



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Pemutus Tenaga (PMT)¹

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.

Jadi dapat disimpulkan bahwa pemutus tenaga (PMT) adalah peralatan saklar/*switching* mekanik yang memiliki pemadam busur api yang berfungsi untuk menghubungkan atau memutus arus beban atau arus gangguan dalam keadaan berbeban.

Syarat – syarat yang harus dipenuhi oleh PMT antara lain:²

1. Mampu menyalurkan arus maksimum sistem secara terus menerus
2. Mampu memutuskan dan menutup jaringan dalam keadaan berbeban maupun hubung singkat tanpa menimbulkan kerusakan.

¹ Kelompok Kerja Pemutus Tenaga (PMT) dan Pemisah (PMS) PT. PLN (Persero). 2014. *Buku Pedoman Pemutus Tenaga (PMT)*. Jakarta: PT. PLN (Persero), hal. 1.

² Bonggas L. Tobing, *Peralatan Tegangan Tinggi Edisi Kedua* (Jakarta: Erlangga, 2012), hal.11



3. Dapat memutuskan arus hubung singkat dengan kecepatan tinggi agar arus hubung singkat tidak sampai merusak peralatan sistem.

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

1. Tegangan efektif tertinggi dan frekuensi daya jaringan dimana pemutus daya itu akan dipasang. Nilainya tergantung pada jenis pentanahan titik netral sistem.
2. Arus maksimum continue yang akan dialirkan melalui pemutus daya. Nilai arus ini tergantung pada arus maksimum sumber daya atau arus nominal beban dimana pemutus daya tersebut terpasang.
3. Arus hubung singkat maksimum yang akan diputuskan pemutus daya tersebut.
4. Lamanya maksimum arus hubung singkat yang boleh berlangsung. Hal ini berhubungan dengan waktu pembukaan kontak yang dibutuhkan.
5. Jarak bebas antara bagian yang bertegangan tinggi dengan objek lain disekitarnya.
6. Jarak rambat arus bocor pada isolatornya.
7. Kekuatan dielektrik media isolator sela kontak.
8. Iklim dan ketinggian lokasi penempatan pemutus daya.

2.2 Klasifikasi PMT⁴

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:

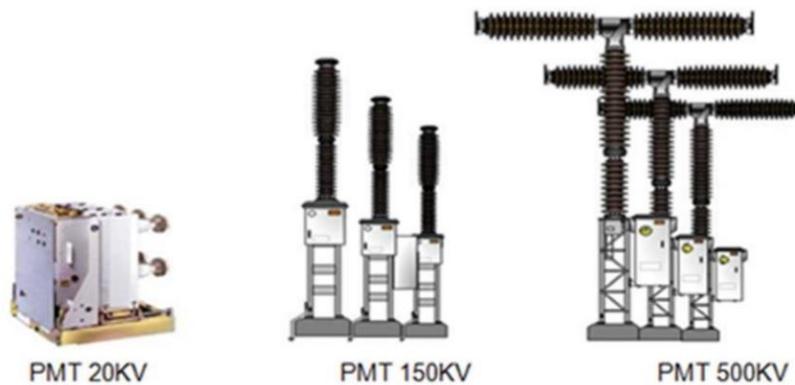
- PMT tegangan rendah (*Low Voltage*)

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

³ *Ibid.* Hal 32

⁴ Kelompok Kerja Pemutus Tenaga (PMT) dan Pemisah (PMS) PT. PLN (Persero). 2014. *Buku Pedoman Pemutus Tenaga (PMT)*. Jakarta: PT. PLN (Persero), hal. 1-64

- PMT tegangan menengah (*Medium Voltage*)
dengan range tegangan 1 s/d 35 kV (SPLN 1.1995 – 3.4)
- PMT tegangan tinggi (*High Voltage*)
Dengan range tegangan 35 s/d 245 kV (SPLN 1.1995 – 3.5)
- PMT tegangan ekstra tinggi (*Extra High Voltage*)
Dengan tegangan lebih besar dari 245 kVAC (SPLN 1.1995 – 3.6)



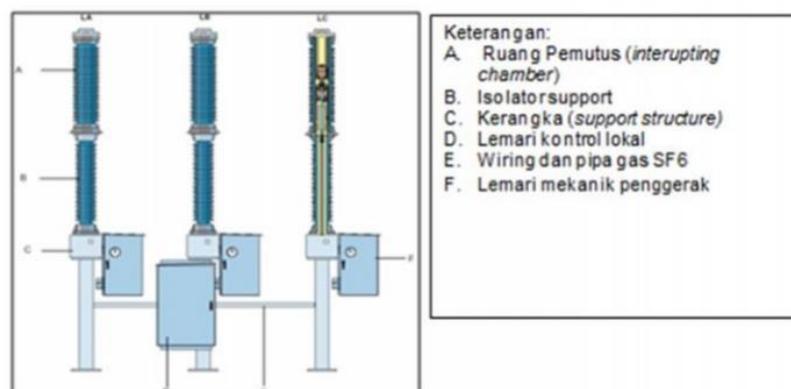
Gambar 2.1 Macam – macam PMT

2.2.2 Berdasarkan Jumlah Mekanik Penggerak / *Tripping Coil*

PMT dapat dibedakan menjadi:

- PMT *Single Pole*

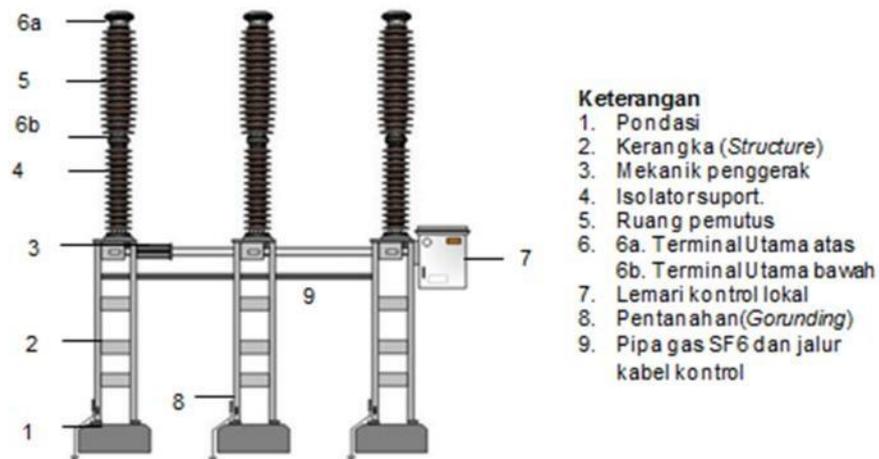
PMT type ini mempunyai mekanik penggerak pada masing-masing pole, umumnya PMT jenis ini dipasang pada bay penghantar agar PMT bisa reclose satu fasa



Gambar 2.2 PMT *Single Pole*

- PMT *Three Pole*

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



Gambar 2.3 PMT *Three Pole*

2.2.3 Berdasarkan Media Isolasi

Jenis PMT dapat dibedakan menjadi:

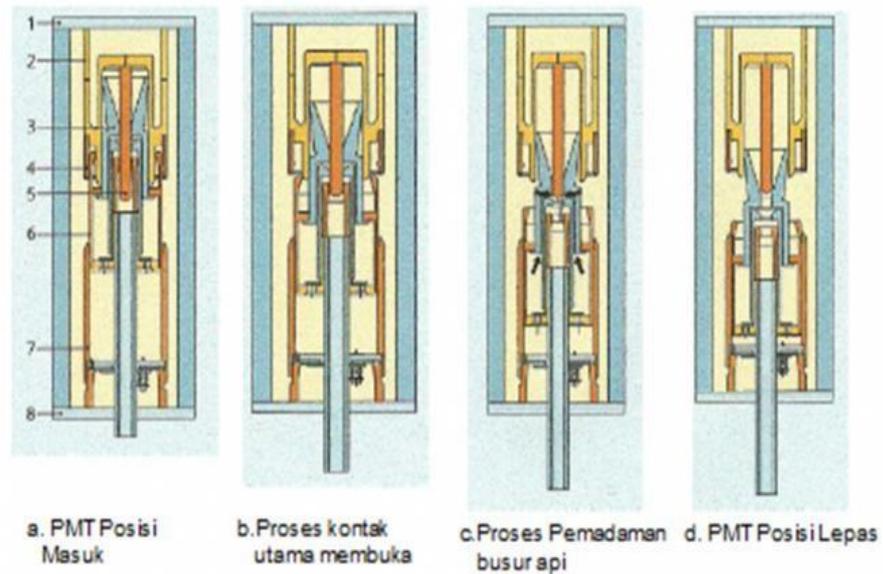
- PMT Gas SF6
- PMT Minyak
- PMT Udara Hembus (*Air Blast*)
- PMT Hampa Udara (*Vacuum*)

2.2.4 Berdasarkan Proses Pemadam Busur Api Listrik Diruang Pemutus

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

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

PMT terisi gas SF6 dengan tekanan kira-kira 5kg/cm², selama terjadi proses pemisahan kontak – kontak, gas SF6 ditekan (*fenomena thermal overpressure*) ke dalam suatu tabung/*cylinder* yang menempel pada kontak bergerak selanjutnya saat terjadi pemutusan, gas SF6 ditekan melalui *nozzle* yang menimbulkan tenaga hembus/tiupan dan tiupan ini yang memadamkan busur api.



