



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pemutus Tenaga (PMT) ^[2]

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 kondisi abnormal/gangguan seperti kondisi hubung singkat (*short circuit*).

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 peralatan lain.

Pada kondisi normal PMT dapat dioperasikan lokal oleh operator untuk maksud *switching* dan perawatan. Pada kondisi abnormal atau gangguan, *Current Transformer (CT)* akan membaca arus lebih yang lewat apabila sudah ditentukan kemudian relay akan mendeteksi gangguan dan menutup rangkaian *trip circuit*, sehingga *trip coil energized*, lalu mekanis penggerak PMT akan dapat perintah buka dari relay dan beroperasi membuka kontak-kontak PMT, maka gangguan pun akan hilang.

²PT.PLN (Persero),2014,Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga(PMT), SE No.0520-2.K/DIR/2014,Hal 1.



2.2 Klasifikasi Pemutus Tenaga (PMT) ^[3]

Klasifikasi pemutus tenaga dapat dibagi atas beberapa jenis yaitu :

2.2.1 Berdasarkan Besar/Kelas Tegangan PMT

1. PMT tegangan rendah (*Low Voltage*) Dengan range tegangan 0.1 s/d 1 kV (SPLN 1.1995 - 3.3).

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.

2. PMT tegangan menengah (*Medium Voltage*) Dengan range tegangan 1 s/d 35 kV (SPLN 1.1995 – 3.4).

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.

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.

4. PMT tegangan extra tinggi (*Extra High Voltage*) Dengan range tegangan lebih besar dari 245 kV (SPLN 1.1995 – 3.6).

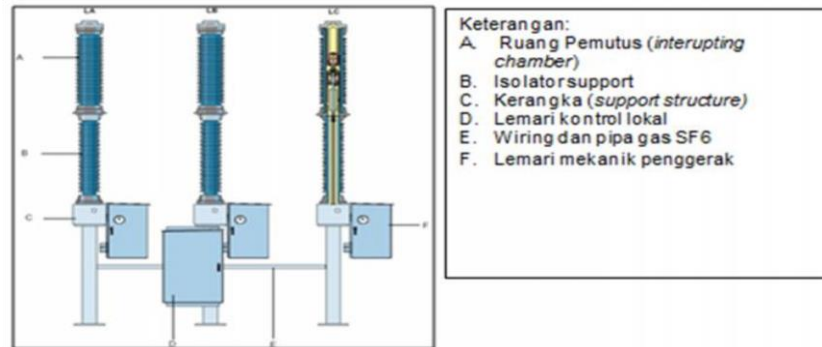
PMT jenis ini biasanya dipasang di GITET (Gardu Induk Ekstra Tinggi) yang sudah memiliki bermacam-macam peralatan canggih. Salah satunya Gas Circuit Breaker. (GCB). GCB merupakan pemutus tenaga yang menggunakan gas SF₆ sebagai bahan pemadam busur api.

³Angga Teguh Satyawana, 2020, "Analisa Pengaruh Tekanan Gas SF₆ Terhadap Kualitas Pemadaman Busur Api Pada Pemutus Tenaga di Gardu Induk PLN Tandes Surabaya", Hal 6.

2.2.2 Berdasarkan Jumlah Mekanik Penggerak ^[2]

1. PMT *Single Pole*

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

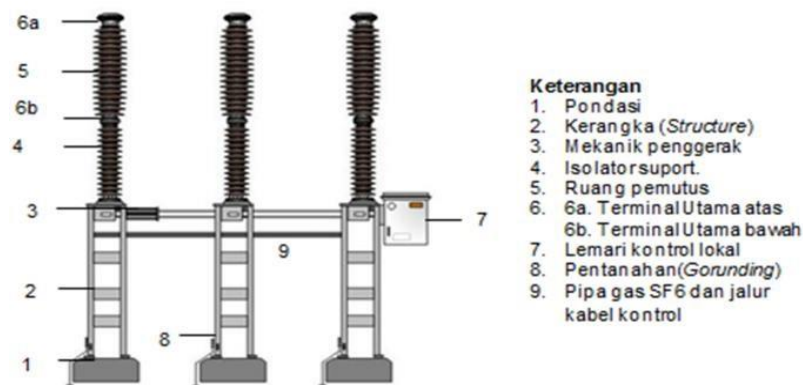


Gambar 2.1 PMT *Single Pole* ^[2]

(Sumber : Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga PT PLN (Persero),2014,Hal 2)

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 2.2 PMT *Three Pole* ^[2]

(Sumber : Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga PT PLN (Persero),2014,Hal 3)

²PT.PLN (Persero).(2014),Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga(PMT), SE No.0520-2.K/DIR/2014,Hal 2.

2.2.3 Karakteristik Pemutus Tenaga Berdasarkan Media Isolasi

1. PMT 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 sedikit minyak (*small oil*)

PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 10 ka dan pada rangkaian bertegangan sampai 500 kv. Pada saat kontak dipisahkan, busur api akan terjadi didalam minyak, sehingga minyak menguap dan menimbulkan gelembung gas yang menyelubungi busur api, karena panas yang ditimbulkan busur api, minyak mengalami dekomposisi dan menghasilkan gas hydrogen yang bersifat menghambat produksi pasangan ion. Oleh karena itu, pemadaman busur api tergantung pada pemanjangan dan pendinginan, busur api dan juga tergantung pada jenis gas hasil dekomposisi minyak.



Gambar 2.3 PMT minyak ^[2]

(Sumber : *Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga PT PLN (Persero)*, 2014, Hal 8)

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 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.

Kelebihan dan kekurangan PMT media minyak.

a. Kelebihan PMT media minyak:

- Secara operasional handal, jika memutus berulang kali tidak masalah
Tidak mempengaruhi auxiliary lainnya.

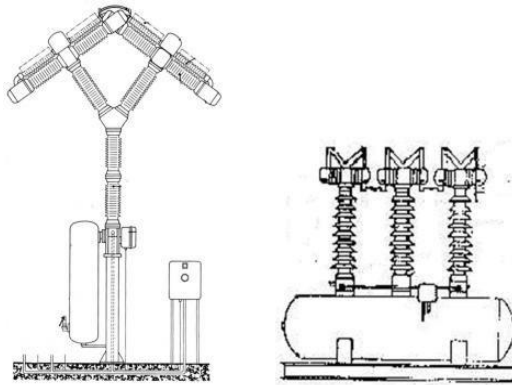
b. Kelemahan PMT media minyak:

- PMT terlalu berat dan besar
- Resiko terbakar besar
- Reaksi yang keras dengan tanah dan frekuensi kegagalan bushing

2. PMT 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*).

Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 40 ka dan pada rangkaian bertegangan sampai 765 kV. PMT udara hembus dirancang untuk mengatasi kelemahan pada PMT minyak, yaitu dengan membuat media isolator kontak dari bahan yang tidak mudah terbakar dan tidak menghalangi pemisahan kontak, sehingga pemisahan kontak dapat dilaksanakan dalam waktu yang sangat cepat. Saat busur api timbul, udara tekanan tinggi dihembuskan 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 2.4 PMT udara hembus ^[2]

(Sumber : *Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga PT PLN (Persero)*,2014,Hal 9)

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.

a. Kelebihan PMT media Udara Hembus

- PMT jenis ini sangat simpel
- Kemampuan peredam sangat tinggi dan pemeliharaannya paling sedikit
- Umumnya digunakan pada sisi 20 kV

b. Kelemahan PMT media Udara Hembus

- Pada saat pelepasan sangat mempengaruhi auxiliary lainnya,karena tekanan gas sangat besar yang mempengaruhi dinding isolator dan paking(seal),dan apabila bocor atau rusak pasti meledak dan tidak dapat diperbaiki(harus diganti).

