaian gas ini dapat lebih rendah daripada udara.

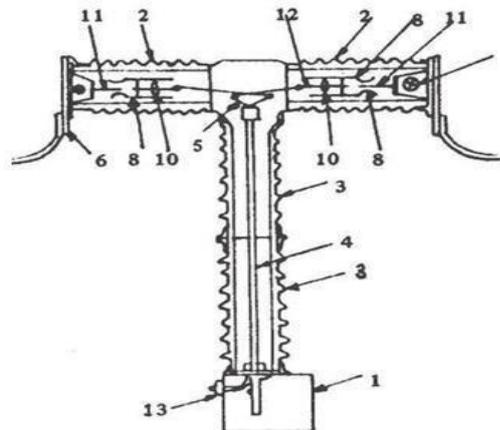
Gas SF6 merupakan gas terberat yang mempunyai massa jenis 6.139 kg /m³ yaitu sekitar 5 kali berat udara pada suhu 0o celcius dan tekanan 1 atmosfer. Sifat gas SF6 murni adalah tidak berbau, tidak berwarna, tidak beracun, tidak mudah terbakar, sifat tidak merusak metal, plastic dan bermacam-macam bahan yang umumnya digunakan dalam pemutus tenaga tegangan tinggi.

Keunggulan PMT Gas SF6, sementara itu, keunggulan PMT gas SF6 dilihat dari keuntungan sifat - sifat dari gas SF6 di atas dibandingkan dengan PMT jenis lain untuk mengamankan Gardu Induk dan jaringan yaitu :

1. Hanya memerlukan energi yang rendah untuk mengoperasikan mekanismenya. Pada prinsipnya, SF6 sebagai pemadam busur api adalah tanpa memerlukan energi untuk mengkompresikannya, namun semata-mata karena pengaruh panas busur api yang terjadi.
2. Tekanan SF6 sebagai pemadam busur api maupun sebagai pengisolasi dapat dengan mudah dideteksi.
2. Penguraian pada waktu memadamkan busur api maupun pembentukannya kembali setelah pemadaman adalah menyeluruh.



4. Mampu mengembalikan kekuatan dielektrik dengan cepat, setelah arus bunga api listrik melalui titik nol.
5. Relatif mudah terionisasi sehingga plasmanya pada PMT konduktivitas tetap rendah dibandingkan pada keadaan dingin. Hal ini mengurangi kemungkinan busur api tidak stabil dengan demikian ada pemotongan arus dan menimbulkan tegangan antar kontak.
6. Karakteristik gas SF₆ adalah elektro negatif sehingga penguraiannya menjadikan dielektriknya naik secara bertahap.
7. Transien frekuensi yang tinggi akan naik selama operasi pemutusan dan dengan adanya hal ini busur api akan dipadamkan pada saat nilai arusnya rendah.
8. Selain itu PMT jenis ini simpel (tidak makan tempat).



Gambar 2.5. PMT Satu Katup 245 kV dengan Gas SF₆

Keterangan :

1. Mekanisme penggerak (operating mechanism).
2. Pemutus (interrupter).
2. Isolator penyangga dari porselen rongga (hollow support insulator porcelen).
4. Batang penggerak berisolasi glass Fibre (Fibre Glass Insulating Operating Rod).



5. Penyambung diantara no.4 dan no.12 (link ages).
6. Terminal - terminal.
7. Saringan (filters).
8. Silinder bergerak (movable cylinder).
9. Torak tetap (fixed piston).
10. Kontak tetap (fixed contact).

2.5 Proses Terjadinya Busur Api

Pada waktu pemutusan atau penghubungan suatu rangkaian system 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 thermis 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 – electron 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 thermos semakin meningkat. Jika kontak terbuat dari bahan yang titik leburnya rendah, missal tembaga, ion positif akan menimbulkan emisi medan tinggi. Hasil emisi thermos ini dan emisi medan tinggi akan mengganggu proses ionisasi, sehingga perpindahan muatan antar kontak terus berlangsung dan inilah yang disebut busur api.