Gambar 2.4 PMT SF6 Saat Proses Pemutusan Arus Listrik

Keterangan Gambar:

1. Terminal Utama Atas (Rod Kontak Diam)
 2. *Support* Kontak Diam
 3. *Nozzle*
 4. Kontak Utama (*Main Contact*)
 5. *Arcing Contact*
 6. Kontak Bergerak
 7. *Support* Kontak Bergerak
 8. Terminal Utama Bawah
2. PMT Jenis Tekanan Ganda (*double pressure type*)

PMT terisi gas SF6 dengan sistem tekanan tinggi kira-kira 12kg/cm^2 dan sistem tekanan rendah kira-kira 2kg/cm^2 , pada waktu pemutusan busur api gas SF6 dari sistem tekanan tinggi dialirkan melalui *nozzle* ke sistem tekanan rendah. Gas pada sistem tekanan rendah kemudian dipompakan kembali ke sistem tekanan tinggi, saat ini PMT SF6 tipe ini sudah tidak diproduksi lagi.

2.3 Komponen dan Fungsi

Sistem pemutus (PMT) terdiri dari beberapa sub-sistem yang dimiliki beberapa komponen. Pembagian komponen dan fungsi dilakukan berdasarkan *failure modes effects analysis* (FMEA), sebagai berikut:

1. *Primary*
2. *Dielectric*
3. *Driving mechanism*
4. *Secondary*

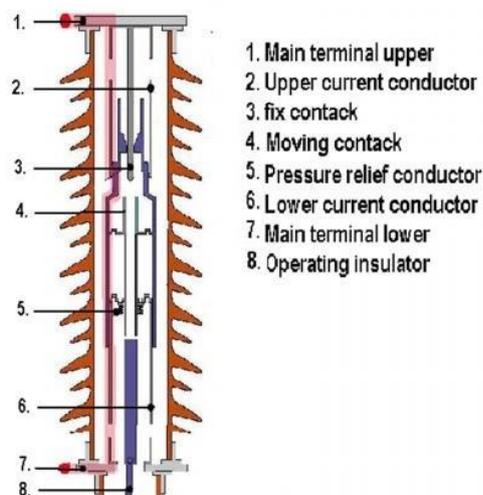
2.3.1 Primary

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

2.3.1.1 Interrupter

Merupakan bagian terjadinya proses membuka atau menutup kontak PMT. Didalamnya terdapat beberapa jenis kontak yang berkenan langsung dalam proses penutupan atau pemutus arus, yaitu:

- Kontak bergerak/*moving contact*
- Kontak tetap/*fixed contact*
- Kontak arcin/*arcing contact*



Gambar 2.5 Interrupter

2.3.1.2 Asesoris Dari Interrupter (jika ada)

Terdiri dari:

- Resistor

Resistor/tahanan dipasang paralel dengan unit pemutus utama (bekerja hanya pada saat terjadinya penutupan kontak PMT) dan berfungsi untuk:

1. Mengurangi kenaikan harga dari tegangan pukul (*restriking voltage*)
2. Mengurangi arus pukulan (*chopping current*)
3. Meredam tegangan lebih karena mengoperasikan PMT tanpa beban pada penghantar panjang

- Kapasitor

Kapasitor terpasang paralel dengan tahanan, unit pemutus utama dan unit pemutus pembantu yang berfungsi untuk:

1. Mendapatkan pembagian tegangan (*voltage distribution*) yang sama pada setiap celah kontak, sehingga kapasitas pemutusan (*breaking capacity*) pada setiap celah adalah sama besarnya
2. Meningkatkan kinerja PMT pada penghantar pendek dengan mengurangi frekuensi kerja

2.3.1.3 Terminal Utama

Bagian dari PMT yang merupakan titik sambunga/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.

2.3.2.1 Electrical insulation (isolator)

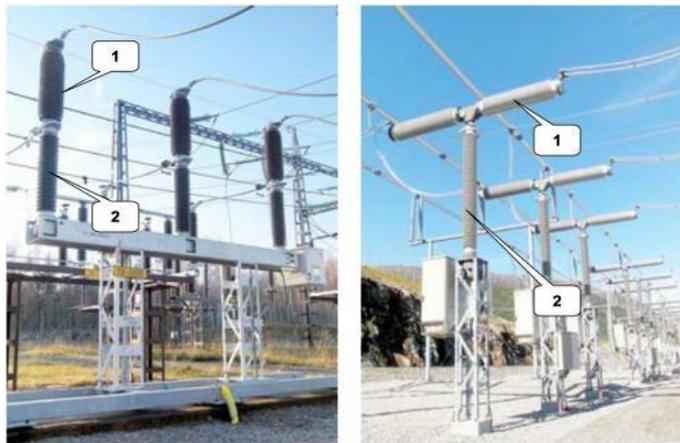
Pada pemutus (PMT) terdiri dari 2 (dua) bagian isolasi yang berupa isolator, yaitu:

1. Isolator Ruang Pemutus (*interrupting chamber*)

Merupakan isolasi yang berada pada ruang pemutus (*interrupting chamber*)

2. Isolator Penyangga (*isolator support*)

Merupakan isolasi yang berada pada penyangga/*support*



Gambar 2.7 Isolator pada *Interrupting Chamber* dan *Support*

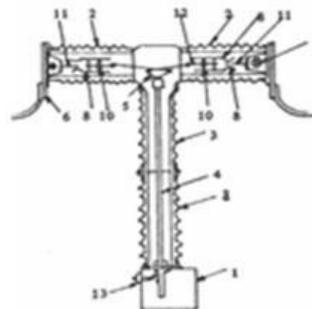
2.3.2.2 Media Pemadam Busur Api

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:

1. Pemadam Busur Api Dengan 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 pertambahan tekanan. Umumnya PMT jenis ini merupakan tipe tekanan tunggal (*single pressure type*), 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 (operating mechanism).
2. Pemutus (interrupter).
3. Isolator penyangga dari porselen rongga (hollow support insulator porcelain).
4. Batang penggerak berisolasi glass Fibre (Fibre Glass Insulating Operating Rod).
5. Penyambung diantara no.4 dan no.12 (linkages).
6. Terminal-terminal.
7. Saringan (filters).
8. Silinder bergerak (movable cylinder).
9. Torak tetap (fixed piston).
10. Kontak tetap (fixed contact).

Gambar 2.8 PMT Satu Katup dengan Gas SF₆

2. Pemadam Busur Api Dengan Minyak/*Oil*

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*)

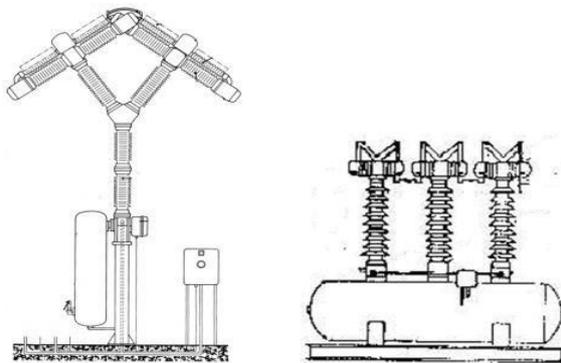
PMT jenis ini digunakan mulai dari tegangan menengah 6 kV sampai tegangan ekstra tinggi 425 kV dengan arus nominal 400 A sampai 1250 A dengan arus pemutusan simetris 12 kA sampai 50 kA.



Gambar 2.9 PMT Bulk Oil

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*).

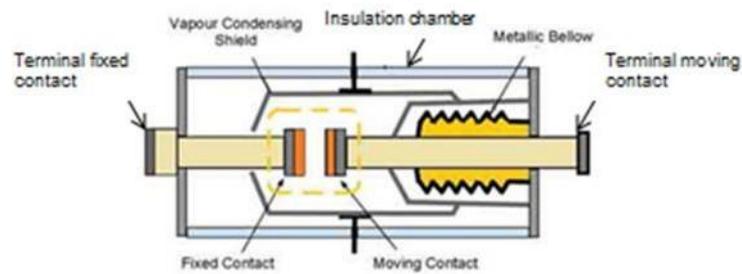


Gambar 2.10 PMT Udara Hembus/Air Blast

4. Pemadam Busur Api Dengan Hampa Udara/*Vacuum*

Ruang hampa udara mempunyai kekuatan dielektrik (*dielectric 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 2.11 Ruang Kontak Utama (*Breaking Chamber*) pada PMT Vacuum



Gambar 2.12 PMT dengan Hampa Udara/*Vacuum*

2.3.3 Driving Mechanism

Berfungsi menyimpan energi untuk dapat menggerakkan kontak gerak (*moving contact*) PMT dalam waktu tertentu sesuai dengan spesifikasinya.

Terdapat beberapa jenis sistem penggerak pada PMT, antara lain:

2.3.3.1 Penggerak Pegas (*spring drive*)

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

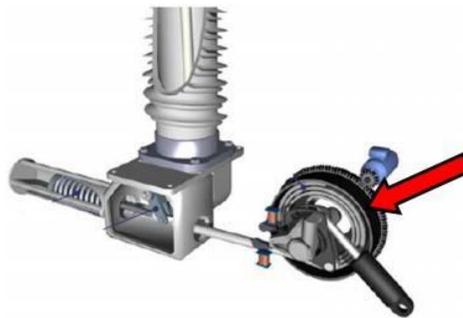
- Pegas pilin (*helical spring*)

PMT jenis ini menggunakan pegas pilin sebagai sumber tenaga penggerak yang ditarik atau diregangkan oleh motor melalui rantai



Gambar 2.13 Sistem Pegas Pilin (*Helical*)

- Pegas gulung (*scroll spring*)
PMT jenis ini menggunakan pegas gulung untuk sumber tenaga penggerak yang diputar oleh motor melalui roda gigi