3. PMT hampa udara (*vacuum*)

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



Gambar 2.5 PMT hampa udara ^[2]

(Sumber : *Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga PT PLN (Persero)*, 2014, Hal 10)

Jika kontak dibuka, maka pada katoda kontak terjadi emisithermis dan medan tegangan yang tinggi yang memproduksi electron - elektron bebas. Elektron hasil emisi ini bergerak menuju anoda, electron - elektron bebas ini tidak bertemu dengan molekul udara sehingga tidak terjadi prosesionisasi. Akibatnya, tidak ada penambahan electron bebas yang mengawali pembentukan busur api. Dengan kata lain, busur api dapat dipadamkan.

Kelebihan dan kekurangan PMT media hampa udara (Vaccum)

a. Kelebihan PMT media hampa udara (Vaccum)

- PMT media hampa udara memiliki umur yang panjang
- PMT media hampa udara cepat beroperasi sehingga ideal untuk membersihkan kesalahan dan cocok untuk operasi berulang
- PMT media hampa udara hampir bebas perawatan

b. Kelemahan PMT media hampa udara (Vaccum)

- Kerugian utama PMT media hampa udara adalah tidak ekonomis pada tegangan yang melebihi 38 kV karena bias menjadi biaya pemutus berlebihan.

4. PMT gas SF₆

Saklar PMT ini dapat di gunakan untuk memutus arus sampai 40 kA dan padai rangkain bertegangan sampai 765 kV. Media gas yang di gunakan

pada tipe ini adalah gas SF₆ (Sulphur hexafluoride). Sifat gas SF₆ murni adalah tidak berwarna, tidak berbau, tidak beracun dan tidak mudah terbakar. Pada suhu di atas 150° C, gas SF₆ mempunyai sifat tidak merusak metal, plastic dan bermacam bahan yang umumnya digunakan dalam pemutus tenaga tegangan tinggi. Sebagai isolasi listrik, gas SF₆ mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi (2,35 kali udara) dan kekuatan dielektrik ini bertambah dengan pertambahan 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 2.6 PMT gas SF₆ ^[2]

(Sumber : *Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga PT PLN (Persero)*, 2014, Hal 7)

Selama pengisian, gas SF₆ akan menjadi dingin jika keluar dari tangki penyimpanan dan akan panas kembali jika pompa untuk pengisian ke dalam bagian/ruang pemutus tenaga. Oleh karena itu gas SF₆ perlu diadakan pengaturan tekanan beberapa jam setelah pengisian, pada saat gas SF₆ pada suhu lingkungan.

a. Kelebihan PMT media Gas SF₆

- Pengurangan jumlah pemutus dalam hubungan seri per fasa pada peringkat tegangan yang digunakan.
- Karena waktu durasi yang pendek dari busur api, maka bunga api kontak terjadi dibatasi meskipun untuk arus hubung singkat sangat tinggi.



- Hasil busur api yang sebagian besar terdiri dari serbuk dengan sifat isolasi yang baik dapat dipindahkan saat perbaikan.
 - Gas ledakan tidak di-discharge (pelepasan muatan) ke atmosfer sehingga saat bekerja akan lebih tenang jika dibandingkan dengan pemecah ledakan udara.
- b. Kelemahan PMT media Gas SF₆
- Relative lebih mahal dari segi pembiayaan
 - Walaupun dalam jumlah yang kecil, apabila terjadi kerusakan maka membutuhkan waktu yang lama dalam perbaikan.
 - Gas SF₆ harus dipompa kedalam tabung penyimpanan apabila ada penelitian dan pemeliharaan.
 - Karena titik lelehnya sangat rendah yaitu 100 C dan tekanan 1,520 kN/m² maka perlu dipakai alat pengukur suhu pengontrolan.

2.2.4 Berdasarkan Proses Pemadaman Busur Api Diruang Pemutus

1. PMT jenis 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 jenis tekanan ganda (*double pressure type*)

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.

2.3 Komponen dan Fungsi Pemutus Tenaga (PMT) ^[2]

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:

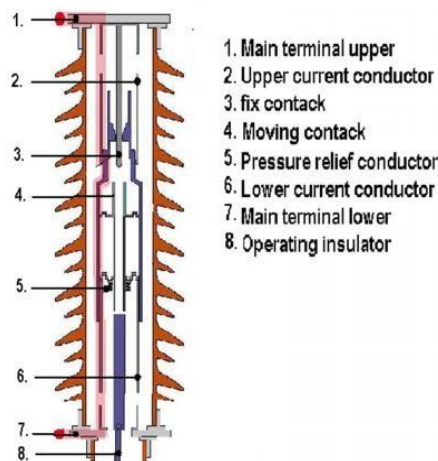
2.3.1 Primary

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.

1. 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 2.7 Interrupter ^[2]

(Sumber : *Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga PT PLN (Persero)*,2014,Hal 5)

²PT.PLN (Persero).(2014),Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga(PMT), SE No.0520-2.K/DIR/2014,Hal 5.

2. 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 2.8 Terminal Utama ^[2]

(Sumber : *Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga PT PLN (Persero)*,2014,Hal 5)

2.3.2 Dielectric

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

1. Electrical Insulation (Isolator)

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

- a. Isolator Ruang Pemutus (Interrupting Chamber)

Merupakan isolator yang berada pada ruang pemutus (*interrupting chamber*).

- b. Isolator Penyangga (Isolator Support)

Merupakan isolator yang berada pada penyangga/support.



Gambar 2.9 Isolator pada Interrupting Chamber dan Support ^[2]

(Sumber : *Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga PT PLN (Persero)*,2014,Hal 5)

²PT.PLN (Persero).(2014),Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga(PMT), SE No.0520-2.K/DIR/2014,Hal 5.



2.4 Standar Evaluasi Hasil Pemeliharaan ^[2]

Standar evaluasi adalah acuan yang digunakan dalam mengevaluasi hasil pemeliharaan untuk dapat menentukan kondisi peralatan PMT yang dipelihara. Standar yang ada berpedoman kepada: *instruction manual* dari pabrik, standar-standar internasional maupun nasional (IEC, IEEE, CIGRE, ANSI, SPLN, SNI dll) dan pengalaman serta observasi/pengamatan operasi di lapangan.

Dikarenakan dapat berbeda antar merk/pabrikasi, maka acuan yang diutamakan adalah manual dari pabrikasi PMT tersebut. Dapat digunakan acuan yang berasal dari standar internasional maupun nasional, apabila tidak ditemukan suatu nilai batasan pada manual dari pabrikasi PMT tersebut.