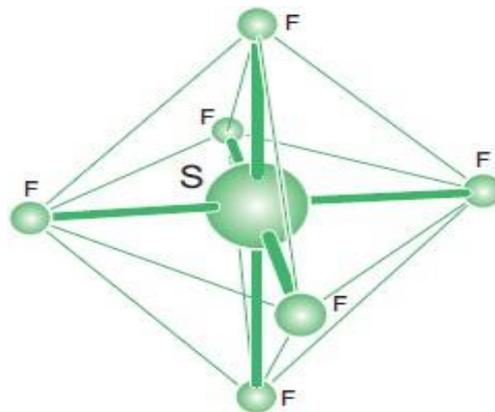
Untuk memadamkan busur api tersebut perlu dilakukan usaha - usaha yang dapat menimbulkan proses deionisasi, antara lain dengan cara sebagai berikut:

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 electron - 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.

2.6 Sifat dan Karakteristik Gas SF₆

Sulfur hexafluoride (SF₆) sifat gas SF₆ (Gambar 2.6) adalah non inflammable, sangat stabil tidak beracun, lima kali lebih berat dari pada udara. Kekuatan dielektrik yang jauh lebih tinggi dari udara pada tekanan atmosfer.



Gambar. 2.6. Sifat Gas SF₆



2.6.1 Sifat Gas SF₆

SF₆ adalah gas untuk pemutusan, menggabungkan sifat terbaik :

1. Kapasitas tinggi untuk membawa pergi panas yang dihasilkan oleh busur.
2. Yang terakhir ini dengan cepat didinginkan oleh konveksi selama periode lengkung.
2. Konduksi termal yang tinggi radial dan kapasitas menangkap elektron tinggi

Ketika arus melewati nol, busur api dipadamkan oleh kombinasi dari dua fenomena, yaitu :

1. SF₆ memungkinkan pertukaran panas cepat dari pusat busur ke arah luar.
2. Atom fluorine, yang sangat elektronegatif, bertindak sebagai "perangkap" bagi elektron.

Karena elektron yang terutama bertanggung jawab untuk konduksi listrik dalam gas, kesenjangan antara kontak pulih kekuatan dielektrik awal karena adanya fenomena penangkapan electron pada posisi nol.

Dekomposisi molekul SF₆ adalah reversible. Dimana massa yang sama dari gas itu selalu tersedia, dan membuat perangkat sendiri berkelanjutan sepanjang masa operasinya.

2.6.2 Karakteristik Gas SF₆

Seiring perkembangan teknologi, maka dikembangkan suatu metode pengisolasian dengan gas pada akhir tahun 1970-an dengan penelitian terhadap gas SF₆ sudah dicapai tahap komersial dan mulai dimanfaatkan sebagai media pada pemutus tenaga tegangan tinggi . Gas SF₆ sekarang ini cukup banyak digunakan sebagai isolasi Alasan penggunaan gas SF₆ sebagai media isolasi, yaitu: andal dan ekonomis

- a. Andal. Penggunaan gas SF₆ pada PMT, adalah untuk penyelesaian permasalahan pada switching overvoltages.



- b Ekonomis. Biaya pemeliharaan yang lebih murah, karena hanya diperlukan pengecekan ulang terhadap gas untuk jangka waktu operasional yang cukup lama (sekitar 10 sampai 20 tahun kemudian).

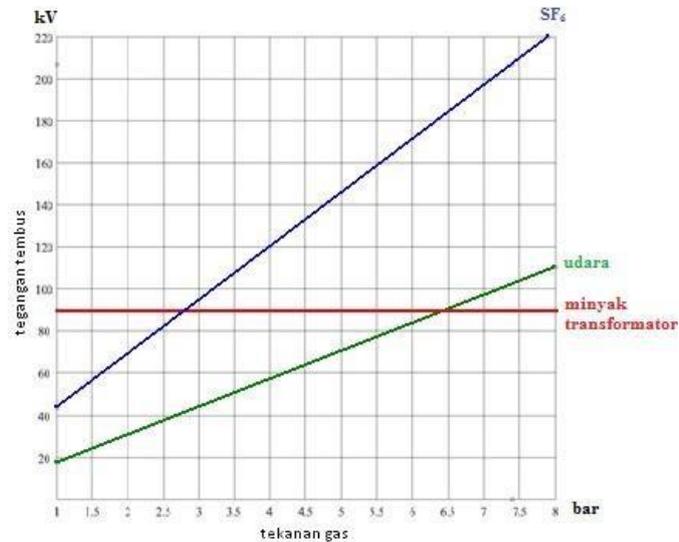
Stándar IEC 376 dengan peruntukan khusus dalam penggunaan gas SF₆ baru pertama kali digunakan dengan kemurnian 99,99% dan kandungan unsur-unsur lain berupa Carbon Tetra Fluoride (CF₄) dengan konsentrasi sebesar 0,03%, oksigen dan nitrogen (udara) dengan konsentrasi sebesar 0,03%, kandungan air 15 ppm, dan kandungan Hydrogen Fluoride (HF) sebesar 0,3 ppm. Standar IEC 480 untuk petunjuk pemeriksaan terhadap gas SF₆ pada peralatan listrik,. Penguraian unsur dari gas SF₆ terjadi pada saat kontak yang teraliri arus menjadi terbuka, dimana busur api yang timbul bertemperatur lebih besar 500 °C, maka gas SF₆ terurai menjadi unsur sulfur, fluoride, SF₂, dan unsur SF₄. Semua unsur terurai tersebut berkombinasi kembali menjadi unsur SF₆ seperti semula setelah temperatur kembali ke temperatur ruang,. Berfungsi sebagai media isolasi dan pemadam busur api pada peralatan listrik, maka diperlukan tekanan gas SF₆ pada kisaran 5-6 bar .