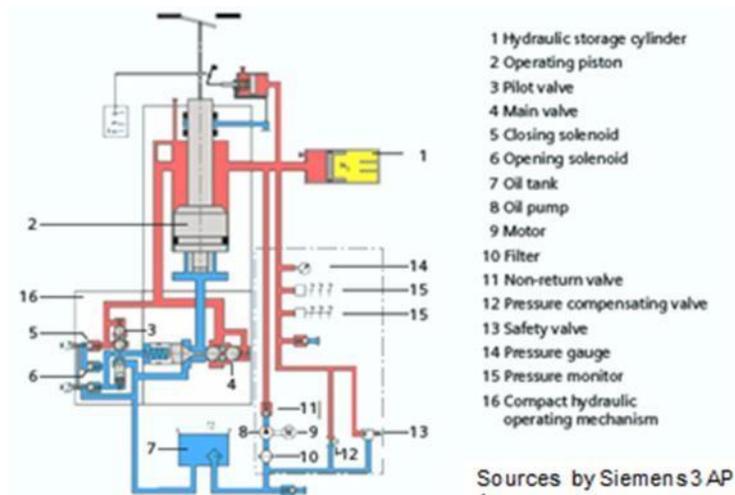


Gambar 2.14 Sistem Pegas Gulung (*Scroll*)

2.3.3.2 Penggerak Hidrolik

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

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



Gambar 2.15 Skematik Diagram Sistem Hidrolik

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

2.3.3.3 Penggerak Pneumatic

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

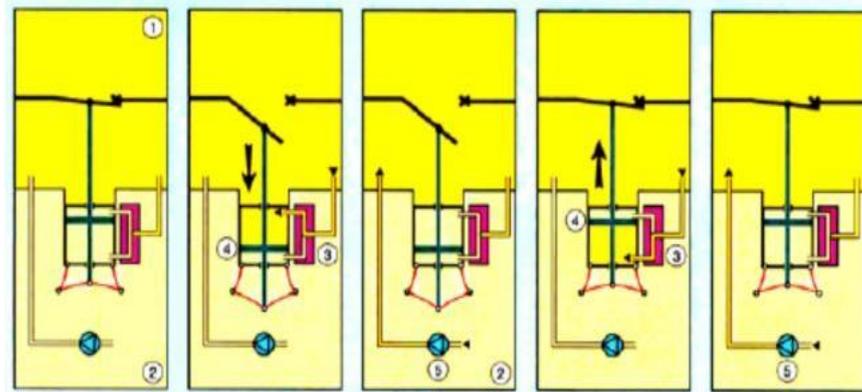
2.3.3.4 SF6 Gas Dynamic

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

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

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

- Volume yang terbentuk dalam interrupter dan isolator tumpu
- Volume dalam enclosure mekanik penggerak



Gambar 2.16 Diagram Mekanisme Operasi PMT SF6 Dynamic



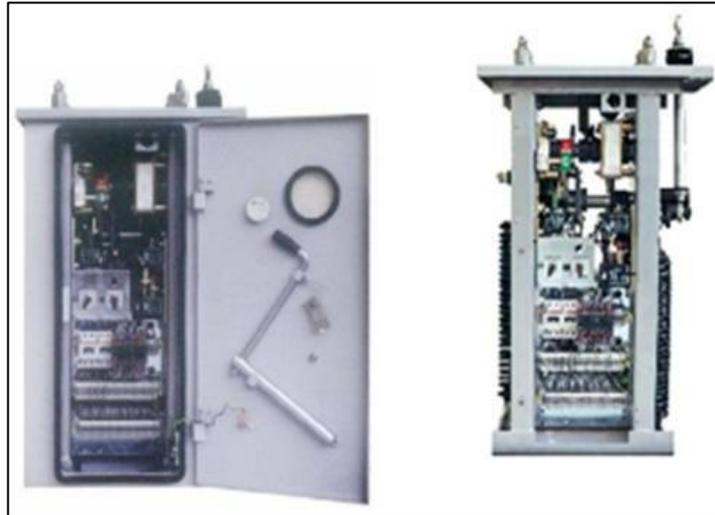
Gambar 2.17 PMT SF6 Dynamic

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:

2.3.4.1 Lemari Mekanik/Kontrol

Berfungsi untuk melindungi peralatan tegangan rendah dan sebagai tempat *secondary equipment*.



Gambar 2.18 Lemari Mekanik/Kontrol

2.3.4.2 Terminal dan Wiring Control

Sebagai terminal *wiring* kontrol PMT serta memberikan *trigger* pada mekanik penggerak untuk operasi PMT.

2.4 Failure Modes Effects Analysis (FMEA)

Failure Modes Effects Analysis (FMEA) adalah prosedur analisa dari model kegagalan (*failure modes*) yang dapat terjadi dalam sebuah sistem untuk diklasifikasikan berdasarkan hubungan sebab-akibat dan penentuan efek dari kegagalan tersebut terhadap sistem.

2.5 Pedoman Pemeliharaan

Pemeliharaan peralatan listrik tegangan tinggi bertujuan untuk menjamin kontinuitas penyaluran tegangan tinggi dan menjamin keandalan antara lain:

- a. Untuk meningkatkan keandalan ketersediaan dan efisiensi.
- b. Untuk memperpanjang umur peralatan sesuai dengan usia teknisnya.
- c. Untuk mengurangi resiko terjadinya kegagalan atau kerusakan peralatan.
- d. Untuk meningkatkan keamanan peralatan.
- e. Untuk mengurangi lama waktu pemadaman akibat sering terjadinya gangguan.



