

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai pengujian dan pemeliharaan pemutus tenaga (PMT) telah banyak dilakukan dengan fokus pada parameter kelistrikan yang menentukan kelayakan operasional peralatan. (Sutjipto, Sungkowo, Khairan, Nurhadi, & Hakim, 2025) melakukan penelitian evaluasi operasional PMT 150 kV di Gardu Induk Probolinggo dengan membandingkan hasil pengujian tahun 2021 dan 2023. Variabel yang diuji meliputi tahanan isolasi, tahanan kontak, keserempakan kontak, dan kemurnian gas SF<sub>6</sub>. Hasil penelitian menunjukkan adanya degradasi kecil pada nilai tahanan isolasi dan kenaikan tahanan kontak akibat faktor usia serta akumulasi debu. Namun demikian, seluruh parameter masih memenuhi standar internasional (VDE, IEC 60694, SKDIR-0520/2014, dan CIGRE), sehingga PMT dinyatakan masih layak beroperasi. Penelitian ini menegaskan bahwa pemeliharaan berkala sangat penting untuk menjaga keandalan PMT.

(Prakoso, Joko, Agung, & Achmad, 2024) meneliti pengujian dan pemeliharaan dua tahunan PMT di Gardu Induk Rungkut 150 kV dengan fokus pada empat parameter, yaitu tahanan isolasi, tahanan kontak, keserempakan kontak, dan tahanan pentanahan. Hasil uji tahanan isolasi menunjukkan nilai lebih besar dari 150 MΩ dengan arus bocor di bawah 1 mA, sesuai standar SKDIR 0520. Uji tahanan kontak juga sesuai standar IEC 60694 dengan nilai kurang dari 50 μΩ, sedangkan keserempakan kontak menunjukkan perbedaan waktu penutupan di bawah 10 ms. Uji tahanan pentanahan pun memenuhi standar IEEE Std 80:2000 dengan nilai di bawah 1 ohm. Dengan demikian, PMT di GI Rungkut dinyatakan andal dan layak digunakan.

(Fikri, Rudito, & Usman, 2021) melaksanakan penelitian pada PMT Bay Punagaya di Gardu Induk Tallasa yang juga mencakup pengujian tahanan isolasi, tahanan kontak, keserempakan kontak, dan tahanan pentanahan. Hasil pengujian tahanan isolasi menunjukkan nilai  $\geq 1 \text{ M}\Omega/\text{kV}$  sesuai standar. Nilai tahanan pentanahan terbesar adalah  $0,64 \text{ }\Omega$  yang masih memenuhi standar  $\leq 1 \text{ }\Omega$ . Sementara itu, hasil pengujian keserempakan kontak menunjukkan bahwa waktu operasi masih di bawah 120 ms, sesuai standar SPLN No. 52-1:1984. Dengan demikian, PMT Bay Punagaya dinyatakan masih dalam kondisi andal setelah dilakukan pemeliharaan dua tahunan.

Ringkasan penelitian terdahulu ditunjukkan pada Tabel 2.1 berikut :

Tabel 2. 1 Ringkasan Penelitian Terdahulu

<b>Judul</b>	<b>Parameter</b>	<b>Metode Analisis</b>	<b>Hasil Utama</b>
Evaluasi Operasional Pemutus Tenaga Gas SF <sub>6</sub> di Gardu Induk 150 kV	Tahanan isolasi, tahanan kontak, keserempakan kontak, kemurnian gas SF <sub>6</sub>	Analisis komparatif kuantitatif. Pengujian dilakukan secara eksperimental dengan membandingkan hasil uji tahun 2021 dan 2023 menggunakan standar	Terjadi degradasi kecil pada tahanan isolasi dan kenaikan tahanan kontak akibat usia, namun seluruh parameter masih sesuai standar. PMT dinyatakan layak operasi.
Analisis Pengujian dan Pemeliharaan Dua Tahunan Pemutus Tenaga (PMT) Di Gardu Induk Rungkut 150 kV	Tahanan isolasi, tahanan kontak, keserempakan kontak, tahanan pentanahan	Analisis kuantitatif deskriptif. Data hasil pengujian dari tiga periode pemeliharaan (2019, 2021, 2023) dianalisis dengan perhitungan manual dan dibandingkan dengan standar	Semua memenuhi standar SKDIR, IEC, IEEE Std 80:2000. PMT andal dan layak digunakan.
Analisis Pengujian Pemutus Tenaga (PMT) Bay Punagaya Dalam Pemeliharaan Dua Tahunan di Gardu Induk Tallasa	Tahanan isolasi, tahanan kontak, keserempakan kontak, tahanan pentanahan	Analisis kuantitatif deskriptif. Data diperoleh dari hasil pengujian pemeliharaan dua tahunan, kemudian dibandingkan dengan standar	PMT dinyatakan andal setelah pemeliharaan.

