

## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **A. Kajian Teoritis**

##### **1. Gardu Induk**

Gardu induk merupakan fasilitas penting dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi sebagai tempat pengoperasian, pengaturan, dan pengamanan sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik (Sukmajati et al., 2023). Gardu induk dilengkapi dengan berbagai peralatan dan fasilitas pendukung agar dapat menjalankan fungsi pengoperasian, pengaturan, dan pengamanan sistem tenaga listrik. Peralatan utama yang terdapat di gardu induk meliputi beberapa komponen berikut (Firdaus et al., 2023), yaitu:

###### **a. Pemisah Tenaga (PMS)**

Pemisah tenaga berfungsi sebagai pemutus/penghubung rangkaian secara mekanis untuk keperluan pemeliharaan dan pengamanan. Pada prinsipnya PMS tidak digunakan untuk memutus arus beban, sehingga pengoperasiannya dilakukan setelah Pemutus Tenaga (PMT) dibuka. Untuk mencegah kesalahan urutan operasi, biasanya dipasang sistem pengunci (*interlock*) antara PMS dan PMT.

###### **b. Pemutus Tenaga (PMT)**

PMT berfungsi untuk memutus dan menghubungkan tenaga listrik, baik pada kondisi normal berbeban maupun saat terjadi gangguan. PMT harus mampu bekerja cepat dan andal karena saat terjadi gangguan arus yang diputus dapat sangat besar. Oleh karena itu, kondisi PMT perlu dipastikan

tetap baik melalui kegiatan pemeliharaan berkala.

c. Transformator Daya

Transformator daya berfungsi untuk mengubah tingkat tegangan listrik (menaikkan atau menurunkan tegangan) dengan frekuensi yang tetap. Selain itu, transformator daya juga berperan dalam pengaturan tegangan serta dapat dilengkapi transformator untuk memperoleh titik netral sistem.

d. *Current Transformer* (CT)

*Current Transformer* digunakan untuk menurunkan arus besar pada sistem tegangan tinggi menjadi arus kecil pada tegangan rendah. CT diperlukan untuk keperluan pengukuran dan sistem proteksi, sehingga parameter arus dapat dipantau dan diamankan dengan baik.

e. Rel (Busbar)

Busbar merupakan penghantar utama di gardu induk yang menjadi titik penghubung antar peralatan seperti transformator daya, SUTT, dan bay lainnya. Busbar berfungsi menyalurkan tenaga listrik dari sumber ke beban dan biasanya terbuat dari bahan tembaga atau aluminium sesuai kebutuhan sistem.

f. Panel Kontrol

Panel kontrol digunakan untuk mengoperasikan serta memantau kondisi peralatan gardu induk. Panel ini umumnya terdiri dari panel instrumen dan panel operasi, serta panel *relay* proteksi. Melalui panel kontrol, operator dapat melihat indikator gangguan, posisi peralatan, dan melakukan pengendalian operasi secara aman.

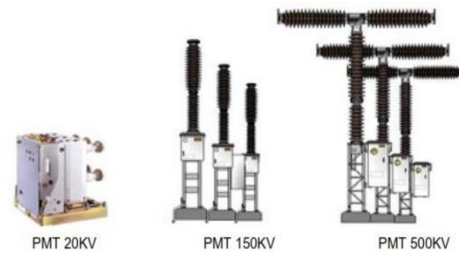
## 2. Pemutus Tenaga (PMT)

Berdasarkan IEV (*Internasional Electrotechnical Vocabulary*) 441-14-20 dijelaskan bahwa *Circuit Breaker* (CB) atau pemutus tenaga (PMT) merupakan peralatan saklar/*switching* mekanis, yang mampu menutup, mengalirkan, dan memutuskan daya apabila terjadi keadaan yang tidak diinginkan (Prasetya et al., 2021). PMT berperan sebagai pengaman sistem dengan cara memutus arus gangguan agar tidak merusak peralatan lain dan menjaga keandalan sistem. Berdasarkan Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga Nomor SKDIR 0520-2.K/DIR/2014 bahwa Pemutus Tenaga (PMT) dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa aspek, seperti:

### a. Klasifikasi PMT Berdasarkan Tegangan Nominal (Um)

Pemutus Tenaga (PMT) dapat dibagi menjadi empat jenis dilihat dari besarnya tegangan nominal, yaitu:

- 1) PMT Tegangan Rendah (*Low Voltage*) : Rentang tegangan 0,1 sampai 1 kV (SPLN 1.1995 – 3.3).
- 2) PMT Tegangan Menengah (*Medium Voltage*): Rentang 1 sampai 35 kV (SPLN 1.1995 – 3.4).
- 3) PMT Tegangan Tinggi (*High Voltage*): Rentang 35 sampai 245 kV (SPLN 1.1995 – 3.5).
- 4) PMT Tegangan Ekstra Tinggi (*Extra High Voltage*): PMT jenis ini digunakan pada tegangan  $\geq 245$  kV AC (SPLN 1.1995 – 3.6).



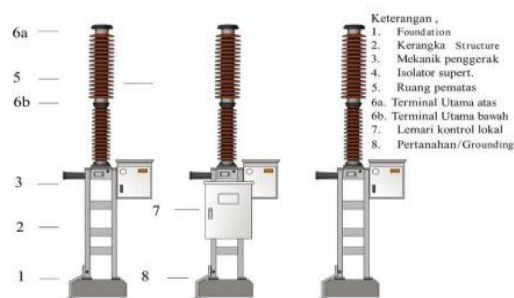
Gambar 2.1 Jenis- Jenis PMT Berdasarkan Tegangan Nominal  
Sumber: SKDIR 0520-2.K/DIR/2014

b. Klasifikasi PMT Berdasarkan Jumlah Mekanik Penggerak (*Tripping Coil*)

Pemutus Tenaga (PMT) dapat dikelompokkan menjadi dua jenis apabila ditinjau dari jumlah mekanik penggerak yang digunakan untuk mengoperasikan kontak pada setiap fasa. Pengelompokan ini didasarkan pada apakah setiap fasa memiliki penggerak sendiri atau menggunakan satu penggerak untuk seluruh fasa, yaitu sebagai berikut:

1) **PMT Single Pole**

PMT *single pole* merupakan jenis pemutus tenaga yang memiliki mekanik penggerak pada masing-masing pole fasa. Konsep ini memungkinkan PMT melakukan operasi pada salah satu fasa tertentu apabila diperlukan. Jenis PMT ini umumnya digunakan pada bay penghantar. Bentuk PMT *single pole* ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 PMT *Single Pole*  
Sumber: SKDIR 0520-2.K/DIR/2014

## 2) PMT *Three Pole*

PMT *three pole* adalah PMT yang hanya menggunakan satu mekanik penggerak utama yang dikopel untuk menggerakkan ketiga kontak pada setiap fasa secara bersamaan. Jenis ini banyak diterapkan pada bay transformator, bay kopel, dan PMT distribusi 20 kV. Bentuk PMT *three pole* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 PMT *Three Pole*  
(Sumber SKDIR 0520-2.K/DIR/2014 )

### c. Klasifikasi PMT Berdasarkan Media Isolasi

Media isolasi pada Pemutus Tenaga (PMT) tidak hanya berfungsi sebagai bahan pemisah listrik tetapi juga berperan penting dalam proses pemadaman busur api ketika PMT melakukan operasi membuka maupun menutup rangkaian. Oleh karena itu, pemilihan media isolasi pada PMT akan memengaruhi kemampuan kerja PMT baik dari sisi rating tegangan, rating arus, kapasitas pemutusan, dan metode pemadamannya (Goeritno et

al., 2018). Tabel 2.1 dibawah menyajikan perbandingan media isolasi PMT.