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

1. *In Service / Visual Inspection*
2. *In Service Measurement / Online Monitoring*
3. *Shutdown Measurement / Shutdown Function Check / Treatment*
4. *Conditional* (Pasca Relokasi / Pasca Gangguan / Bencana Alam)
5. *Overhaul*

In Service Inspection, In Service Measurement/On Line Monitoring, Shutdown Measurement/ Shutdown Function Check, Conditional dan Overhaul sebagaimana dimaksud dalam butir 1 s/d 5 di atas, merupakan bagian dari uraian kegiatan pemeliharaan yang tertuang dalam KEPDIR 114.K/DIR/2010.

Periode pemeliharaan shutdown measurement dan shutdown function check dilaksanakan setiap 2 Tahun dan kegiatan pemeriksaan maupun pengujian mengacu kepada Failure Mode Effect Analysis (FMEA) dari setiap komponen peralatan tersebut.

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).

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.

2.5.3 Shutdown Measurement/Shutdown Function Check

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.

2.5.4 Conditional

Pekerjaan pemeliharaan yang dilaksanakan dipicu oleh kondisi tertentu atau pasca gangguan atau relokasi peralatan, misalnya karena bencana alam/gempa atau kondisi abnormal setelah pemeliharaan dilakukan.

2.5.5 Overhaul

Overhaul adalah pemeliharaan yang dilaksanakan sekurang-kurangnya sekali dalam tiga tahun atau lebih berdasarkan manual *instruction*, ketentuan pabrikan atau pengalaman/ketentuan unit setempat.

2.6 Pengukuran/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/resistansi terhadap arus yang melaluinya sehingga akan terjadi panas dan menjadikan kerugian teknis. Rugi ini sangat signifikan jika nilai tahanan kontaknya tinggi.

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

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

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

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

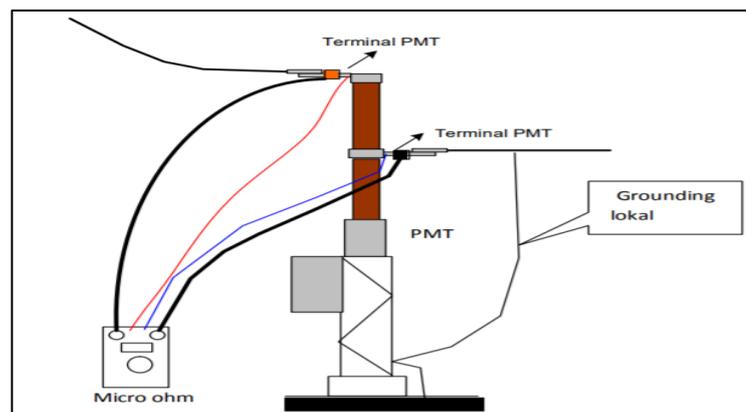
$$W = 10.000 \text{ watts}$$

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.

Alat ukur tahanan kontak terdiri dari sumber arus dan alat ukur tegangan (drop Tegangan pada obyek yang diukur). Dengan sistem elektronik maka pembacaan dapat diketahui dengan baik dan ketelitian yang cukup baik pula (digital). Digunakannya arus sebesar 100 amp karena dibagi dengan angka 100 akan memudahkan dalam menentukan nilai tahanan kontak dan lebih cepat.

Dalam melakukan pengukuran skala yang digunakan harus diperhatikan jangan sampai arus yang dibangkitkan sama dengan batasan skala sehingga kemungkinan akan terjadi overload dan hasil penunjukan tidak sesuai dengan kenyataannya.