Berdasarkan Tabel 2.1, secara umum penelitian terdahulu hanya membahas perbandingan hasil pengujian terhadap standar yang berlaku untuk menentukan kelayakan peralatan. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, pada penelitian ini dilakukan penggabungan evaluasi terhadap standar, analisis tren perubahan parameter berdasarkan data historis, serta peramalan

usia PMT. Adapun variabel yang diteliti meliputi tahanan isolasi, tahanan kontak, keserempakan kontak, dan kualitas gas SF<sub>6</sub> (kandungan SO<sub>2</sub>). Pendekatan ini bertujuan untuk memberikan gambaran kondisi PMT secara lebih komprehensif, tidak hanya dari sisi kesesuaian terhadap standar, tetapi juga dari kecenderungan degradasi kinerja dan estimasi sisa umur peralatan sebagai dasar pengambilan keputusan pemeliharaan yang lebih tepat.

## **2.2 Dasar Teori**

### **2.2.1 Gardu Induk**

Gardu induk adalah suatu instalasi yang terdiri dari peralatan listrik yang memiliki beberapa fungsi penting dalam sistem tenaga listrik. Pertama, gardu induk berfungsi untuk mengubah tenaga listrik dari satu tingkat tegangan tinggi ke tingkat tegangan tinggi lainnya, atau dari tegangan tinggi ke tegangan menengah. Selain itu, gardu induk juga berperan dalam pengukuran, pengawasan, operasi, serta pengaturan dan pengamanan sistem tenaga listrik. Fungsi lainnya adalah sebagai pusat pengaturan daya, baik ke gardu-gardu induk lainnya melalui saluran tegangan tinggi, maupun ke gardu-gardu distribusi melalui peralatan tegangan menengah. (PLN, 2024) Gardu induk dapat diklasifikasikan sebagai berikut.

- 1) Menurut penempatan peralatan  
Menurut penempatannya, gardu induk dapat dibagi menjadi 2 :
  - a. Gardu Induk pemasangan dalam  
Gardu Induk dimana semua peralatannya (switchgear, isolator dan sebagainya) di pasang di dalam gedung/ruangan tertutup.
  - b. Gardu Induk pemasangan luar  
Gardu Induk dimana semua peralatannya (switchgear, isolator dan sebagainya) di tempatkan di udara terbuka.
- 2) Menurut isolasi yang digunakan  
Gardu Induk yang menggunakan isolasi udara :
  - a. Adalah gardu induk yang menggunakan isolasi udara antara bagian yang bertegangan yang satu dengan bagian yang bertegangan lainnya.
  - b. Gardu Induk ini berupa gardu induk konvensional, memerlukan tempat terbuka yang cukup luas.

Gardu Induk yang menggunakan isolasi gas SF<sub>6</sub> :

- a. Gardu induk yang menggunakan gas SF<sub>6</sub> sebagai isolasi antara bagian yang bertegangan yang satu dengan bagian lain yang bertegangan, maupun antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan.

- b. Gardu induk ini disebut Gas Insulated Substation atau Gas Insulated Switchgear (GIS), yang memerlukan tempat yang sempit.
- 3) Menurut sistem rel (busbar)
- Rel (busbar) merupakan titik hubungan pertemuan (*connecting*) antara transformator daya, SUTT/ SKTT dengan komponen listrik lainnya, untuk menerima dan menyalurkan tenaga listrik. Berdasarkan sistem rel (busbar), gardu induk dibagi menjadi beberapa jenis, sebagaimana tersebut di bawah ini :
- a. Gardu Induk sistem ring busbar
  - b. Gardu Induk sistem single busbar
  - c. Gardu Induk sistem double busbar
  - d. Gardu Induk sistem satu setengah (*on half*) busbar

## 2.2.2 Peralatan Utama di Gardu Induk

### 1. Lighting arrester

Berfungsi untuk mengamankan instalasi (peralatan listrik pada instalasi) dari gangguan tegangan lebih yang di akibatkan oleh sambaran petir maupun oleh surya petir.

### 2. Pemisah (PMS)

#### a. Pemisah tanah

Berfungsi untuk mengamankan peralatan dari sisa tegangan yang timbul sesudah SUTT di putuskan, atau induksi tegangan dari penghantar, hal ini perlu untuk keamanan dari orang yang bekerja pada instalasi.

#### b. Pemisah peralatan.

Berfungsi untuk mengisolasi peralatan listrik dari peralatan yang bertegangan. Pemisah di operasikan tanpa beban.

### 3. Pemutus tenaga (PMT)

Berfungsi untuk memutuskan hubungan tenaga listrik dalam keadaan gangguan maupun dalam keadaan berbeban dan proses ini harus dapat dilakukan dengan cepat. Pemutus tenaga listrik dalam keadaan gangguan akan menimbulkan arus yang relatif besar, pada saat tersebut PMT bekerja sangat berat. Bila kondisi peralatan PMT menurun karena kurangnya pemeliharaan, sehingga tidak sesuai lagi kemampuan dengan daya yang di putuskannya, maka PMT tersebut akan dapat rusak (meledak).