Tabel 2.1 Perbandingan Media Isolasi PMT

<b>Media Isolasi</b>	<b>Rating Tegangan</b>	<b>Rating Arus</b>	<b>Kapasitas Pemutus</b>	<b>Metode Pemutus</b>	<b>Pemanfaatan</b>
Udara biasa	<1kV	hingga 400A	16kA	Busur api pada sendiri	PMT tegangan rendah
Minyak ( <i>less oil</i> )	sampai 20 kV	hingga 1250A	20kA	Busur api dipadamkan oleh minyak	PMT hingga 24 kV
Vakum	sampai 72 kV	hingga 5000A	50kA	Busur api dicegah karena kondisi vakum	PMT hingga 72 kV
Gas SF <sub>6</sub>	sampai 800 kV	hingga 5000A	50kA	Busur api dipadamkan oleh gas SF <sub>6</sub>	PMT tegangan tinggi

d. Klasifikasi PMT Berdasarkan Proses Pemadaman Busur Api Listrik di Ruang Pemutus

1) PMT Jenis Tekanan Tunggal (*Single Pressure Type*)

PMT tipe tekanan tunggal menggunakan gas SF<sub>6</sub> dengan tekanan sekitar 5 kg/cm<sup>2</sup>. Ketika proses pemisahan antara kontak-kontak terjadi, gas SF<sub>6</sub> akan mengalami peningkatan tekanan akibat pengaruh panas (*thermal overpressure*). Tekanan tersebut kemudian mendorong gas

masuk ke dalam tabung atau *cylinder* yang terhubung dengan kontak bergerak. Selanjutnya pada saat proses pemutusan arus berlangsung, gas SF<sub>6</sub> bertekanan dialirkan melalui nozzle, sehingga menghasilkan hembusan atau tiupan kuat. Tiupan inilah yang berperan dalam memadamkan busur api yang terbentuk saat kontak terbuka.

## 2) PMT Jenis Tekanan Ganda (*Double Pressure Type*)

PMT tipe tekanan ganda bekerja dengan dua sistem tekanan gas SF<sub>6</sub>, yaitu tekanan tinggi sekitar 12 kg/cm<sup>2</sup> dan tekanan rendah sekitar 2 kg/cm<sup>2</sup>. Saat terjadi pemutusan arus dan timbul busur api, gas SF<sub>6</sub> dari sistem tekanan tinggi dialirkan melalui nozzle menuju sistem tekanan rendah untuk membantu memadamkan busur api. Setelah proses pemadaman selesai, gas pada sistem tekanan rendah akan dipompakan kembali menuju sistem tekanan tinggi agar dapat digunakan kembali. Namun, saat ini PMT SF<sub>6</sub> tipe tekanan ganda sudah jarang digunakan dan tidak lagi diproduksi karena adanya perkembangan teknologi pemutus tenaga yang lebih efisien.

## 3. Gas SF<sub>6</sub> (*Sulfur Hexafluoride*)

Gas SF<sub>6</sub> (*Sulfur Hexafluoride*) adalah gas yang digunakan dalam berbagai aplikasi industri terutama dalam peralatan listrik. Karakteristik gas SF<sub>6</sub> yang murni adalah tidak memiliki sifat berwarna, tidak beracun dan dapat memadamkan busur api (Prakoso et al., 2024). Gas SF<sub>6</sub> digunakan untuk mencegah *arcing* (lonjakan arus listrik melalui gas) dan memberikan isolasi yang efektif. Menurut Wulandari dan Permata (2023), prinsip kerja

dalam mekanisme pemadaman busur api menggunakan gas SF<sub>6</sub> hampir sama dengan prinsip pemadaman dengan menggunakan semburan udara atau udara bertekanan. Hal yang membedakan adalah dalam keadaan gas SF<sub>6</sub> tidak dilepas ke atmosfer, kecepatan hembusan gas SF<sub>6</sub> lebih rendah jika dibandingkan dengan media isolasi semburan udara. Namun, pada Konferensi COP 3 di Kyoto tahun 1997 diumumkan sebagai gas yang berpotensi menyebabkan pemanasan global hingga 22.800 kali lipat dibandingkan karbon dioksida (Aripriharta et al., 2024). Menurut Samsurya et al. (2023), kelebihan-kelebihan gas SF<sub>6</sub> adalah sebagai berikut:

- 1) Memiliki kekuatan dielektrik tinggi dengan nilai sekitar 2,35 kali lebih besar dari udara dan tidak mudah terbakar sehingga aman digunakan sebagai isolator. Semakin tinggi tekanan gas SF<sub>6</sub> maka akan semakin tinggi kekuatan dielektriknya.
- 2) Memiliki stabilitas kimia yang tinggi sehingga tidak bereaksi dengan sebagian besar bahan lain dan memiliki viskositas tinggi.