2.5 Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga (PMT) ^[2]

Berdasarkan fungsinya dan kondisi peralatan bertegangan atau tidak, jenis pemeliharaan pada Pemutus dapat dikelompokkan sebagai berikut:

2.5.1 In Service / Visual Inspection

In Service Inspection adalah inspeksi/pemeriksaan terhadap peralatan yang dilaksanakan dalam keadaan peralatan beroperasi/bertegangan (*on-line*), dengan menggunakan 5 panca indera (*five senses*) dan metering secara sederhana, dengan pelaksanaan periode tertentu (Harian, Mingguan, Bulanan, Tahunan).

Inspeksi ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui/memonitor kondisi peralatan dengan menggunakan alat ukur sederhana/umum (contoh *Thermo Gun*) yang dilaksanakan oleh petugas operator/asisten supervisor di gardu induk (untuk Tragi/UPT PLN P3B Sumatera/Wilayah) atau petugas pemeliharaan/supervisor gardu induk (untuk APP PLN P3B JB).

Pemeriksaan Review KEPDIR 114.K/DIR/2010 :

Pemeriksaan yang dilaksanakan secara periodik Harian/Mingguan, Triwulan dan Tahunan berdasarkan Uraian formulir inspeksi berdasarkan FMEA/FMECA terbaru sebagai berikut:

²PT.PLN (Persero).(2014),Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga(PMT), SE No.0520-2.K/DIR/2014,Hal 15 dan 64.



a. Pemeriksaan Harian

Meliputi:

1. Pemeriksaan Tekanan Hidrolik pada PMT sistem penggerak hidrolik
2. Pemeriksaan Tekanan Udara pada PMT sistem penggerak pneumatic
3. Pemeriksaan tekanan SF6 pada PMT dengan media pemadam busur api gas SF6.

b. Pemeriksaan Mingguan

Meliputi:

1. Pemeriksaan Indikator Kondisi pegas pada PMT sistem penggerak pegas (H-M)
2. Pemeriksaan Counter kerja Pompa pada PMT sistem penggerak hidrolik
3. Pemeriksaan Level minyak Hidrolik pada PMT sistem penggerak hidrolik
4. Pemeriksaan Kerja motor kompresor pada PMT sistem penggerak pneumatic
5. Pemeriksaan Level minyak kompresor pada PMT sistem penggerak pneumatic
6. Pemeriksaan/Pembuangan Air pada tangki kompresor pada PMT system penggerak pneumatic
7. Pemeriksaan Supply AC / DC pada Lemari Mekanik.

c. Pemeriksaan Bulanan

Meliputi:

1. Pemeriksaan Heater pada lemari mekanik
2. Pemeriksaan Penunjukan Level minyak pada PMT dengan media pemadam busur api minyak
3. Pemeriksaan Penunjukan tekanan N2 pada PMT dengan media pemadam busur api minyak.



d. Pemeriksaan Triwulan

Meliputi:

1. Pemeriksaan Warna minyak pada PMT dengan media pemadam busur api minyak
2. Pemeriksaan Posisi Indikator ON / OFF pada lemari mekanik
3. Pemeriksaan / pencatatan Stand Counte pada lemari mekanik
4. Pemeriksaan seal Pintu lemari mekanik
5. Pemeriksaan Kondisi dalam lemari mekanik
6. Pemeriksaan Kondisi Pintu Lemari mekanik
7. Pemeriksaan Lubang kabel pada lemari mekanik
8. Pemeriksaan Fisik Grading Cap pada lemari mekanik
9. Pemeriksaan Fisik Closing Resistor pada lemari mekanik.

e. Pemeriksaan Tahunan

Meliputi:

1. Pemeriksaan Kopel/Rod mekanik penggerak pada rod mekanik penggerakan PMT sistem penggerak pegas.
2. Pemeriksaan Kondisi pelumas roda gigi pada PMT sistem penggerak pegas.
3. Pemeriksaan Kondisi ventbelt kompresor pada PMT sistem penggerak pneumatik
4. Pemeriksaan Tangki kompresor pada PMT sistem penggerak pneumatik
5. Pemeriksaan terminal wiring
6. Pemeriksaan kabel control
7. Pemeriksaan keretakan isolator
8. Pemeriksaan terhadap Terminal Utama, Jumperan dan daerah bertegangan PMT terhadap benda asing



2.5.2 In Service Measurement / On Line Monitoring

Merupakan pengukuran yang dilakukan pada periode tertentu dalam keadaan peralatan bertegangan (*On Line*). Pengukuran dan/atau pemantauan yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui/memonitor kondisi peralatan dengan menggunakan alat ukur yang canggih (seperti *Thermal Imager*) yang dilakukan oleh petugas pemeliharaan.

a. Pemeriksaan 2 (dua) Mingguan

Meliputi:

1. Pengukuran Suhu (Thermovisi) Isolator interrupting chamber tegangan > 150 kV
2. Pengukuran Suhu (Thermovisi) Grading Capacitor tegangan > 150 kV
3. Pengukuran Suhu (Thermovisi) Isolator Closing Resistor tegangan > 150 kV
4. Pengukuran Suhu (Thermovisi) Terminal Utama tegangan > 150 kV

b. Pemeriksaan Bulanan

Meliputi:

1. Pengukuran Suhu (Thermovisi) Isolator interrupting chamber tegangan < 150 kV
2. Pengukuran Suhu (Thermovisi) Grading Capacitor tegangan < 150 kV
3. Pengukuran Suhu (Thermovisi) Isolator Closing Resistor tegangan

2.5.3 Shutdown Measurement / Shutdown Function Check/Treatment

Merupakan pengukuran yang dilakukan pada periode 2 tahunan dalam keadaan peralatan tidak bertegangan (*Off Line*).

Pengukuran dilakukan bertujuan untuk mengetahui kondisi peralatan dengan menggunakan alat ukur sederhana serta *advanced* yang dilakukan oleh petugas pemeliharaan.



a. Shutdown Measurement (2 tahunan)

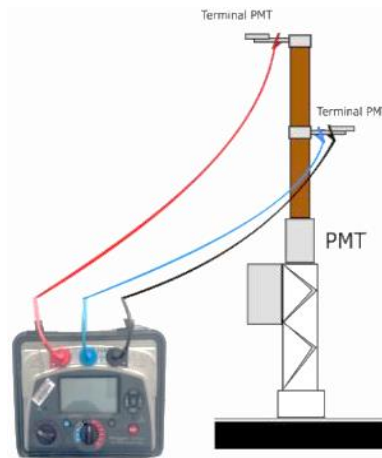
Meliputi:

1. Pengukuran tahanan isolasi terminal
2. Pengukuran tahanan kontak PMT
3. Pengukuran waktu buka PMT
4. Pengukuran Waktu tutup PMT
5. Pengukuran / pengujian Keserempakan Kontak Buka fasa R,S,T
6. Pengukuran / pengujian Keserempakan Kontak Tutup fasa R,S,T
7. Pengukuran Kapasitansi Kapasitor PMT (conditional)
8. Pengujian Tahanan Closing Resistor (conditional)
9. Pengukuran Tahanan magnetic coil
10. Pengukuran Tegangan Opening Coil
11. Pengukuran Tegangan Closing Coil
12. Pengujian Velocity Test (optional)
13. Pengujian Arus Motor Penggerak
14. Pengujian Tegangan Tembus PMT Bulk Oil (conditional)
15. Tangen Delta bushing PMT bulk oil
16. Pengujian kualitas gas SF₆ (conditional)
17. Pengukuran tahanan pentanahan PMT