### 4. Trafo tegangan

Berfungsi untuk menurunkan tegangan tinggi menjadi tegangan rendah, yang di perlukan untuk alat-alat ukur (pengukuran) dan alat pengamanan (proteksi).

## 5. Trafo arus

Berfungsi untuk menurunkan arus besar pada tegangan tinggi menjadi arus kecil pada tegangan rendah untuk keperluan pengukuran dan pengamanan (proteksi).

## 6. Trafo tenaga

Trafo tenaga berfungsi menyalurkan tenaga/daya dari tegangan tinggi atau sebaliknya (mentransformasikan tegangan).

### 2.2.3 Pemutus Tenaga (PMT/Circuit Breaker)

#### 1. Pengertian

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.

#### 2. Klasifikasi PMT

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 SF<sub>6</sub>.

##### a. Berdasarkan Besar/ Kelas Tegangan (Um)

PMT dapat dibedakan menjadi :

- 1) PMT tegangan rendah (Low Voltage) Dengan range tegangan 0.1 s/d 1 kV (SPLN T6.001 2013)

- 2) PMT tegangan menengah (Medium Voltage) Dengan range tegangan 1 s/d 35 kV (SPLN T6.001 2013)
- 3) PMT tegangan tinggi (High Voltage) Dengan range tegangan 35 s/d 245 kV (SPLN T6.001 2013)
- 4) PMT tegangan extra tinggi (Extra High Voltage) Dengan range tegangan lebih besar dari 245 kVAC (SPLN T6.001 2013)

**b. Berdasarkan Jumlah Mekanik Penggerak/ Tripping Coil**

PMT dapat dibedakan menjadi :

- 1) 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.
- 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.

**c. Berdasarkan Media Isolasi**

Jenis PMT dapat dibedakan menjadi :

- 1) PMT Gas SF<sub>6</sub>
- 2) PMT Minyak
- 3) PMT Udara Hembus (*Air Blast*)
- 4) PMT Hampa Udara (*Vacuum*)

**d. Berdasarkan Proses Pemadaman Busur Api Listrik Di Ruang Pemutus**

PMT SF<sub>6</sub> dapat dibagi dalam 2 (dua) jenis, yaitu :

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

**3. Komponen dan Fungsi**

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 :

**a. 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. Di dalamnya terdapat beberapa jenis kontak yang berkenaan langsung dalam proses penutupan atau pemutusan arus, yaitu :

- a) Kontak bergerak/ *moving contact*
- b) Kontak tetap/ *fixed contact*
- c) Kontak arcing/ *arcing contact*

2) Aksesoris dari Interrupter (Jika Ada)

Terdiri dari :

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

- Mengurangi kenaikan harga dari tegangan pukul (*restriking voltage*)
- Mengurangi arus pukulan (*chopping current*) pada waktu pemutusan
- Meredam tegangan lebih karena mengoperasikan PMT tanpa beban pada penghantar panjang

- b) Grading Kapasitor  
Kapasitor terpasang paralel dengan tahanan, unit pemutus utama dan unit pemutus pembantu yang berfungsi untuk :

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

- c) Ring Current Transformer (CT Ring)

CT adalah trafo pengukuran yang sisi primernya dihubungkan seri dengan konduktor pembawa arus yang akan diukur, dimana arus sekundernya proporsional terhadap arus sisi primernya. CT Ring dapat ditemukan pada CB tipe Bulk Oil, tetapi tidak semua jenis CB tipe Bulk Oil ini memiliki CT Ring. Fungsi dari CT Ring adalah sama dengan CT pada umumnya, yaitu untuk mengukur arus yang melewati CB, yang dapat dipergunakan untuk inputan dari metering dan sistem proteksi. Lokasi CT Ring pada CB Bulk oil di PLN beberapa masih terpasang pada CB Merk Nissin Electric tipe SO-11 dan SO-21.

3) 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.

**b. 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.

b) Isolator Penyangga (*Isolator Support*)  
Merupakan isolator yang berada pada penyangga/support.

2) Media Pemadam Busur Api

Busur api timbul akibat adanya ionisasi pada saat proses terpisahnya kedua kontak PMT saat pemutusan arus. Busur api ini memiliki suhu yang tinggi dan berperan sebagai penghantar arus, sehingga saat PMT bekerja, busur api ini perlu segera dipadamkan.

Terdapat beberapa jenis media yang 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:

a) Pemadam Busur Api dengan Gas Sulfur Hexa Fluorida ( $\text{SF}_6$ )

Menggunakan gas  $\text{SF}_6$  sebagai media pemadam busur api yang timbul pada waktu pemutus arus listrik. Sebagai isolasi, gas  $\text{SF}_6$  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  $\text{SF}_6$  ditekan kedalam suatu tabung/silinder yang menempel pada kontak bergerak. Pada waktu pemutusan, gas  $\text{SF}_6$  ditekan melalui *nozzle* dan tiupan ini yang mematikan busur api.

b) Pemadam Busur Api Dengan Oil/ 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 jenis ini digunakan mulai dari tegangan menengah 6 kV sampai tegangan tinggi 150 kV dengan arus nominal 400 A sampai 1250 A dengan arus pemutusan simetris 12 kA sampai 50 kA.

c) 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*).