#### **4. SF<sub>6</sub> Multi Analyzer**

SF<sub>6</sub> Multi Analyzer merupakan perangkat pengujian yang digunakan untuk mengevaluasi kondisi gas SF<sub>6</sub> di dalam kompartemen sehingga dapat diketahui apakah gas masih berada dalam kondisi layak atau sudah mengalami penurunan kualitas (Aprianto & Nurwijayanti, 2024). Alat ini mampu melakukan pengukuran beberapa parameter penting secara menyeluruh untuk menilai kualitas gas SF<sub>6</sub>, seperti kemurnian gas (*purity*), *dew point*, kandungan kelembapan (*moisture content*), dan *decomposition*

*product* (SO<sub>2</sub>).

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. Alat kedua adalah alat yang dapat mengukur tekanan dan kerapatan gas (*density meter*) alat ini terpasang pada PMT/GIS 500 Kv. Gambar 2.4 menunjukkan contoh alat SF<sub>6</sub> Multi Analyzer yang digunakan untuk pengujian kualitas gas SF<sub>6</sub>.



Gambar 2.4 SF<sub>6</sub> Multi Analyzer  
Sumber: Penulis (2025)

Penilaian hasil pengujian kualitas gas SF<sub>6</sub> umumnya disesuaikan dengan acuan standar internasional seperti CIGRE 234 dan pedoman teknis yang diterapkan oleh PT PLN melalui buku pedoman dan ketentuan yang berlaku. Selain itu, selama proses penanganan gas SF<sub>6</sub> perlu dilakukan langkah-langkah pencegahan untuk mengurangi potensi kontaminasi gas. Beberapa upaya yang dapat dilakukan antara lain (Aprianto & Nurwijayanti, 2024):

- a. Melakukan penggantian *absorbent* secara berkala sesuai kebutuhan.
- b. Menerapkan prosedur penanganan gas yang tepat dan sesuai standar.
- c. Melakukan proses evakuasi atau pembuangan udara dari kompartemen dengan hati-hati sebelum dilakukan pengisian gas SF<sub>6</sub>, dengan tekanan

udara sisa yang direkomendasikan  $< 100$  Pa atau  $< 0,1$  mBar.

## 5. Tahapan Pengujian Kualitas Gas SF<sub>6</sub> dengan Multi Analyzer

Pengujian kualitas gas SF<sub>6</sub> pada PMT dilakukan menggunakan alat SF<sub>6</sub> Multi Analyzer untuk mengetahui kondisi gas sebagai media isolasi dan pemadam busur api. Tahapan pengujian dilakukan secara sistematis sebagai berikut:

### a. Persiapan Alat dan Lokasi

- 1) Menyiapkan peralatan pendukung seperti: selang khusus pengambilan sampel, alat pelindung diri (APD), dan formulir atau lembar pencatatan data hasil pengujian.
- 2) Memastikan SF<sub>6</sub> Multi Analyzer dalam kondisi siap digunakan, berfungsi, dan telah dikalibrasi sesuai prosedur.

### b. Koneksi Alat ke PMT

- 1) Mengidentifikasi port pengambilan sampel gas SF<sub>6</sub> pada PMT.
- 2) Menyambungkan selang dari SF<sub>6</sub> Multi Analyzer ke port pengambilan sampel pada PMT dengan memastikan sambungan kuat.



Gambar 2.5 Koneksi Alat dari SF<sub>6</sub> Multi Analyzer ke *Port*  
Sumber: Penulis (2025)

c. Proses pengambilan Sampel dan Pengujian

1) Menyalakan dan *warm-up* alat

Menghidupkan SF<sub>6</sub> Multi Analyzer kemudian menunggu hingga alat selesai *warm-up* dan siap melakukan analisis.

2) Pengambilan sampel gas

Memulai proses pengambilan sampel gas SF<sub>6</sub> dari PMT. Gas akan dialirkan masuk ke sensor internal alat secara otomatis.

3) Pengukuran parameter kualitas gas SF<sub>6</sub>

SF<sub>6</sub> Multi Analyzer mengukur parameter utama secara bersamaan atau berurutan, meliputi: kemurnian (*purity*), *dew point*, *moisture content*, dan produk dekomposisi (SO<sub>2</sub>).

d. Analisis dan Interpretasi hasil

1) Hasil pengukuran akan ditampilkan pada layar SF<sub>6</sub> Multi Analyzer.