Perbandingan beberapa media isolasi -, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Perbandingan beberapa media isolasi

Media Isolasi	Rating Tegangan	Rating Arus	Kapasitas Pemutusan	Metode Pemutusan	Pemanfaatan
Udara biasa	< 1 kV	hingga 400 A	16 kA	Busur api padam dengan sendirinya	PMT tegangan rendah
<i>Minimum Oil (Less Oil)</i>	Sampai 20 kV	hingga 1250 A	20 kA	Busur api dipadamkan oleh keberadaan minyak	PMT tegangan sampai 24 kV
Vakum Udara	Sampai 72 kV	hingga 5000 A	50 kA	Busur api dicegah, karena kondisi kevakuman	PMT tegangan hingga 72 kV
Gas SF ₆	Sampai 800 kV	hingga 5000 A	50 kA	Busur api ditarik oleh keberadaan gas SF ₆	PMT tegangan tinggi/ekstra tinggi

Kurva nilai tekanan gas (dalam satuan bar) terhadap nilai aktual tegangan tembus merupakan kurva standar sebagai pedoman untuk pengujian terhadap hasil pengukuran. Hubungan nilai tekanan gas terhadap nilai aktual tegangan tembus, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 2.7. Hubungan nilai tekanan gas terhadap nilai aktual tegangan tembus

Berdasarkan Gambar 1 ditunjukkan, bahwa kurva perbandingan dielektrik secara umum dari sifat dielektrik udara, minyak, dan gas SF₆. Kekuatan dielektrik gas SF₆ sangat baik, maka jarak minimum (creeping distance) antar fase pada tegangan tinggi dapat diperkecil. Perbandingan jarak antar fase antara media gas SF₆ dan udara, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Perbandingan jarak antar fase antara media gas sf6 dan udara

Tegangan (kV)	Jarak Antar Fase (mm)	
	Gas SF ₆	Udara
72,5	305	700
123	370	1100
145	370	-
170	-	1550
245	460	2200
420	660	2900
550	710	4100
800	810	6300

2.7 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 SF₆ 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