- d) Pemadam Busur Api dengan Hampa Udara (Vacuum)

Ruang hampa udara mempunyai kekuatan dielektrik (*dielektrik strength*) yang tinggi dan sebagai media pemadam busur api yang baik. Saat ini, PMT jenis *vacuum* umumnya digunakan untuk tegangan menengah (24kV). Jarak (*gap*) antara kedua katoda adalah 1 cm untuk 15 kV dan bertambah 0,2 cm setiap kenaikan tegangan 3 kV. Untuk pemutus *vacuum* tegangan tinggi, digunakan PMT jenis ini dengan dihubungkan secara seri.

Ruang kontak utama (*breaking chambers*) dibuat dari bahan antara lain porcelain, kaca atau plat baja yang kedap udara. Ruang kontak utamanya tidak dapat dipelihara dan umur kontak utama sekitar 20 tahun. Karena kemampuan tegangan dielektrik yang tinggi maka bentuk fisik PMT jenis ini relatif kecil.

c. **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 :

- 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 di tarik atau diregangkan oleh motor melalui rantai.

- Pegas gulung (*scroll spring*)

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

- 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.

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. Contohnya PMT Nissin FA-1N, berikut cara kerja opening PMT Nissin FA-1N yang menggunakan udara *pneumatic*.

4) SF<sub>6</sub> Gas Dynamic

PMT jenis ini media memanfaatkan tekanan gas SF<sub>6</sub> yang berfungsi ganda selain sebagai pemadam tekanan gas juga dimanfaatkan sebagai media penggerak. contohnya PMT 150 KV Merk Nuova Magrini Galileo Type SB6 170.

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 SF<sub>6</sub> masing - masing *pole* dalam *cycle* tertutup.

Energi untuk menggerakkan kontak utama terjadi karena adanya perbedaan tekanan gas SF<sub>6</sub> antara:

- Volume yang terbentuk dalam *interrupter* dan isolastor tumpu.
- Volume dalam enclosure mekanik penggerak

d. **Secondary**

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

1) Lemari Mekanik/Kontrol

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

2) Terminal Dan Wiring Control

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

## **2.2.4 Pedoman Pemeliharaan**

### **2.2.4.1 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 *Thermovisi*) yang dilaksanakan oleh petugas Jergi dan supervisor di gardu induk (untuk ULTG/ UPT PLN UIP3B Sumatera) atau petugas pemeliharaan/supervisor gardu induk untuk UPT PLN UIT).

### **2.2.4.2 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 penggunaan alat ukur yang canggih (seperti *Thermovisi*) yang dilakukan oleh petugas pemeliharaan.

### **2.2.4.3 Shutdown Measurement**

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.

#### **2.2.4.3.1 Tahanan Isolasi**

Pengukuran tahanan isolasi pemutus tenaga (PMT) ialah proses pengukuran dengan suatu alat ukur untuk memperoleh nilai tahanan isolasi pemutus tenaga antara bagian yang diberi tegangan (fasa) terhadap badan (*case*) yang ditanahkan maupun antara terminal atas dengan terminal bawah pada fasa yang sama.

Pada dasarnya pengukuran tahanan isolasi PMT adalah untuk mengetahui besar (nilai) kebocoran arus (*leakage current*) yang terjadi antara bagian yang bertegangan terminal atas dan terminal bawah terhadap tanah. Kebocoran arus yang menembus isolasi peralatan listrik memang tidak dapat dihindari. Oleh karena itu, salah satu cara meyakinkan bahwa PMT cukup aman untuk diberi tegangan adalah dengan mengukur tahanan isolasinya.

#### 2.2.4.3.2 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. Prinsip dasarnya adalah sama dengan alat ukur tahanan murni (Rdc), tetapi pada tahanan kontak arus yang dialirkan lebih besar  $I=100$  Ampere. 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.

#### 2.2.4.3.3 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 relay* 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 sistem tenaga listrik dan menyebabkan sistem proteksi bekerja.

Ketika dilakukan pengujian keserempakan didapatkan hasil *closing time* dan *open time*. Nilai toleransi perbedaan waktu pada pengujian keserempakan kontak PMT, yang terjadi antar fasa R, S dan T maka dapat

dilihat dari nilai *delta time* ( $\Delta t$ ) antar fasa R, S dan T sewaktu membuka atau menutup kontak.