2) Nilai hasil pengujian dicatat dan dibandingkan dengan standar atau ketentuan yang berlaku, misal: kemurnian gas (*purity*), *dew point*, produk dekomposisi (SO<sub>2</sub>), dan *moisture content*.

## 6. Evaluasi Kualitas Gas SF<sub>6</sub>

Penggunaan gas SF<sub>6</sub> (*Sulfur Hexafluoride*) pada peralatan tenaga listrik, khususnya pada peralatan tegangan tinggi seperti Pemutus Tenaga (PMT) dan *Gas Insulated Switchgear* (GIS), memerlukan pengaturan dan standar yang jelas agar penggunaannya tetap aman, andal, dan ramah terhadap lingkungan. Oleh karena itu, berbagai standar internasional telah disusun untuk mengatur kualitas, pengujian, serta penanganan gas SF<sub>6</sub> selama masa operasional

peralatan.

Evaluasi kualitas gas SF<sub>6</sub> mengacu pada standar internasional yang banyak digunakan dalam evaluasi gas SF<sub>6</sub> yaitu IEC 60376 dan CIGRE 234. Tabel 2.2 menunjukkan parameter-parameter yang digunakan sebagai indikator dan batas nilai untuk menentukan apakah gas SF<sub>6</sub> masih layak digunakan, perlu dilakukan pemurnian, atau harus diganti (Bachtiar & Sudaryanto, 2016).

Tabel 2.2 Standar Kualitas Gas SF<sub>6</sub>

No	Parameter	Standar International	Batas Nilai
1	<i>Purity (%)</i>	IEC 60376	≥ 97%
2	<i>Dew Point (°C)</i>	CIGRE 234	≤ -36%
3	<i>Moisture content (ppmv)</i>	CIGRE 234	≤ 3960 ppmv
4	<i>Decomposition Product (SO<sub>2</sub>) (ppmv)</i>	IEC 60376	≤ 12 ppmv

a. Kemurnian Gas (*Purity*)

Kemurnian gas menunjukkan persentase kandungan SF<sub>6</sub> murni di dalam gas. Nilai kemurnian yang tinggi menandakan bahwa gas SF<sub>6</sub> masih berada dalam kondisi baik dan layak digunakan sebagai media isolasi. Berdasarkan IEC 60376, batas kemurnian gas SF<sub>6</sub> adalah 97%. Semakin tinggi persentase maka semakin sedikit zat lain dalam isolasi gas SF<sub>6</sub>.

b. Titik Embun (*Dew Point*)

Titik embun menunjukkan kadar kelembaban yang terkandung dalam gas SF<sub>6</sub>. Kelembaban yang tinggi di dalam gas SF<sub>6</sub> dapat menurunkan kekuatan dielektrik dan meningkatkan risiko terjadinya kegagalan isolasi.

Menurut Bachtiar & Sudaryanto (2016) bahwa semakin tinggi nilai *dew point* maka dapat menurunkan nilai isolasi gas SF<sub>6</sub> karena kontaminasi kelembapan air. Berdasarkan CIGRE 234 bahwa batas *dew point* untuk gas SF<sub>6</sub> di dalam peralatan adalah kurang dari -5°C.

c. Uap Air (*Moisture Content*)

Pengujian *moisture content* dilakukan untuk mengetahui kadar uap air yang terdapat di kompartemen. Standar *moisture content* mengacu pada standar pabrikan. Jika standar pabrikan tidak ditemukan, dapat menggunakan standar internasional bahwa batas maksimal kadar uap air (*moisture content*) yang diizinkan adalah <3960 ppmv atau <400Pa (T=20°C) (Ridwan & Irawan, 2023).

d. *Product Decomposition* (SO<sub>2</sub>)

Gas SO<sub>2</sub> merupakan salah satu *decomposition product* gas SF<sub>6</sub> yang terbentuk akibat adanya busur api atau gangguan listrik. Kandungan SO<sub>2</sub> yang tinggi dapat menjadi indikator bahwa gas SF<sub>6</sub> telah mengalami degradasi. Nurjannah et al. (2021) menyatakan bahwa kandungan SO<sub>2</sub> dapat digunakan sebagai parameter penting untuk menilai kondisi gas SF<sub>6</sub> dan kelayakannya untuk tetap digunakan pada peralatan tegangan tinggi.