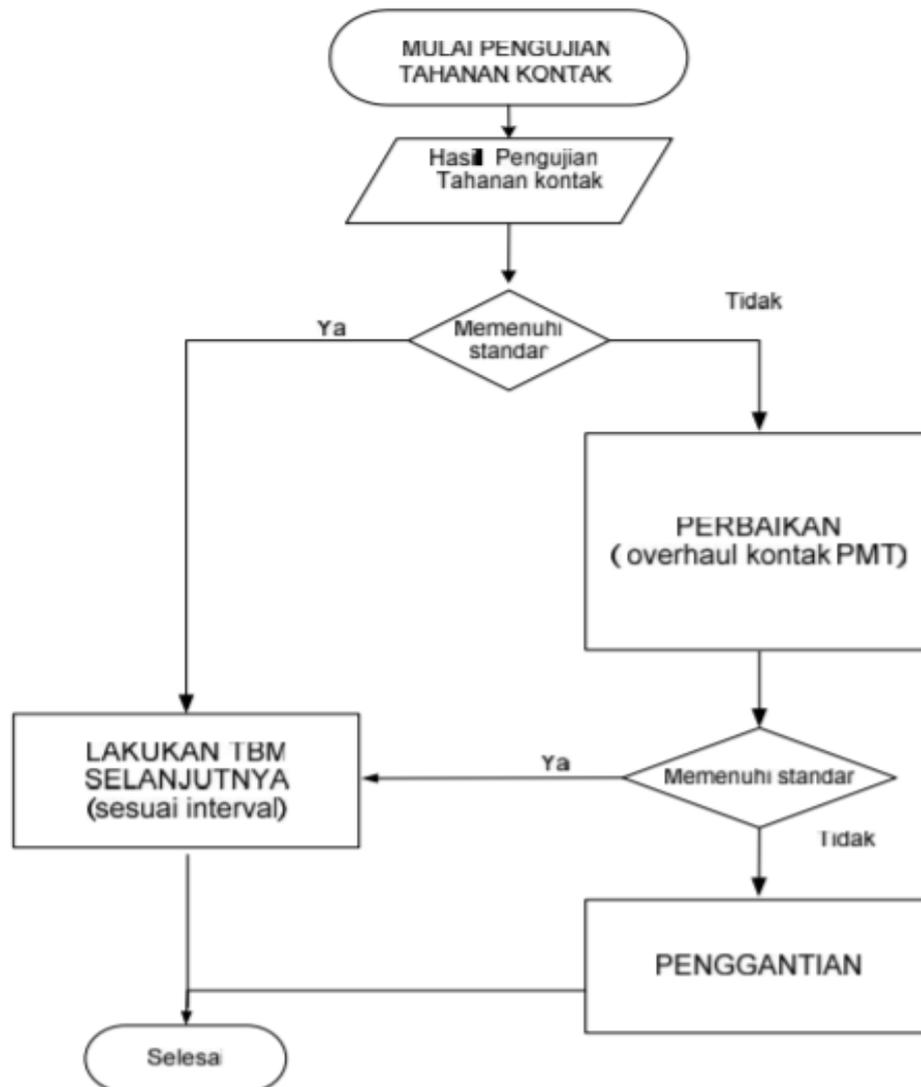
Gambar 2.19 Rangkaian Pengukuran Tahanan Kontak pada PMT

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. Berikut daftar nilai standar pabrikan beberapa tahanan kontak PMT:

Tabel 2.1 Nilai Tahanan Kontak Acuan Pabrikan

Merk	Tipe PMT	Data Teknis	Resistansi Kontak Utama
ALSTHOM	FX11	72,5 kV, Hydraulic, CI mechanism	50 $\mu\Omega$
ALSTHOM	FX12	170 kV, Hydraulic, CIN mechanism	50 $\mu\Omega$
ALSTHOM	FX22 or FX22D	550 kV, Hydraulic, CIN mechanism	40 $\mu\Omega$
ALSTHOM	FX32 or FX32D	550 kV, Hydraulic, CIN mechanism	40 $\mu\Omega$
ALSTHOM	FXT9	72,5 kV, spring	50 $\mu\Omega$
ALSTOM	GL309 F1	72,5 kV, spring	40 $\mu\Omega$
ALSTOM	GL313 F1	170 kV, spring	40 $\mu\Omega$
ALSTOM	GL313 F3	170 kV, spring	40 $\mu\Omega$
ABB	S1-170 F1	170 kV, spring	50 $\mu\Omega$
ABB	S1-170 F3	170 kV, spring	50 $\mu\Omega$
ALSTOM	GL314	245 kV, spring	52 $\mu\Omega$
ALSTOM	GL317 or GL317D	550 kV, spring, 2 chambers	95 $\mu\Omega$

Khusus untuk PMT yang tidak memiliki data awal dapat menggunakan nilai standar PMT tipe sejenis atau nilai pengukuran terendah PMT tersebut mengacu pada history pemeliharaan (trend 3 kali periode pemeliharaan sebelumnya).

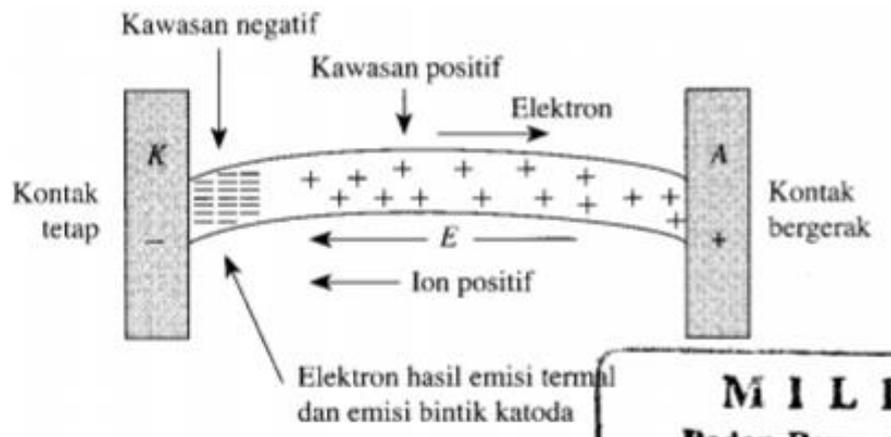


Gambar 2.20 Diagram Alir Tindak Lanjut berdasarkan Hasil Pengukuran Tahanan Kontak