#### **2.2.4.3.4 Kualitas Gas SF<sub>6</sub>**

Gas SF<sub>6</sub> selain berfungsi sebagai isolasi juga berfungsi sebagai pemadam busur api listrik saat terjadi pemutusan arus. Pada setiap pemadaman busur api listrik gas SF<sub>6</sub> akan mengalami proses kimia/listrik dan dapat mengakibatkan perubahan sifat gas SF<sub>6</sub> tersebut, maka untuk mengetahui perubahan sifat gas (terutama pada GIS karena banyak menggunakannya) perlu dilakukan pengukuran/ pengujian karakteristiknya. Ada beberapa macam pengukuran karakteristik gas SF<sub>6</sub> yang biasa dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Kemurnian (Impurity Test)
2. Kelembapan (Dew Point Test)
3. Dekomposisi Product (Decomposition Products Test) dan
4. Pengujian Pressure Switch

#### **2.2.5 Standar Evaluasi Hasil Pemeliharaan**

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/ 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.

##### **2.2.5.1 Pengujian Tahanan Isolasi**

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

##### **2.2.5.2 Pengujian Tahanan Kontak**

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, Trending kenaikan dari hasil pemeliharaan sebelumnya. Berikut terlampir daftar nilai standar pabrikan beberapa PMT:

Tabel 2. 2 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	FXT 13F		52 $\mu\Omega$
ALSTHOM	FXT 9		50 $\mu\Omega$
ALSTHOM	HGF 113/1B		60 $\mu\Omega$
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/AREVA/UNINDO	GL313 F1	170 kV, spring	40 $\mu\Omega$

ALSTOM/AREVA/UNINDO	GL313 F3	170 kV, spring	40 $\mu\Omega$
AEG/ALSTHOM	S1-170 F1	170 kV, spring	50 $\mu\Omega$
AEG/ALSTHOM	S1-170 F3	170 kV, spring	50 $\mu\Omega$
AEG/ALSTHOM	S1-72.5 F1	170 kV, spring	50 $\mu\Omega$
AEG/ALSTHOM	S1-72.5 F3	170 kV, spring	50 $\mu\Omega$
ALSTOM/AREVA/UNINDO	GL314	170 kV/245 kV, spring	52 $\mu\Omega$
ALSTOM/AREVA/UNINDO	GL317 or GL317D	550 kV, spring, 2 chambers	95 $\mu\Omega$
CROMPTON GREAVES (CG)	150-SFM-40B		
SIEYUAN	LW58-252/WT4 000-50		
ABB	HPL 72.5B1	72.5 kV, spring	50 $\mu\Omega$
ABB	LTB 170 D1/B	170 kV, spring	40 $\mu\Omega$
ABB	HPL 170B1	170 kV, spring	40 $\mu\Omega$
ASEA	HPL 170B1	170 kV, spring	40 $\mu\Omega$
SIEMENS	3AQ1GE	170 kV, Hydraulic	60 $\mu\Omega$
SIEMENS	3AP1FG	170 kV, Spring	40 $\mu\Omega$

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).

### 2.2.5.3 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 2010 untuk sistem dengan tegangan :

- 500 kV < 90 mili detik
- 275 kV < 100 mili detik
- 150 kV < 120 mili detik
- 70 kV < 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 2.3.

Tabel 2. 3 Referensi Pengukuran Waktu Buka, Pengukuran Waktu Tutup

Merk	Tipe	WAKTU BUKA(O) (mili detik)	WAKTU TUTUP (C) (mili detik)	WAKTU O-C-O (mili detik)
SIEMENS	3AQ1EE	36-39	90-95	300 mili detik+2 WAKTU BUKA+WAKTU TUTUP
SIEMENS	3AQ1EG	36-39	95-100	
SIEMENS	3AP1F1	34-37	58-66	
AREVA	GL313 F3	35-38	85	
ABB	LTB 72,5 D1/B	32-35	70	
ABB	LTB 170 D1/B	32-35	70	
ABB	LTB 245E1	17-19	28	
ABB	HPL 72,5	25	90	
ABB	HPL 170	25	90	
NISSIN	FA1 N	35	120	
NISSIN	SO-21	50	80	
NISSIN	SO-11	50	80	
AEG	S1-170	40	90	
CROMPTON GREAVES (C-C)	150-SFM-40B			
SI E Y U A N	LW 58- 252 VF T40 00- 50			

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  $\Delta t$  yang merupakan selisih waktu tertinggi dan terendah antar fasa R, S, dan T. Pengukuran deviasi waktu antar fasa pabrikan disampaikan pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Pengukuran Deviasi Waktu Antar Fasa Pabrikan

Merk	Type	Batasan [ms]
ALSTHOM	ALL	$\leq 10$ (open/close)
NISSIN	FA1 N	$\leq 6$ (open),
		$\leq 10$ (close)

#### 2.2.5.4 Pengujian Kualitas Gas SF<sub>6</sub>

Berdasarkan standar IEC 60480:2019 dan CIGRE 234:2003, batas maksimum konsentrasi gas-gas hasil dekomposisi SF<sub>6</sub> adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 5 Standar Decomposition Product dalam Gas SF<sub>6</sub>