2.6 Pengujian Tahanan Isolasi Pemutus Tenaga (PMT) ^[4]

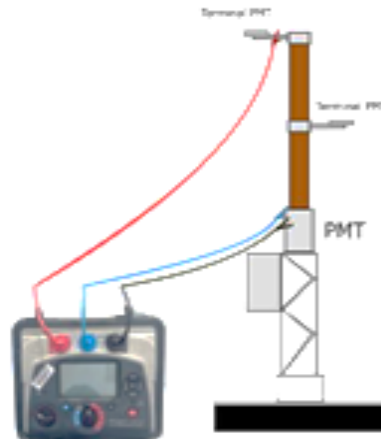
Pada dasarnya pengujian tahanan isolasi pemutus tenaga adalah untuk mengetahui besar (nilai) kebocoran arus yang terjadi antara terminal atas, terminal bawah dan ground. Posisi PMT pada saat pengujian tahanan isolasi adalah dalam keadaan open. Pada pengujian tahanan isolasi ini terdapat 3 titik ukur pengujian yaitu titik ukur antara terminal atas dengan bawah, titik ukur antara terminal atas dengan ground dan titik ukur antara terminal bawah dengan ground.

⁴Ari Susanto, Rudi Kumianto dan Managam Rajagukguk, 2021, Analisa Kelayakan Pemutus Tenaga (PMT) 150 kV Berdasarkan Hasil Uji Tahanan Isolasi, Tahanan Kontak dan Keserempakan Kontak di Gardu Induk Singkawang.



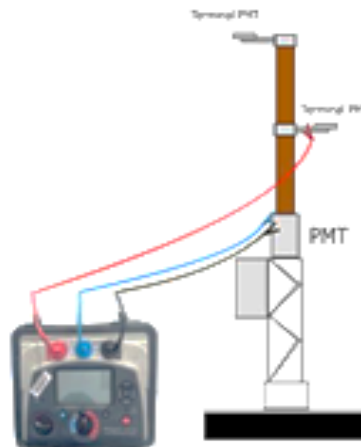
Gambar 2.10 Rangkaian pengukuran Atas-Bawah ^[4]

(Sumber : *jurnal.untan.ac.id*)



Gambar 2.11 Rangkaian pengukuran Atas-Ground ^[4]

(Sumber : *jurnal.untan.ac.id*)



Gambar 2.12 Rangkaian pengukuran Bawah-Ground ^[4]

(Sumber : *jurnal.untan.ac.id*)



Batasan tahanan isolasi PMT berdasarkan SPLN 69-2:1987 Tentang Standardisasi Peralatan Uji dan sesuai Buku Pemeliharaan Peralatan SE.032/PST/1984 serta menurut standard VDE (catalogue 228/4) *minimum* besarnya tahanan isolasi pada suhu operasi dihitung:

1 kilo Volt = 1 MΩ (Mega Ohm).....(2.1)

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

$I = \frac{\text{Tegangan Input}(V_i)}{\text{Tahanan Isolasi (Ris)}.....(2.2)$

Dimana:

- I = Arus (Ampere)
- Vi = Tegangan Input (Volt)
- Ris = Tahanan Isolasi (Ohm)

2.7 Pengujian Tahanan Kontak Pemutus Tenaga (PMT) ^[1]

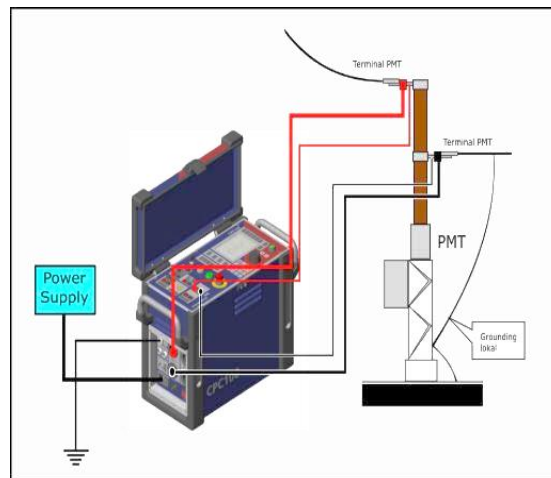
Rangkaian tenaga listrik sebagian besar terdiri dari banyak titik sambungan.Sambungan adalah dua atau lebih dari beberapa jenis konduktor bertemu secara fisik sehingga arus/energi listrik dapat disalurkan tanpa hambatan yang berarti.Pengujian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui nilai resistansi pada pemutus tenaga yang diakibatkan adanya titik-titik sambungan yang menyebabkan timbulnya rugi-rugi .

Rugi-rugi (W) = I² . R.....(2.3)

Dimana:

- I = Arus (Ampere)
- R = Tahanan kontak (μΩ)

¹Eri Ariyanto,2019, "Analisis Hasil Pengujian Tahanan Isolasi dan Keserempakan Pemutus Tenaga 150 kV Bay Palur 1 dan Palur 2 Gardu Induk Gondangrejo".



Gambar 2.13 Rangkaian pengukuran tahanan kontak ^[4]

(Sumber : *jurnal.untan.ac.id*)

Nilai tahanan kontak PMT yang normal harus (acuan awal) disesuaikan dengan petunjuk/manual dari masing – masing pabrikan PMT (dikarenakan nilai ini dapat berbeda antar merk). Nilai standar normal yang menjadi acuan yaitu $R \leq 120 \%$ nilai pabrikan atau Nilai Pengujian FAT ,nilai saat pengujian komisioning.

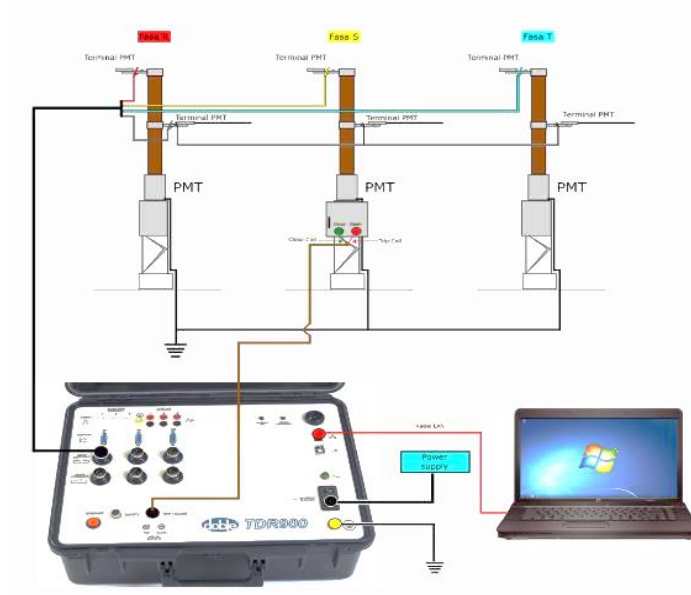
2.8 Pengujian Keserempakan Kontak Pemutus Tenaga (PMT) ^[1]

Pengujian keserempakan PMT bertujuan untuk mengetahui waktu kerja PMT secara individu serta untuk mengetahui keserempakan PMT pada saat menutup ataupun membuka. 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.

$$\Delta t = \text{Waktu Tertinggi} - \text{Waktu Terendah} \dots\dots\dots(2.4)$$

Delta time inilah yang menunjukkan keserempakan dari suatu PMT.