Rekomendasi hasil pengujian tahanan kontak apabila hasil ukur/uji \geq batasan pada manual atau $\geq 120\%$ nilai acuan maka:

1. Dilakukan pembersihan terminal klem dari debu, korosif atau cat.
2. Dilakukan uji ulang
3. Dilakukan perbaikan atau pergantian pemutus tenaga (overhaul)

2.7 Terjadinya Busur Api⁵



Gambar 2.21 Proses Terjadinya Busur Api

Jika kontak pemutus daya dipisahkan, maka beda potensial di antara kontak akan menimbulkan medan elektrik di sela kontak tersebut, seperti diperlihatkan pada Gambar 2.21. Arus yang sebelumnya mengalir melalui kontak akan memanaskan kontak pemutus daya sehingga ketika kontak membuka, pada permukaan kontak terjadi emisi termal. Medan elektrik di antara kontak menimbulkan emisi medan tinggi pada permukaan kontak yang beraksi sebagai katoda (K). Kedua peristiwa emisi ini menghasilkan elektron bebas yang sangat banyak dan bergerak menuju kontak yang berperan sebagai anoda (A). Elektron-elektron ini membentur molekul netral media isolasi di kawasan positif. Benturan-benturan ini akan menimbulkan proses ionisasi. Dengan demikian, jumlah elektron bebas yang menuju anoda semakin bertambah. Proses ionisasi juga menghasilkan Ion positif yang tiba di katoda akan menimbulkan dua efek yang berbeda.

Jika ion positif yang bergerak menuju katoda. Perpindahan elektron bebas ke anoda menimbulkan arus, arus ini akan memanaskan anoda.

Ion positif yang tiba di 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 termal semakin meningkat. Jika kontak terbuat dari bahan yang titik leburnya

⁵ Bonggas L. Tobing. *Peralatan Tegangan Tinggi Edisi Kedua*. (Jakarta: Erlangga, 2012), hal. 17-18



rendah, misalnya tembaga, maka ion positif akan menimbulkan emisi medan tinggi. Hasil emisi termal dan emisi medan tinggi akan melanggengkan proses ionisasi, sehingga perpindahan muatan antar kontak terus berlangsung dan inilah yang disebut dengan busur api. Busur api yang berlangsung lama akan meluruhkan material permukaan kontak.

2.8 Rugi Daya Penghantar⁶

Penghantar memiliki rugi daya dikarenakan terdapat aliran arus yang melalui penghantar tersebut, juga penghantar memiliki nilai resistansi sehingga mempengaruhi nilai dari rugi daya penghantar. Perhitungan rugi daya penghantar dapat dirumuskan dengan mengalikan arus yang melalui penghantar dengan tegangan, dalam rumus tegangan dapat dikonversikan menjadi arus dikali dengan resistansi.

$$P_{loss} = I^2 \times R \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan,

P_{loss} = Rugi daya (watt)

I = Arus (Ampere)

R = Resistansi (Ohm)

2.9 Susut Energi Listrik

Susut (*losses*) adalah sejumlah energi yang hilang dalam proses pengaliran energi listrik.

Perhitungan susut energi listrik dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$W_{loss} = P_{loss} \times t \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan,

W_{loss} = Energi listrik yang hilang (kWh)

P_{loss} = Rugi daya (kW)

t = Waktu (jam)

⁶ Setyawan, Aldhi. 2018. *Analisa Pengaruh Tahanan Kontak Pemutus Tenaga Pada Bay Kopel Busbar Tegangan Tinggi Terhadap Rugi Daya Penghantar di Gardu Induk Palur*. Surakarta: Publikasi Ilmiah Universitas Muhammadiyah Surakarta. Hal-8-10, t.d.



2.10 Tarif Dasar Listrik

Tarif dasar listrik atau biasa disingkat TDL adalah tarif yang boleh dikenakan oleh pemerintah untuk para pelanggan PLN. PLN adalah satu-satunya perusahaan yang boleh menjual listrik secara langsung kepada masyarakat Indonesia (kecuali untuk beberapa kawasan khusus seperti daerah terpencil atau kawasan industri tertentu), maka TDL bisa dibilang adalah tarif untuk penggunaan listrik di Indonesia.

Tabel 2.2 Tarif Dasar Listrik Bulan Juni Tahun 2020

No	Daya (VA)	Tarif (Rp/kwh)
1	1300	Rp1.467,28/kWh
2	2200	Rp1.467,28/kWh
3	3500 – 5500	Rp1.467,28/kWh
4	6600 ke atas	Rp1.467,28/kWh

(sumber: <https://web.pln.co.id/statics/uploads/2020/03/TA-April-Juni-2020.jpg> telah diolah kembali)

Perhitungan biaya listrik dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Biaya} = W_{loss} \times \text{Tarif Biaya Listrik} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dengan,

Biaya = Biaya yang harus dibayar (Rp)

W_{loss} = Energi listrik yang hilang (kWh)