Decomposition Product	Batas Maksimum	Standard
Total (SF <sub>4</sub> , WF <sub>6</sub> )	100 ppmv	Cigre 234:2003
TOTAL (SOF <sub>4</sub> +SO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> +SOF <sub>2</sub> +SO <sub>2</sub> +HF)	2000 ppmv	Cigre 234:2003
SO <sub>2</sub> + SOF <sub>2</sub>	12 ppmv	IEC 60480

Apabila alat kualitas gas SF<sub>6</sub> tidak bisa mendeteksi konsentrasi masing-masing gas hasil dekomposisi maka batas maksimum konsentrasi total decomposition product adalah 2000 ppmv.

### 2.3 Alat Ukur Pengujian

#### 2.3.1 Alat Ukur Tahanan Isolasi (High Voltage Insulation Tester)

Alat ukur tahanan isolasi disebut juga *Insulation Tester*. Alat ini digunakan untuk mengukur nilai tahanan isolasi pada instalasi listrik atau peralatan, memastikan keamanan dan keandalan sistem dengan mendeteksi kerusakan isolasi yang bisa menyebabkan kebocoran arus atau korsleting. Alat ini mengeluarkan tegangan tinggi DC dan menampilkan hasilnya dalam satuan mega ohm.



Gambar 2. 1 Alat uji tahanan isolasi

Di dalam penelitian ini, alat ukur yang digunakan ialah sebagai berikut.

Merk : Kyoritsu  
Tipe : KEW 3125  
Nomor Seri : W8305511

### 2.3.2 Alat Ukur Tahanan Kontak dan Keserempakan Fasa (*Breaker Analyzer*)

Alat ukur tahanan kontak (sering disebut Micro Ohm Meter) adalah instrumen yang digunakan untuk mengukur resistansi (hambatan) yang sangat kecil pada titik sambungan (kontak) antar konduktor, seperti pada pemutus tenaga (PMT) atau pemisah (PMS) dalam sistem kelistrikan, dengan prinsip kerja mengalirkan arus searah besar dan mengukur jatuh tegangan untuk menghitung nilai resistansi tersebut.

Sedangkan alat ukur keserempakan fasa adalah *circuit breaker analyzer* (atau *breaker analyzer*), yang digunakan untuk mengukur keserempakan waktu antara fasa-fasa ketika sebuah Pemutus Tenaga (PMT) atau *circuit breaker* melakukan operasi penutupan atau pembukaan. Alat ini penting untuk memastikan bahwa seluruh fasa dalam sistem tiga fasa beroperasi secara bersamaan, sehingga dapat mencegah masalah pada sistem tenaga listrik.



Gambar 2. 2 Alat ukur tahanan kontak dan keserempakan

Di dalam penelitian ini, alat ukur yang digunakan ialah sebagai berikut.

Merk : DV Power

Tipe : CAT66 Advanced Series

Nomor seri : 23U672

Alat ini dapat melakukan uji keserempakan fasa dan tahanan kontak sekaligus karena terdapat beberapa fitur di dalamnya.

### 2.3.3 Alat Ukur Kualitas Gas SF<sub>6</sub>

Gambaran umum petunjuk pengukuran kualitas gas SF<sub>6</sub> dapat mengacu pada CIGRE 723: 2018 SF<sub>6</sub> Measurement Guide, serta mengacu pada petunjuk manual book pabrikan GIS dan alat ukur yang digunakan. Alat ukur kualitas gas SF<sub>6</sub> di PLN secara umum dapat mengukur purity, humidity, tekanan dan temperatur, sedangkan untuk decomposition product SF<sub>6</sub> hanya dapat mengukur kandungan gas SO<sub>2</sub>. Namun tidak menutup kemungkinan perkembangan teknologi alat pengukuran dapat mengukur hasil decomposition product selain SO<sub>2</sub>. Pengukuran kualitas gas tersebut dapat dilaksanakan menggunakan satu alat yang biasa disebut gas analyzer. Pelaksanaan pengukuran disesuaikan dengan ketersediaan alat ukur yang ada pada unit masing-masing



Gambar 2. 3 Alat Ukur Kandungan SO<sub>2</sub>

Di dalam penelitian ini, alat ukur yang digunakan ialah sebagai berikut.

- Merk : DILO
- Tipe : MirrorAnalyser SF<sub>6</sub> (five-in-one)
- Nomor seri : -

## 2.4 Metode Regresi

### 2.4.1 Regresi Linear Sederhana

Regresi linear merupakan metode analisis statistik yang digunakan untuk mengetahui hubungan linier antara satu variabel bebas (predictor) dan satu variabel terikat (response). Dalam konteks analisis data hasil pengujian peralatan listrik, regresi linear digunakan untuk melihat kecenderungan (tren) kenaikan atau penurunan nilai pengujian dari waktu ke waktu. (Duanaputri, Sulistyowati, & Insani, 2022)

Metode ini membantu dalam melakukan peramalan atau prediksi terhadap perubahan nilai hasil pengujian, seperti tahanan kontak, tahanan isolasi, maupun keserempakan operasi, sehingga dapat diketahui kondisi keandalan peralatan listrik secara kuantitatif.