Gambar 2.14 Rangkaian pengukuran keserempakan Kontak ^[4]

(Sumber : *jurnal.untan.ac.id*)

Batasan nilai selisih waktu keserempakan yaitu $\Delta t \leq 10$ ms berdasarkan referensi dari pabrikan ABB.

2.9 Standar Acuan Evaluasi Berdasarkan Hasil Pengujian ^[2]

Dikarenakan dapat berbeda antar merk/pabrikan, maka acuan yang diutamakan adalah manual dari pabrikan PMT tersebut. Dapat digunakan acuan yang berasal dari standar internasional maupun nasional, apabila tidak ditemukan suatu nilai batasan pada manual dari pabrikan PMT tersebut.

2.9.1 Standar Pengukuran/Pengujian Tahanan Isolasi

Standar pengujian tahanan isolasi Pemutus Tenaga berdasarkan media baik Minyak, Vacuum, Udara maupun Gas SF₆. Standar batasan tahanan isolasi PMT berdasarkan SPLN 69-2:1987 Tentang Standardisasi Peralatan Uji dan sesuai Buku Pemeliharaan Peralatan SE.032/PST/1984 serta menurut standard VDE (catalogue 228/4) *minimum* besarnya tahanan isolasi pada suhu operasi dihitung “ **1 kilo Volt = 1 MΩ (Mega Ohm)** “.

²PT.PLN (Persero).(2014),Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga(PMT), SE No.0520-2.K/DIR/2014,Hal 64.

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

Semakin besar nilai tahanan isolasinya, maka akan semakin baik. Jika nilai tahanan isolasinya rendah takutnya akan adanya kegagalan isolasi pada pemutus tenaga, maka selanjutnya dilakukan pengujian lebih lanjut hingga nilai tahanan isolasi pada pemutus tenaga dikatakan baik.

Tabel 2.1 Standar Minimum Tahanan Isolasi Pemutus Tenaga

No	Hasil Uji	Rekomendasi
1	$\geq 1 \text{ M}\Omega / 1 \text{ kV}$	Normal
2	$< 1 \text{ M}\Omega / 1 \text{ kV}$	Lakukan pengujian lebih lanjut

(Sumber : Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga (PMT), SE No.0520-2.K/DIR/2014, PT.PLN (Persero), 2014).

2.9.2 Standar Pengukuran/Pengujian Tahanan Kontak

Nilai tahanan kontak PMT yang normal harus (acuan awal) berdasarkan SPLN 69-2:1987 Tentang Standardisasi Peralatan Uji disesuaikan dengan petunjuk/manual dari masing – masing pabrikan PMT (dikarenakan nilai ini dapat berbeda antar merk). Nilai standar normal yang menjadi acuan yaitu $R \leq 120 \%$ nilai pabrikan atau Nilai Pengujian FAT , nilai saat pengujian komisioning. Berikut terlampir daftar nilai standar pabrikan beberapa PMT:

Tabel 2.2 standar pabrikan beberapa PMT

No	MERK	Tipe PMT	Data Teknis	Resistansi Kontak Utama
1.	ALSTHOM	FX11	72.5 kV, Hydraulic, CI mechanism	50 $\mu\Omega$
2.	ALSTHOM	FX12	170 kV, Hydraulic, CIN mechanism	50 $\mu\Omega$
3.	ALSTHOM	FX22 or FX22D	550 kV, Hydraulic, CIN mechanism	40 $\mu\Omega$
4.	ALSTHOM	FX32 or FX32D	550 kV, Hydraulic, CIN	40 $\mu\Omega$

			mechanism	
5.	ALSTHOM	FXT9	72.5 kV, spring	50 $\mu\Omega$
6.	ALSTOM	GL309 F1	72.5 kV, spring	40 $\mu\Omega$
7.	ALSTOM	GL313 F1	170 kV, spring	40 $\mu\Omega$
8.	ALSTOM	GL313 F3	170 kV, spring	40 $\mu\Omega$
9.	ABB	S1-170 F1	170 kV, spring	50 $\mu\Omega$
10.	ABB	S1-170 F3	170 kV, spring	50 $\mu\Omega$
11.	ALSTOM	GL314	245 kV, spring	52 $\mu\Omega$
12.	ALSTOM	GL317 or GL317D	550 kV, spring, 2 chambers	95 $\mu\Omega$

(Sumber : Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga (PMT), SE No.0520-2.K/DIR/2014, PT.PLN (Persero),2014).

2.9.3 Standar Pengukuran/Pengujian Keserempakan Kontak PMT

Pada saat terjadi gangguan pada sistem tenaga listrik, diharapkan PMT bekerja dengan cepat. Clearing *Time* sesuai dengan standart SPLN No 52-1 1983 untuk sistem dengan tegangan:

- o 500 kV \leq 90 mili detik
- o 275 kV \leq 100 mili detik
- o 150 kV \leq 120 mili detik
- o 70 kV \leq 150 mili detik

Fault clearing *time* pengaman cadangan adalah 500 mili detik.

Kecepatan kontak PMT membuka dan atau menutup harus disesuaikan dengan referensi/acuan dari masing-masing pabrikan PMT (dikarenakan nilai ini dapat berbeda antar merk). Nilai-nilai referensi pengukuran waktu buka, pengukuran waktu tutup yaitu \leq 110 % berdasarkan nilai acuan dari beberapa pabrikan berturut-turut disampaikan seperti contoh pada Tabel.

**Tabel 2.3** Referensi Pengukuran Waktu Buka, Pengukuran Waktu Tutup

no	Merk	Tipe	WAKTU BUKA(O) (mili detik)	Waktu Tutup (C) (mili detik)	WAKTU O-C-O (mili detik)
1.	SIEMENS	3AQ1EE	36-39	90-95	300 mili detik+2 WAKTU BUKA+WAKTU TUTUP
2.	SIEMENS	3AQ1EG	36-39	95-100	
3.	SIEMENS	3AP1F1	34-37	58-66	
4.	AREVA	GL313 F3	35-38	85	
5.	ABB	LTB 72,5 D1/B	32-35	70	
6.	ABB	LTB 170 D1/B	32-35	70	
7.	ABB	LTB 245E1	17-19	28	
8.	ABB	HPL 72,5	25	90	
9.	ABB	HPL 170	25	90	
10.	NISSIN	FA1 N	35	120	
11.	NISSIN	SO-21	50	80	
12.	NISSIN	SO-11	50	80	
13.	AEG	S1-170	40	90	

(Sumber : Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga (PMT), SE No.0520-2.K/DIR/2014, PT.PLN (Persero),2014).