## B. Kajian Empiris

Tabel 2.3 Kajian Empiris

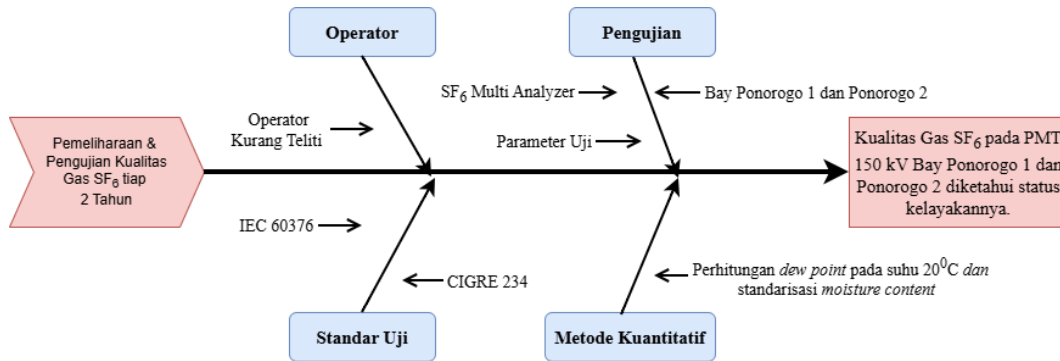
No.	Nama Penelitian dan Judul Penelitian	Variabel dan Metode Analisis	Hasil Penelitian
1.	Nama Peneliti: Muhammad Ridwan dan Denny Irawan.	Variabel: <i>Dew point</i> , <i>moisture content</i> ,	Nilai <i>dew point</i> dan <i>moisture content</i> adalah berbanding

<p>(2023)</p> <p><b>Judul Penelitian:</b> Analisis Moisture Content dan Dew Point Gas SF<sub>6</sub> PMT di GITET Gresik PT PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali</p>	<p>tekanan, dan suhu.</p> <p><b>Metode:</b> Pengujian SF<sub>6</sub> Analyzer, perhitungan <i>dew point</i> pada suhu 20°C, dan evaluasi standar.</p>	<p>lurus. Jika semakin tinggi akan mempengaruhi kinerja SF<sub>6</sub> sebagai media isolasi. Perbedaan nilai <i>dew point</i> hasil pengujian dan perhitungan pada suhu 20°C adalah hal yang normal akibat pengaruh suhu lingkungan dan hasil pengujian masih memenuhi standar kelayakan gas.</p>
<p>2.</p> <p><b>Nama Peneliti:</b> Dede Siti Nurjannah, Dian Budhi Santoso, dan Insani Abdi Bangsa. (2021)</p> <p><b>Judul Penelitian:</b> Analisa Pengujian Kualitas Gas SF<sub>6</sub> pada PMT 66 kV Bay Reaktor 4R2 di GITET Bandung Selatan</p>	<p><b>Variabel:</b> <i>Dew point</i>, SO<sub>2</sub>, tekanan, dan <i>purity</i>.</p> <p><b>Metode:</b> Pengujian kualitas gas SF<sub>6</sub> pada kompartemen PMT dan evaluasi kelayakan berdasarkan standar</p>	<p>Hasil pengujian kualitas SF<sub>6</sub> sebelum penggantian adalah tidak normal (&gt;12ppmv) sehingga berdasarkan analisis FMEA maka harus dilakukan penggantian gas. Setelah penggantian gas SF<sub>6</sub> menunjukkan nilai SO<sub>2</sub> adalah 0 ppmv.</p>
<p>3.</p> <p><b>Nama Peneliti:</b> Aripriharta, Evie Dwi Jayanti, Irham Fadlika, Sujito, Muhammad Cahyo Bagaskoro. (2024)</p> <p><b>Judul Penelitian:</b> Evaluasi Kualitas SF<sub>6</sub> dalam Switchgear Berinsulasi Gas 150 kV</p>	<p><b>Variabel:</b> <i>Dew point</i>, <i>moisture content</i> SO<sub>2</sub>, dan <i>purity</i>.</p> <p><b>Metode:</b> Evaluasi kondisi SF<sub>6</sub> di lokasi dan perbandingan terhadap acuan standar (IEEE)</p>	<p>Hasil analisis menunjukkan kemurnian rata-rata &lt;97%, <i>dew point</i> rata-rata sekitar -21,25°C, kadar air rata-rata 1684,7 ppmv, dan SO<sub>2</sub> rata-rata 3,4 ppmv. Hasil ini menggambarkan bahwa parameter kualitas SF<sub>6</sub> mengalami penurunan pada tigtat yang diperbolehkan yang</p>