Hubungan antara variabel bebas (X) (misalnya tahun pengujian) dan variabel terikat (Y) (misalnya nilai hasil pengujian) dinyatakan dengan persamaan regresi linear sederhana sebagai berikut :

$$Y = a + bX \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

Y = variabel terikat (hasil pengujian)

X = variabel bebas (periode waktu pengujian)

a = konstanta regresi (nilai Y saat X = 0)

b = koefisien regresi (menunjukkan arah dan besar perubahan Y terhadap X)

Nilai a dan b dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$a = \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$b = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2} \dots\dots\dots (2.3)$$

Apabila nilai b bernilai positif, maka menunjukkan adanya tren kenaikan hasil pengujian terhadap waktu, sedangkan jika b bernilai negatif, maka menunjukkan adanya tren penurunan.

Regresi linear layak digunakan untuk menganalisis tren degradasi jangka panjang pada PMT karena penurunan kinerja peralatan listrik umumnya terjadi secara bertahap seiring waktu akibat penuaan dan pengaruh operasi. Data hasil pengujian yang dilakukan secara berkala, seperti tahanan kontak, tahanan isolasi, dan keserempakan, biasanya menunjukkan kecenderungan perubahan yang relatif stabil sehingga dapat didekati dengan hubungan linier. Metode ini mudah diterapkan, mudah dipahami, dan efektif untuk melihat arah serta laju perubahan kondisi peralatan. Dengan demikian, regresi linear sederhana dapat digunakan untuk menganalisis tren hasil pengujian peralatan listrik guna mendukung evaluasi kondisi PMT dan penentuan tindakan pemeliharaan yang tepat.

**2.4.2 Regresi Polinomial Orde 3**

Meskipun regresi polinomial secara teknis merupakan kasus khusus dari regresi linear berganda, interpretasi terhadap model regresi polinomial yang telah diestimasi memerlukan sudut pandang yang sedikit berbeda. Hal ini disebabkan karena koefisien-koefisien individu dalam regresi polinomial sering kali sulit untuk diinterpretasikan secara terpisah, mengingat suku-suku polinomial yang digunakan dapat memiliki korelasi yang tinggi satu sama lain.

Sebagai contoh, variabel  $x$  dan  $x^2$  memiliki korelasi yang sangat kuat, yaitu sekitar 0,97, ketika  $x$  terdistribusi secara uniform pada interval (0, 1). Meskipun tingkat korelasi tersebut dapat dikurangi dengan menggunakan polinomial ortogonal, secara umum akan lebih informatif apabila model regresi yang telah diperoleh dianalisis sebagai suatu fungsi regresi secara keseluruhan.

Secara umum, nilai harapan dari variabel terikat  $y$  dapat dimodelkan sebagai suatu polinomial berderajat  $n$  terhadap variabel bebas  $x$ . Model regresi polinomial dituliskan sebagai:

$$y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2 + \beta_3x^3 + \dots + \beta_nx^n + \varepsilon \dots\dots\dots(2.4)$$

di mana:

- $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$  adalah parameter regresi yang akan diestimasi,
- $x$  adalah variabel bebas,
- $\varepsilon$  adalah error atau galat yang merepresentasikan pengaruh faktor lain di luar model.

Meskipun model ini melibatkan pangkat  $x^2, x^3, \dots$ , regresi polinomial tetap tergolong regresi linear dari sudut pandang estimasi. Hal ini karena model tersebut linear terhadap parameter  $\beta$ , bukan terhadap variabel  $x$ .

Contohnya:

- $x \rightarrow$  dikalikan dengan  $\beta_1$
- $x^2 \rightarrow$  dikalikan dengan  $\beta_2$
- $x^3 \rightarrow$  dikalikan dengan  $\beta_3$

Tidak ada parameter yang berpangkat atau dikalikan sesama parameter.

Dalam analisis metode kuadrat terkecil (Least Squares), regresi polinomial dapat diselesaikan menggunakan teknik regresi linear berganda dengan cara:

- Menganggap  $x, x^2, x^3, \dots$  sebagai variabel bebas yang berbeda
- Model diperlakukan sama seperti regresi dengan banyak variabel independen

Sebagai contoh, regresi polinomial orde 3 diperlakukan sebagai:

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \varepsilon$$

dengan:

- $X_1 = x$
- $X_2 = x^2$
- $X_3 = x^3$

## 2.5 Identitas Gardu Induk Miwon

### 2.5.1 Profil Umum

Gardu Induk (GI) Miwon merupakan salah satu gardu induk yang berada di bawah pengelolaan Unit Pelaksana Transmisi (UPT) Malang, Unit Induk Transmisi Jawa Timur dan Bali (UIT JBM), PT PLN (Persero). Gardu induk ini memperoleh suplai energi listrik dari Gardu Induk Driyorejo dan Gardu Induk Tarik melalui saluran transmisi 70 kV untuk melayani beban utama berupa Konsumen Tegangan Tinggi (KTT) PT Daesang Ingredients Indonesia yang berlokasi di kawasan industri. Secara geografis, GI Miwon terletak di Kecamatan Driyorejo, Kabupaten Gresik, Provinsi Jawa Timur.