Toleransi perbedaan waktu pada pengujian keserempakan kontak PMT, yang terjadi antar fasa R, S, dan T pada waktu PMT beroperasi (Open / Close) ditentukan dengan melihat nilai Δt yang merupakan selisih waktu tertinggi dan terendah antar fasa R, S, dan T.



Tabel 2.4 Pengukuran Deviasi Waktu Antar Fasa Pabrikasi

Merk	Tipe	Batasan [ms]
ALSTHOM	ALL	≤ 10 (open/close)
NISSIN	FA1 N	≤ 6 (open),
		≤ 10 (close)

(Sumber : Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga (PMT), SE No.0520-2.K/DIR/2014, PT.PLN (Persero),2014).



2.10 Pengujian atau Pengukuran media Pemutus ^[2]

2.10.1 Pemutus Tenaga Gas SF₆

Sebagaimana diketahui Gas SF₆ pada Pemutus Tenaga (PMT) berfungsi sebagai media pemadam busur api listrik saat terjadi pemutusan arus listrik (arus beban atau arus gangguan) dan sebagai isolasi antara bagian – bagian yang bertegangan (kontak tetap dengan kontak bergerak pada ruang pemutus) dalam PMT, juga sebagai isolasi antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan pada PMT. Saat ini gas SF₆ banyak digunakan pada PMT atau GIS (*Gas Insulating Switchyard*) mulai dari tegangan 20 kV sampai dengan 500 kV karena gas SF₆ mempunyai sifat / karakteristik yang lebih baik dari jenis media pemutus lainnya.

Karakteristik/sifat gas SF₆ yang dimaksud adalah sebagai berikut:

A. Sifat Fisik

Gas SF₆ murni (pada tekanan absolut = 1 Atm dan temperatur = 20⁰ C) tidak berwarna, tidak berbau dan tidak beracun dengan berat isi 6,139 kg /m³ dan sifat lainnya adalah mempunyai berat molekul 146,7g, temperatur kritis 45,55⁰ C dan tekanan absolut kritis 3,78 MPa.

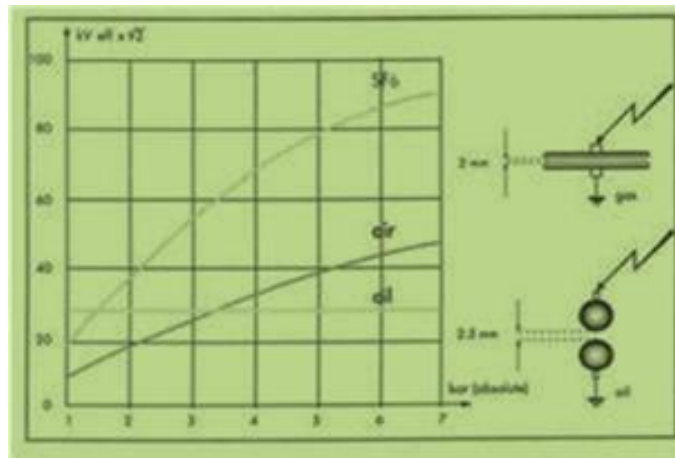
B. Sifat Kimia

Sifat kimiawi gas SF₆ sangat stabil, pada ambient temperatur dapat berupa gas netral dan juga sifat pemanasannya sangat stabil. Pada temperatur diatas 150⁰ C mempunyai sifat tidak merusak metal, plastik dan bermacam-macam bahan yang umumnya digunakan dalam pemutus tenaga tegangan tinggi.

C. Sifat Listrik

Sebagai isolasi listrik, gas SF₆ mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi, 2,35 kali kekuatan dielektrik udara dan kekuatan dielektrik ini bertambah dengan pertambahan tekanan dan mampu mengembalikan kekuatan dielektrik dengan cepat setelah arus bunga api listrik melalui titik nol.

²PT.PLN (Persero).(2014),Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga(PMT), SE No.0520-2.K/DIR/2014,Hal 37.



Gambar 2.15 Perbandingan Tegangan Tembus SF₆, Udara pada tekanan 1 Atm (air) dan Minyak Isolasi (oil) ^[2]

(Sumber : *Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga PT PLN (Persero)*,2014,Hal 38)

A. Pemeriksaan Tekanan/Kerapatan Gas SF₆

Pemeriksaan tekanan/kerapatan gas SF₆ pada PMT konvensional dilakukan untuk mengetahui apakah tekanan/kerapatan gas SF₆ masih berada pada batas tekanan ratingnya (*rated pressure*).

Tabel 2.5 Tabel Konversi Satuan Tekanan

Item	Pa	Bar	kg / cm ² at	Atm
1 Pa	1	10 ⁻⁵	10,2.10 ⁻⁶	9,86.10 ⁻³
1 bar	10 ⁵	1	1,02	0,987
1 kg/cm ² = 1at (atmosfir teknik)	9,81 x 10 ⁵	0,981	1	0,968
1 atm = atmosfir fisika	1,01 x 10 ⁶	1,013	1,033	1
1 lbf / in ² = 1Psi	6,89 x 10 ³	6,89 x 10 ⁻²	0,0703	6,8 x 10 ⁻²

(Sumber : *Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga (PMT)*, SE No.0520-2.K/DIR/2014. PT.PLN (Persero),2014)

Pelaksanaan pemeriksaan tekanan/kerapatan gas SF₆ dapat dilakukan dengan 2 (dua) cara yakni:

- a. Pemeriksaan langsung yaitu pembacaan nilai tekanan/kerapatan dapat langsung dibaca pada alat ukur (*pressure gauge/density meter*) yang terpasang permanen pada PMT/GIS.
- b. Pemeriksaan tidak langsung yaitu pembacaan nilai tekanan/kerapatan tidak dapat langsung harus terlebih dulu dipasang alat ukurnya, karena tidak terpasang alat ukur secara permanen.



Gambar 2.16 Alat Ukur yang digunakan untuk Pemeriksaan Tekanan Gas ^[2]

(Sumber : *Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga PT PLN (Persero)*,2014,Hal 41)

Tabel 2.6 Standar Pengujian Kualitas Gas SF₆ Lainnya

URAIAN	SATUAN	BATASAN	KETERANGAN
Berat molekol	gram	146,07	Delle Alsthom
Berat Jenis gas (Gas density) Pada temp. 20° C.			
1 bar	Kg/l	$6,16.10^{-3}$	IEC 376-1971
1 bar	Kg/l	$6,40.10^{-3}$	Delle Alsthom
2 bar	Kg/l	$12,50.10^{-3}$	Delle Alsthom
6 bar	Kg/l	$39,00.10^{-3}$	Delle Alsthom



Berat jenis cair (liquid density) Pada temp. 0° C.	Kg/l	1,56	S & S
Suhu kritis (critical temperature)	° C ° C	45,6 56,5	IEC 376-1971 Delle Alsthom
Berat jenis kritis (critical density)	Kg/l	0,370	Delle Alsthom
Tekanan kritis (critical pressure)	bar	40	Delle Alsthom
Degree of purity, - SF6 - Carbon tetraflouride (CF4)	% % %	Min. 99 max. 0,05 max. 0,05	S & S IEC 376-1971
Oxygen + Nitrogen (udara) - Water (H2O) - Acidity expressed as HF - Hidrolysable flourides, expressed asa HF	Ppm Ppm ppm	max. 15 max 0,3 max. 1,0	IEC 376-1971 IEC 376-1971 IEC 376-1971 IEC 376-1971 IEC 376-1971

(Sumber : Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga (PMT), SE No.0520-2.K/DIR/2014. PT.PLN (Persero),2014.)