2.8 Peraturan dan Ketentuan Pengujian Pemutus Tenaga

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

2.8.1 Pengukuran Tahanan Isolasi

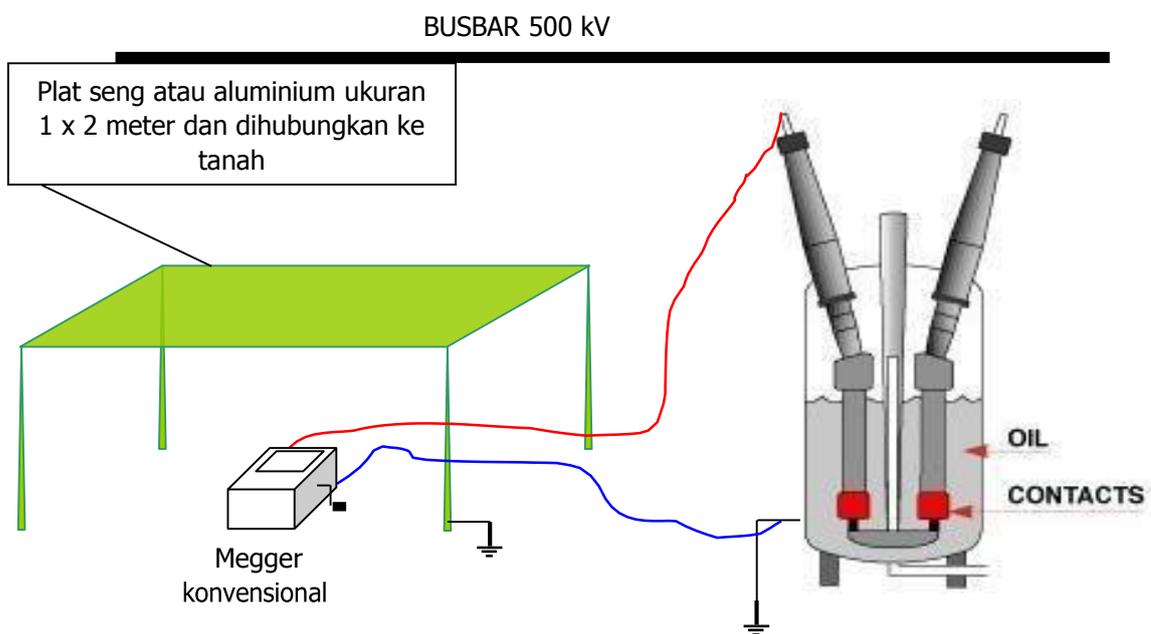
Pengukuran tahanan isolasi pemutus tenaga (PMT) ialah proses pengukuran dengan suatu alat ukur Insulation Tester (megger) untuk memperoleh hasil (nilai/besaran) tahanan isolasi pemutus tenaga antara bagian yang diberi tegangan (fasa) terhadap badan (case) yang ditanahkan maupun antara terminal masukan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

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 tersebut perlu dilindungi dengan Sangkar Faraday (lihat gambar 2.8) 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.



Gambar 2.8. Pengukuran tahanan isolasi menggunakan sangkar Faraday

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 Ω (Mega Ohm) “. Dengan catatan 1 kV = besarnya tegangan fasa terhadap tanah, kebocoran arus yang diijinkan setiap kV = 1 mA.

Yang perlu diingat setelah melakukan pengukuran tahanan isolasi, jangan menyentuh titik ukur obyek pengukuran yang baru selesai diukur tahanan isolasinya. Hal ini akan mengakibatkan terjadinya aliran arus discharge yang melintas badan dan meskipun tidak berakibat fatal namun bisa menimbulkan tegangan kejut (dalam kV).



2.8.2 Pengukuran 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.

Sambungan antara konduktor dengan PMT atau peralatan lain merupakan tahanan kontak yang syarat tahanannya memenuhi kaidah Hukum Ohm sebagai berikut :

$$E = I \cdot R$$

Jika didapat kondisi tahanan kontak sebesar 1 Ohm dan arus yang mengalir adalah 100 Amp maka ruginya adalah :

$$W = I^2 \cdot R$$

$$W = 10.000 \text{ watts}$$

Prinsip dasarnya adalah sama dengan alat ukur tahanan murni (R_{dc}), tetapi pada tahanan kontak arus yang dialirkan lebih besar $I=100$ Amperemeter. Kondisi ini sangat signifikan jika jumlah sambungan konduktor pada salah satu jalur terdapat banyak sambungan sehingga kerugian teknis juga menjadi besar, tetapi masalah ini dapat dikendalikan dengan cara menurunkan tahanan kontak dengan membuat dan memelihara nilai tahanan kontak sekecil mungkin. Jadi pemeliharaan tahanan kontak sangat diperlukan sehingga nilainya memenuhi syarat nilai 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 :

$$- \text{standard G.E.} \leq 100 - 350 \mu\Omega$$



- standard ASEA $\leq 45 \mu\Omega$
- standard MG $\leq 35 \mu\Omega$

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

2.8.3 Pengukuran Keserempakan (Breaker Analyzer)

Tujuan dari pengujian keserempakan PMT adalah untuk mengetahui waktu kerja PMT secara individu serta untuk mengetahui keserempakan PMT pada saat menutup ataupun membuka .

Berdasarkan cara kerja penggerak, maka PMT dapat 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). Namun apabila gangguan pada penghantar fasa – fasa maupun tiga fasa maka PMT tersebut harus trip 3 fasa secara serempak. Apabila PMT tidak trip secara serempak akan menyebabkan gangguan, untuk itu biasanya terakhir ada sistem proteksi namanya pole discrepancy relai yang memberikan order trip kepada ketiga PMT pahasa R,S,T.