		berpotensi menurunkan kinerja system secara keseluruhan.
4.	<p><b>Nama Peneliti:</b> Sigit Aprianto dan Nurwijayanti (2024)</p> <p><b>Judul Penelitian:</b> Analisis Hasil Reklamasi Gas Terhadap Kondisi SF<sub>6</sub> Kompartemen Bay Jatirangon GIS 150 KV Miniatur.</p>	<p><b>Variabel:</b> <i>Dew point, moisture content</i></p> <p><b>Metode:</b> Pengujian rutin gas SF<sub>6</sub>, perhitungan standarisasi <i>moisture content</i>, dan penentuan <i>dew point</i> mengacu CIGE 234 dibandingkan sebelum dan sesudah rekalmasi gas SF<sub>6</sub>.</p>
5.	<p><b>Nama Peneliti:</b> Mario Jamal dan Sri Arttini. (2025)</p> <p><b>Judul Penelitian:</b> Evaluasi Kualitas Gas SF<sub>6</sub> pada Gas Isulated Switchgear setelah Revitalisasi Studi Kasus pada PT PLN (Persero) GIS SIMPANG.</p>	<p><b>Variabel:</b> <i>Dew point, moisture content, kandungan decomposition product</i></p> <p><b>Metode:</b> Analisis statistik uji non parametrik Mann-Whitney dengan signifikansi (p&lt;0,001)</p> <p>Hasil sangat signifikan (p&lt;0,001) untuk semua parameter yang diuji yaitu kemurnian, kadar air, titik embun, dan kandungan <i>decomposition product</i>. Proses revitalisasi telah berhasil meningkatkan kemurnian gas SF<sub>6</sub>, menurunkan kadar air, titik embun, dan mengurangi kandungan <i>decomposition product</i> secara signifikan. Peningkatan kualitas gas SF<sub>6</sub> berimplikasi langsung pada peningkatan kinerja isolasi Gas <i>Insulated Switchgear</i> (GIS) sehingga dapat meningkatkan keandalan sistem dan memperpanjang umur pakai peralatan.</p>

6.	<p><b>Nama Peneliti:</b> Arief Goeritno, Syofyan Rasiman, Zaky Komara. (2018)</p> <p><b>Judul Penelitian:</b> Kinerja Pemutus Tenaga Tegangan Tinggi Bermedia gas SF<sub>6</sub> Berdasarkan Sejumlah Parameter Diri</p>	<p><b>Variabel:</b> Tekanan, impuritas, humiditas/uap air, <i>decomposition product</i></p> <p><b>Metode:</b> Pengukuran parameter diri PMT, analisis kondisi operasi berdasarkan indikator teknis.</p>	<p>Hasil penelitian tentang nilai-nilai dari hasil pengukuran parameter diri PMT meliputi tekanan, impuritas, humiditas/uap air, dan <i>decomposition product</i> sebagai indikator kelayakan PMT.</p>
7	<p><b>Nama Peneliti:</b> Puji Slamet, Reza Sarwo Widagdo, Balok Hariadi, Agnes Juita Marbun. (2025)</p> <p><b>Judul Penelitian:</b> Comprehensive Evaluation of Moisture and Dew Point Characteristic of SF<sub>6</sub> Gas in 150 kV GIS Circuit Breakers: Operational Insights from Krembangan Substation</p>	<p><b>Variabel:</b> Tekanan, <i>dew point, moisture content</i></p> <p><b>Metode:</b> Pengukuran parameter <i>moisture content</i> dan <i>dew point</i> di 5 unit PMT GIS 150 kV GI Krembangan dan perhitungan standarisasi</p>	<p>Hasil pengujian menunjukkan bahwa <i>moisture content</i> gas SF<sub>6</sub> pada lima unit PMT GIS 150 kV GI Krembangan berada di bawah batas pabrikaan 500 ppmv dan termasuk kategori aman menurut CIGRE 234. Nilai <i>dew point</i> terukur berada pada rentang -20°C sampai -30°C dan setelah distandarisasi menggunakan IEEE 1125 seluruh sampel tetap memenuhi batas CIGRE (<math>\leq -5^\circ\text{C}</math>) sehingga kualitas gas SF<sub>6</sub> dinyatakan baik dan sesuai standar internasional.</p>