Alat ukur yang digunakan untuk pemeriksaan tekanan gas tersebut baik yang terpasang permanen maupun yang tidak, ada dua macam yaitu yang pertama adalah alat ukur yang hanya dapat mengukur tekanan gas saja (*standard pressure*) dan alat ini digunakan pada PMT dan GIS < 150 kV, sedangkan yang kedua adalah alat yang dapat mengukur tekanan dan kerapatan gas (*density meter*) alat ini terpasang pada PMT/GIS 500 kV.



B. Pengukuran/Pengujian Karakteristik Gas SF₆

Seperti sudah dijelaskan sebelumnya bahwa gas SF₆ selain berfungsi sebagai isolasi juga berfungsi sebagai pemadam busur api listrik saat terjadi pemutusan arus.

Pada setiap pemadaman busur api listrik gas SF₆ akan mengalami proses kimia/ listrik dan dapat mengakibatkan perubahan sifat gas SF₆ tersebut, maka untuk mengetahui perubahan sifat gas (terutama pada GIS karena banyak menggunakannya) perlu dilakukan pengukuran/ pengujian karakteristiknya.

Ada beberapa macam pengukuran karakteristik gas SF₆ yang biasa dilakukan adalah sebagai berikut:

1) Kemurnian (Impurity Test)

Pengujian kemurnian gas SF₆ dilaksanakan untuk mengetahui perubahan kandungan gas SF₆ setelah mengalami penguraian setelah sekian kali/lama berfungsi memadamkan busur api listrik.

Jadwal pelaksanaan pengujian ini secara periodik adalah 12 tahunan (ABB) atau jika diperlukan (setelah melihat jumlah dan besar arus gangguan yang terjadi).

2) Kelembaban (Dew Point Test)

Pengujian kelembaban (*moisture*) dilakukan untuk mengetahui kandungan kelembaban didalam gas SF₆ yang terjadi karena pengaruh perubahan temperatur dan proses pemuaiian saat terjadi pemadaman busur api listrik.

3) Dekomposisi Product (Decomposition Products Test)

Pengujian dekomposisi produk dilaksanakan apabila diperlukan setelah melihat terlebih dahulu hasil pengujian kemurnian gas SF₆ dan juga dari hasil evaluasi jumlah gangguan dan besar arus gangguan yang terjadi dalam periode tertentu.

4) Pengujian Pressure Switch

Pengujian pressure switch dilaksanakan untuk mengetahui unjuk kerja *setting* dari kontak-kontak pengaman batas tekanan gas SF₆ sesuai batas *alarm*, *block recloser*, *block close* atau *auto trip* ke PMT.



2.10.2 Pemutus Tenaga Minyak (Oil)

Pemutus tenaga (PMT) dengan media pemutus minyak (*oil*) adalah salah satu jenis PMT yang masih digunakan dalam operasional penyaluran tenaga listrik. Untuk mengetahui apakah minyak PMT masih layak operasi sesuai dengan standard perusahaan maka perlu adanya acuan yang sesuai. Karakteristik dan fungsi media minyak PMT adalah berbeda dengan karakteristik minyak isolasi transformator. Selain berfungsi sebagai isolasi terhadap tegangan tinggi (menengah) media minyak pada PMT jenis ini juga berfungsi sebagai pemadam busur api listrik (*arching*) pada saat PMT dioperasikan. Khususnya pada saat pemutusan arus beban atau bila terjadi arus gangguan.

Ada beberapa PMT yang menggunakan minyak volume banyak (*bulk-oil*) dan ada yang menggunakan relatif sedikit minyak (*low oil contents*). Kelayakan operasi PMT media minyak tergantung pada banyak faktor, terutama yang menyangkut kualitas minyak itu sendiri. Faktor yang sering dijadikan acuan antara lain:

- a) Kandungan gas terlarut dalam minyak (terutama gas Hydrogen dan Acethylene)
- b) Jumlah kandungan partikel
- c) Tegangan tembus minyak

Khusus PMT jenis sedikit minyak (*low oil contents*) perlu dilakukan analisa komersial tentang untung dan ruginya. Karena biaya penggantian minyak baru dibandingkan dengan biaya untuk uji kandungan gas terlarut dalam minyak perlu menjadi bahan pertimbangan. Sehingga untuk operasional PMT *low oil contents* jarang dilakukan pengujian karakteristik minyak dan cenderung diganti dengan minyak sejenis yang baru.

Pengujian Tegangan Tembus Minyak (Oil Tester) pada Pemutus Tenaga (PMT):

Tipe dan jenis alat ukur tegangan tembus minyak adalah beragam, masing-masing memiliki spesifikasi yang berbeda antara yang satu dengan yang lainnya. Tapi seluruhnya memiliki prinsip kerja yang sama.

Hasil uji tegangan tembus isolasi minyak dari alat yang sederhana masih memerlukan pencatatan secara manual. Namun bagi alat uji yang canggih, pemilihan standard pengujian dan hasil rekordnya (*print-out*) akan keluar secara otomatis.

Yang perlu diperhatikan dalam Pengambilan minyak contoh dari PMT tidak boleh terjadi kontak langsung antara minyak dengan udara bebas (atmosfer). Karena amat besar pengaruhnya bila bersinggungan dengan udara bebas terhadap pada hasil pengukuran, maka pengambilan minyak contoh uji DGA harus hati-hati dan disediakan alat khusus yang diberi nama “ syringes “. Selain itu jangka waktu pengambilan minyak contoh dengan saat pengujian tidak boleh terlalu lama, karena mengakibatkan kosentrasi kandungan karbon mengendap dan menghasilkan hasil pengujian yang bukan nilai sebenarnya.

Dibawah ini beberapa contoh alat uji tegangan tembus dari beberapa merek dan jenis.



Gambar 2.17 Contoh Alat Uji Tegangan Tembus ^[2]

(Sumber : *Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga PT PLN (Persero)*,2014,Hal 51)

Prosedur Pengukuran secara umum:

- a. Pengambilan minyak contoh yang akan di-uji dengan cara yang benar (akan dijelaskan kemudian).
- b. Menempatkan minyak contoh pada port yang sudah disediakan pada alat uji.

- c. Melakukan pengujian seperti yang dijelaskan pada prinsip kerja alat ukur. dan hasilnya dicatat dalam laporan tertulis.