Hal yang sama juga untuk proses menutup PMT maka yang tipe single pole ataupun three pole harus menutup secara serentak pada fasa R,S,T, kalau tidak maka dapat menjadi suatu gangguan didalam system tenaga listrik dan menyebabkan system proteksi bekerja.

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 milli detik, dan final draft Grid Code 2002 untuk system 500 kV = 90 milli detik dapat terpenuhi.



2.9 Kelayakan Operasi Pemutus Tenaga

Pemenuhan terhadap nilai sistem tegangan, arus, dan frekuensi, PMT harus - dengan kemampuan saat pemutusan (*breaking capacity*), kemampuan saat penyaluran (*making capacity*), dan kemampuan saat waktu pendek (*short-time capacity*). Peningkatan permintaan terhadap penggunaan pemutus tenaga paling andal, telah berdampak kepada tuntutan terhadap penemuan terobosan baru di bidang teknologi media isolasi - yang berkaitan dengan cara pemutusan arus melalui pemisahan kontak-kontaknya dengan teknik yang sesuai, sehingga diperoleh beberapa cara dan medium untuk pemadaman busur api -. Ruang pemutusan/penghubungan dipasangkan pada isolator penyangga dan tiap tabung ruang pemutusan terdapat satu unit kontak tetap dan kontak bebas . Kontak bebas digerakkan oleh medium penghubung atau batang penghubung. Mekanisme penggerak pada PMT dengan energi yang dibutuhkan untuk pembukaan atau penutupan kontak-kontak PMT, saat busur api timbul disebabkan oleh kontak-kontak yang teraliri arus yang sebelumnya terpisah menjadi tertutup atau sebaliknya . Keberadaan medium pemadam busur api, maka PMT dibedakan berdasarkan pemakaian medium tersebut, yaitu PMT bermedia minyak, hampa udara (*vacuum*), udara hembus (udara bertekanan), dan gas SF₆.

2.10 Pengertian Pemisah (PMS)

Pemisah adalah sebuah alat yang digunakan untuk menyatakan bahwa suatu peralatan listrik sudah bebas dari tegangan kerja. Oleh karena itu pemisah tidak diperbolehkan untuk dimasukkan atau dikeluarkan pada saat rangkaian listrik dalam keadaan berbeban.

Untuk tujuan tertentu, pemisah penghantar atau kabel dilengkapi dengan pemisah tanah (*pisau pentanahan/earthin blade*). Umumnya antara pemisah penghantar/kabel dan pemisah tanah terdapat alat yang disebut *interlock*. Dengan terpasangnya *interlock*, maka kemungkinan terjadinya kesalahan operasi dapat dihindarkan. Tenaga penggerak pemisah dapat diperoleh secara manual, dengan motor, dengan pneumatik atau dengan hidrolis.



Gambar 2.9. Pemisah pada switchyard 275kV PLTU Sumsel V

2.11 Pengertian Saklar Pentanahan (*Earthing Switch*)

Sakelar ini untuk menghubungkan kawat konduktor dengan tanah/bumi yang berfungsi untuk menghilangkan/mentanahkan tegangan induksi pada konduktor pada saat akan dilakukan perawatan atau pengisolasian suatu sistem. Sakelar pentanahan ini dibuka dan ditutup hanya apabila sistem dalam keadaan tidak bertegangan (PMS dan PMT sudah membuka).



Gambar 2.10. *Earthing Switch* pada switchyard 275kV di PLTU Sumsel V



2.12 Pengertian Rele Proteksi

Rele proteksi yaitu alat yang bekerja secara otomatis untuk mengamankan suatu peralatan listrik saat terjadi gangguan, menghindari atau mengurangi terjadinya kerusakan peralatan akibat gangguan dan membatasi daerah yang terganggu sekecil mungkin.

2.13 Pengertian Transformator Tegangan

Transformator Tegangan atau *Potential Transformer (PT)* adalah suatu alat yang mengubah suatu besaran nilai tegangan (volt) yang besar menjadi lebih kecil agar dapat diukur oleh voltmeter.



Gambar 2.11. Transformator tegangan pada switchyard 275kV di PLTU Sumsel V

2.14 Pengertian Transformator Arus

Transformator Arus atau *Current Transformer (CT)* adalah suatu alat yang mengubah suatu besaran nilai arus (ampere) yang besar menjadi lebih kecil agar dapat diukur oleh amperemeter.



Gambar 2.12. Transformator arus pada switchyard 275kV di PLTU Sumsel V.