### C. Kerangka Berpikir



Gambar 2.6 Kerangka Berpikir  
Sumber: Penulis (2026)

Kerangka berpikir pada Gambar 2.6 atau *fishbone diagram* diatas menggambarkan alur berpikir penelitian dalam menganalisis kualitas gas SF<sub>6</sub> pada PMT 150 kV bay Ponorogo 1 dan Ponorogo 2 di GI New Pacitan. Masalah utama pada penelitian ini adalah bahwa status kelayakan kualitas gas SF<sub>6</sub> pada PMT 150 kV bay Ponorogo 1 dan Ponorogo 2 belum diketahui sehingga diperlukan analisis berdasarkan parameter dan standar IEC 60376 dan CIGRE 234. Diagram *fishbone* ini menunjukkan bahwa analisis kualitas gas SF<sub>6</sub> dipengaruhi oleh beberapa aspek utama yaitu operator, pengujian standar, standar uji, dan metode kuantitatif.

Faktor operator memiliki peran penting dalam keakuratan hasil pengujian. Ketelitian operator diperlukan karena kesalahan dalam pengambilan sampel, pemasangan alat, pemasangan selang, atau pencatatan data dapat memengaruhi hasil analisis. Oleh karena itu, operator yang kurang teliti dapat menjadi salah satu penyebab ketidaksesuaian data atau hasil evaluasi yang kurang akurat.

Pengujian kualitas gas SF<sub>6</sub> menggunakan alat SF<sub>6</sub> Multi Analyzer yang berfungsi untuk mengukur kondisi gas SF<sub>6</sub> pada peralatan PMT. Pengujian ini difokuskan pada bay Ponorogo 1 dan Ponorogo 2 dengan parameter uji utama meliputi kemurnian gas, *dew point*, *moisture content*, dan *decomposition product* (SO<sub>2</sub>). Parameter tersebut digunakan sebagai indikator untuk menilai kualitas gas SF<sub>6</sub> apakah masih berada dalam kondisi aman untuk mendukung fungsi isolasi dan pemadaman busur api pada PMT.

Standar uji menjadi acuan dalam mengevaluasi hasil pengujian. Standar pengujian yang digunakan adalah IEC 60376 dan CIGRE 234. Hasil pengujian akan dibandingkan dengan batas nilai sehingga dapat ditentukan apakah gas SF<sub>6</sub> masih layak digunakan atau perlu tindakan lanjutan.

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif yaitu perhitungan *dew point* pada suhu acuan 20°C dan proses standarisasi *moisture content* sehingga data antar pengujian dapat dibandingkan secara konsisten. Hasil perhitungan kemudian dianalisis untuk melihat kondisi gas pada masing-masing bay dan juga membandingkan kualitas gas SF<sub>6</sub> antara bay Ponorogo 1 dan Ponorogo 2.

Secara keseluruhan, kerangka berpikir ini menunjukkan bahwa kualitas gas SF<sub>6</sub> pada PMT 150 kV dipengaruhi oleh faktor operator, proses pengujian, standar uji, dan metode analisis kuantitatif. Oleh karena itu, penelitian diharapkan dapat menghasilkan luaran berupa hasil pengujian kualitas gas SF<sub>6</sub>, perbandingan kualitas antar bay, dan kesimpulan kelayakan gas SF<sub>6</sub> berdasarkan IEC 60376 dan CIGRE 234 sebagai dasar rekomendasi pemeliharaan peralatan PMT di Gardu Induk New Pacitan.