Gambar 2.18 Alat Pengambilan Contoh Minyak untuk Uji DGA ^[2]

(Sumber : *Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga PT PLN (Persero)*, 2014, Hal 52)

Prinsip kerja “syringes” adalah hampir sama dengan tabung injeksi (suntik), perbedaan yang prinsip contoh adalah mengisi penuh bagian ujung syringes dengan membuka katub/*valve* (membiarkan beberapa saat minyak memancar keluar) dan diusahakan tidak ada udara yang terperangkap didalamnya. Bila sudah yakin tidak ada udara maka katub / *valve* ditutup, dilanjutkan menarik piston syringes untuk mengisi tabung dengan minyak contoh sesuai dengan kebutuhan.

Ada cara lain pengambilan minyak contoh yang digunakan yaitu dengan *stainless steel cylinder*. Langkah pengambilan minyak contoh dengan menggunakan *stainless steel cylinder* adalah sebagai berikut.

Alat yang dibutuhkan:

- a. *Stainless steel cylinder*.
- b. Slang plastik yang sesuai besarnya dengan nipple yang dipakai.
- c. Bak penampung tumpahan minyak.

Langkah/tahapan pengambilan minyak contoh.

- 1) Buka kran buang (drain) tabung PMT *bulk-oil* beberapa saat agar kotoran/debu yang menempel di kran hilang.



- 2) Pasang *nipple* pada ujung kran buang (drain) dan usahakan ujung *nipple* yang lain cukup baik untuk pemasangan slang plastik pengisi *cylinder stainless steel*.
- 3) Hubungkan slang plastik dengan kedua ujung kran *cylinder* tempat minyak contoh. Posisi *cylinder* minyak contoh harus tetap vertikal. Dan yang akan tersambung dengan kran buang (drain) PMT pada posisi bawah.
- 4) Buka kedua kran *cylinder* minyak contoh.
- 5) Buka dengan hati-hati kran buang (drain) tabung PMT, minyak contoh akan mengalir dan mengisi *cylinder* contoh mulai dari bagian bawah. Biarkan beberapa saat minyak mengalir melalui slang plastik ujung satunya dan ditampung dalam bak.
- 6) Tutup kran bagian atas *cylinder* minyak contoh (sisi slang minyak yang keluar).
- 7) Tutup kran bagian bawah *cylinder* minyak contoh (sisi slang minyak masuk).
- 8) Tutup kran buang (drain) tabung PMT *bulk-oil*.
- 9) Lepaskan slang-2 plastik penghubung.
- 10) Minyak contoh dalam *cylinder* siap untuk di-uji

Pengambilan minyak contoh untuk uji tegangan tembus minyak isolasi tidak terlalu kritis seperti pengambilan minyak contoh untuk DGA. Namun demikian pada saat pengambilan contoh; kebersihan tempat minyak contoh tetap diutamakan dan hindari tingkat kelembaban yang tinggi.

2.10.3 Pemutus Tenaga Vacuum

Pengukuran/pengujian karakteristik media pemutus *vacuum* adalah untuk mengetahui apakah ke-*vacuum*-an ruang kontak utama (*breaking chamber*) PMT tetap hampa sehingga masih berfungsi sebagai media pemadam busur api listrik.

PMT jenis *vacuum* kebanyakan digunakan untuk tegangan menengah dan hingga saat ini masih dalam pengembangan sampai tegangan 36 kV.

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 dielektrikum yang tinggi maka bentuk fisik PMT jenis ini relatif kecil.

A. Prinsip Kerja Alat Ukur media pemutus *vacuum*:

Pada dasarnya pengukuran/ pengujian karakteristik media pemutus *vacuum* adalah untuk mengetahui apakah ke-vacuum-an *breaking chambers* masih terjaga. Karena bila terjadi kebocoran sedikit saja (udara luar masuk kedalam tabung) maka tidak ada jaminan bagi PMT bisa dioperasikan kembali.

Banyak jenis alat pengukur/ penguji media pemutus *vacuum*, masing - masing memiliki spesifikasi yang berbeda antara yang satu dengan yang lainnya.



Gambar 2.19 Alat uji PMT vacuum merk VIDA ^[2]

(Sumber : *Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga PT PLN (Persero)*, 2014, Hal 57)

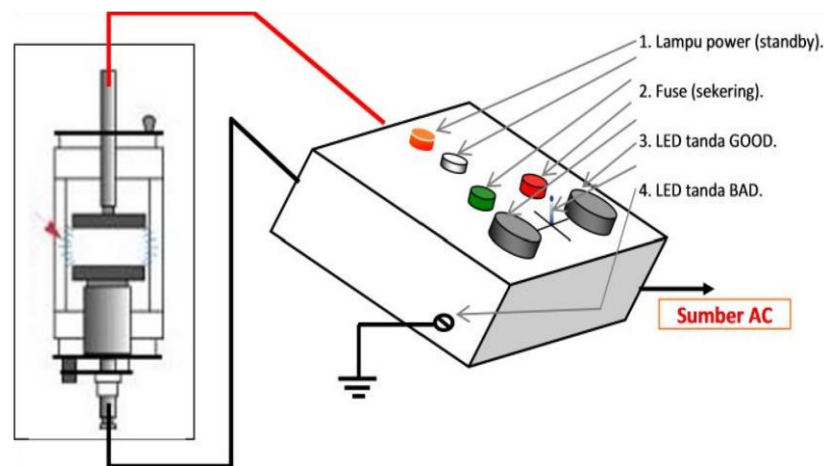
Alat uji PMT vacuum mempunyai tegangan uji 0 ~ 60 kV DC dengan kenaikan tegangan asut 500 V ~ 3.000 V setiap detik, arus nominal 10 mA. Lama pengujian mulai saat tombol “ON” adalah 10 detik atau lebih. Prinsip

kerja alat uji PMT vacuum ini adalah mendeteksi arus bocor antara kontak diam (*fixed contact*) dan kontak gerak (*moving contact*) dengan kondisi PMT *Open*.

Arus bocor ini telah dikalibrasi dalam alat uji; sehingga secara otomatis alat uji akan membuka (*shut down*) dengan sendirinya bila terjadi arus bocor yang melampaui batas ketentuan mengalir antara kontak diam dan kontak gerak.

B. Pengukuran/pengujian karakteristik medium pemutus *vacuum*

Peralatan Uji ini mengeluarkan tegangan yang dapat mengakibatkan kecelakaan yang serius atau menyebabkan kematian. Oleh sebab itu peralatan ini jarang digunakan secara umum dan lebih banyak dipakai di Laboratorium Listrik Tegangan Tinggi atau dioperasikan oleh petugas yang terlatih dan memahami prosedur pengoperasian alat secara benar.



Gambar 2.20 Rangkaian Pengujian Karakteristik Media Pemutus Vacuum ^[2]

(Sumber : *Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga PT PLN (Persero)*, 2014, Hal 58)

Setelah rangkaian seperti gambar di atas siap maka pengukuran / pengujian karakteristik media pemutus *vacuum* dilakukan dengan memutar tombol (pengatur tegangan) secara perlahan. Lampu LED hijau akan menyala terus bila kondisi vacuum (*breaking chambers*) masih bagus. Lampu LED merah akan menyala bila kondisi vacuum tidak bagus dan alat uji akan otomatis mati (*shut-down*) dengan sendirinya.