Gardu induk Miwon menggunakan konfigurasi single bus 70 kV, dengan total tiga bay, yaitu Bay Bustie, Bay Driyorejo, dan Bay Tarik. Setiap bay dilengkapi dengan peralatan utama seperti Pemutus Tenaga (PMT), Pemutus Pemisah (PMS), *Current Transformer* (CT), *Potential Transformer* (PT), serta sistem proteksi dan kontrol yang terintegrasi di ruang kontrol.

Peralatan utama pada GI Miwon berfungsi untuk menjaga keandalan dan keamanan operasi sistem penyaluran energi listrik. Selain itu, sistem kontrol dan proteksi di gardu ini terhubung dengan sistem Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA), yang memungkinkan pengawasan jarak jauh oleh petugas pengendali sistem transmisi.





Gambar 2.4 menunjukkan single line diagram (SLD) GI Miwon yang menggambarkan alur penyaluran tenaga listrik dari sistem transmisi hingga ke sisi konsumen industri, yaitu PT Daesang Ingredients Indonesia.

Gardu induk Miwon menerima suplai dari dua penghantar, yaitu T/L bay Driyorejo dan T/L bay Tarik dengan tegangan 70 kV. Kedua penghantar terhubung ke busbar 70 kV melalui peralatan utama seperti lightning arrester (LA), pemutus tenaga (PMT), pemisah tegangan (PMS), serta trafo arus (CT) dan trafo tegangan (PT) untuk proteksi dan pengukuran. Dari busbar 70 kV, daya disalurkan ke tiga transformator daya 70/6 kV berkapasitas 10 MVA milik PT Daesang Ingredients Indonesia.

### 2.5.3 Data Spesifikasi Pemutus Tenaga (PMT) 70 kV T/L Bay Driyorejo

AREVA			
Type designation	GL 309 F1	Rated line-charging breaking current	10 kA
Serial number	6977-30-2031008/1	Rated SF <sub>6</sub> gas pressure for interruption P <sub>n</sub>	0.6 MPa
Rated voltage	72.5 kV	Rated supply voltage of closing and opening device	110 VDC
Rated lightning imp. withstand voltage	325 kV	Rated supply voltage of auxiliary circuits	110 VDC
Rated switching imp. withstand voltage	kV	Rated supply voltage of motor	230 VAC
Rated frequency	50 Hz	Contains fluorinated greenhouse gases covered by the Kyoto Protocol	
Rated normal current	3150 A	Mass of SF <sub>6</sub> gas	7.4 kg
Rated duration of short-circuit	3 s	Mass	927.4 kg
Rated short circuit breaking current	40 kA	Rated operating sequence	0-0.5s-CO-3min-CO
First-pole-to-clear factor	1.5	Year of manufacture	2008
Rated out-of-phase breaking current	10 kA	Temperature class	-30 +40°C
UL 52 0M 802		Made in Germany	

Gambar 2.5 Nameplate PMT 70 kV T/L bay Driyorejo

Gambar 2.5 merupakan nameplate pemutus tenaga (PMT) merk AREVA tipe GL 309 F1 yang digunakan pada bay Driyorejo di Gardu Induk Miwon. PMT ini memiliki tegangan nominal 72,5 kV dengan arus nominal 3150 A dan kemampuan memutus arus hubung singkat 40 kA selama 3 detik.

Peralatan ini dirancang dengan tegangan tahan petir 325 kV serta menggunakan media pemadam SF<sub>6</sub> dengan tekanan kerja 0,6 MPa. PMT memiliki massa total 927,4 kg dan massa gas SF<sub>6</sub> sebanyak 7,4 kg. Sistem operasi PMT bekerja dengan tegangan bantu 110 VDC untuk mekanisme buka-tutup dan tegangan motor 230 VAC.

PMT AREVA GL 309 F1 ini diproduksi di Jerman tahun 2008 dan dirancang untuk beroperasi pada rentang suhu  $-30^{\circ}\text{C}$  hingga  $+40^{\circ}\text{C}$  dengan urutan operasi 0–0,3 s–CO–3 min–CO.

Berikut adalah gambar fisik dari PMT 70 kV T/L bay Driyorejo di gardu induk Miwon.



Gambar 2. 6 Gambar fisik PMT 70 kV T/L bay Driyorejo

