

ANALISA KELAYAKAN PEMUTUS TENAGA (PMT) BERDASARKAN HASIL UJI TEKANAN GAS SF₆ TAHANAN ISOLASI, TAHANAN KONTAK DAN KESEREMPAKAN KONTAK DI GARDU INDUK 150 KV RUNGKUT

Fernanda Eka Saputra¹, Puji Slamet², Reza Sarwo Widagdo³
Jurusan Teknik Elektro, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
Jl. Semolowaru 45 Surabaya 60118
Telp. (031) 5931800
E-mail : fernandaok038@gmail.com

ABSTRAKS

Transmisi energi dari pembangkit ke distribusi dan konsumen merupakan bagian dari penyaluran energi listrik. Hubungan pendek dan gangguan lainnya sering terjadi dalam proses ini, maka sebab itu diperlukan perlindungan untuk menjamin distribusi yang efisien. Pemutus Tenaga (PMT) di Gardu Induk ialah sakelar mekanis yang mengatur arus beban dalam berbagai situasi, termasuk anomali seperti korsleting/hubungan pendek. Kerusakan atau ketidakberfungsian PMT dapat merugikan dan mengganggu operasi sistem tenaga listrik secara keseluruhan. Pentingnya fungsi PMT mengharuskan pengujian dan pemeliharaan rutin untuk memastikan kinerjanya yang optimal. Dalam pengujian, tekanan gas SF₆, resistansi kontak, resistansi isolasi, dan simultanitas kontak PMT semuanya diperiksa. Temuan pengujian dievaluasi sesuai dengan standar yang tercantum dalam SK-DIR0520. Menurut SK-DIR0520, PMT dianggap layak jika tekanan gas SF₆ di atas nilai nameplate PMT, tahanan isolasi melebihi 150 MΩ, tahanan kontak berada di bawah 50 μΩ, dan keserempakan kontak dihitung dengan delta time close dan open pada fase masing-masing di bawah 10 ms. Pengujian terhadap PMT Gardu Induk 150 KV Rungkut Bay Line Surabaya Selatan menunjukkan bahwa tekanan gas SF₆, tahanan isolasi, resistansi kontak, dan keserempakan kontak masih memenuhi kriteria standar yang ditetapkan. Maka sebab itu, keadaan PMT tersebut dapat dikatakan masih layak digunakan.

Kata Kunci: Keserempakan Kontak, PMT, Tahanan Isolasi, Tahanan Kontak, Tekanan Gas SF₆

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kekayaannya akan sumber daya energi, Indonesia diklaim dapat memenuhi kebutuhan energi listriknya. Keberagaman sumber daya energi seperti gas, air, angin, matahari, dan batu bara menjadi potensi besar untuk memastikan ketersediaan energi listrik. Pentingnya energi listrik sangat terasa dalam kehidupan sehari-hari, mencakup kebutuhan rumah tangga, sektor pendidikan, perkembangan ekonomi, hingga kegiatan industri.

Dalam sistem distribusi energi listrik, gardu induk memiliki peran sentral. Gardu induk terdiri dari berbagai peralatan, termasuk saluran transmisi, distribusi, hubung bagi, transformator, serta Pemutus Tenaga (PMT) sebagai salah satu komponen krusialnya [1]. PMT berfungsi sebagai sakelar mekanis yang mengontrol aliran listrik dalam

berbagai situasi, termasuk keadaan biasa dan tidak terduga seperti korsleting. Kendati PMT bekerja pada tegangan tinggi secara berkesinambungan, tidak dapat diabaikan bahwa masalah dapat timbul. Oleh karena itu, pemeliharaan dan pengujian rutin PMT sesuai dengan petunjuk dalam buku panduan menjadi krusial untuk mencegah kesalahan dan memastikan kinerja optimalnya [2].

Masalah yang muncul pada PMT dapat berakibat serius terhadap sistem tenaga listrik, merugikan perangkat lainnya, serta menyebabkan ketidakstabilan dalam penyaluran daya listrik. Sebagai langkah preventif untuk meminimalkan risiko kesalahan kinerja PMT saat menghadapi gangguan dan menilai kelayakannya, penulis mengusulkan penelitian dengan topik "Analisa Kelayakan Pemutus Tenaga (PMT) Berdasarkan Hasil Uji Tekanan Gas SF₆, Tahanan Isolasi,

Tahanan Kontak, dan Keserempakan Kontak di Gardu Induk 150 KV Rungkut."

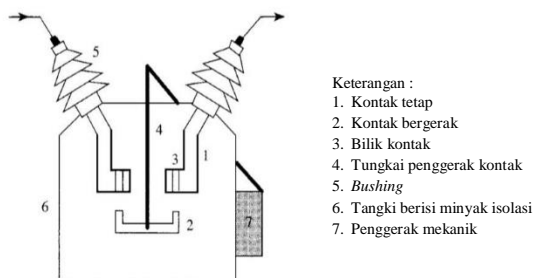
Penelitian ini diarahkan untuk menginvestigasi secara mendalam kondisi PMT di Gardu Induk 150 KV Rungkut dengan menganalisis hasil uji pada beberapa parameter kunci, seperti tekanan gas SF₆, tahanan kontak, keserempakan kontak dan tahanan isolasi. Tujuan utamanya adalah untuk menilai apakah PMT tersebut masih memenuhi standar kelayakan operasional, mencegah potensi kerusakan, dan memastikan keandalan dalam penyaluran energi listrik. Maka dari itu, studi ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam menjaga kestabilan sistem ketenagalistrikan Gardu Induk Rungkut 150 KV dan dapat diterapkan secara luas pada gardu induk lainnya di Indonesia.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pemutus Tenaga (PMT)

Dalam kondisi normal, saklar mekanis yang disebut pemutus tenaga (PMT) dapat menutup, mengalirkan, dan memutus arus beban. Mereka juga dapat melakukan hal yang sama dalam kondisi luar biasa atau saat terjadi gangguan, seperti hubung singkat [3].

Perangkat listrik PMT dimaksudkan untuk mencegah malfungsi sistem yang dapat membahayakan stabilitas sistem termal, magnetik, dan dinamis.



Keterangan :
1. Kontak tetap
2. Kontak bergerak
3. Bilik kontak
4. Tungkai penggerak kontak
5. Bushing
6. Tangki berisi minyak isolasi
7. Penggerak mekanik

Gambar 1 Kontruksi Pemutus Tenaga (PMT) [4].

Ketika terjadi gangguan arus pada jaringan dan peralatan lainnya, pemutus tenaga (PMT) dapat dibuka dan ditutup sebagai perangkat *switch gear underload*. Dalam prosesnya, mereka melakukan ini melalui kontak yang dikontrol oleh penggerak. Pada pemutus tenaga terdapat dua jenis kontak: kontak diam dan kontak bergerak. Bagaimana media penggerak mengatur keduanya? Saat media penggerak menarik kontak ke atas, kontak bergerak menyambung dengan kontak diam, yang memungkinkan arus dan tegangan mengalir dari satu terminal ke terminal lainnya. Sebaliknya, saat pemutus tenaga dibuka, media penggerak akan mendorong kontak ke bawah, memisahkan kontak bergerak dari kontak diam, yang menyebabkan arus

dan tegangan terpisah dari satu terminal ke terminal lainnya.

2.2 Jenis – Jenis Pemutus Tenaga (PMT)

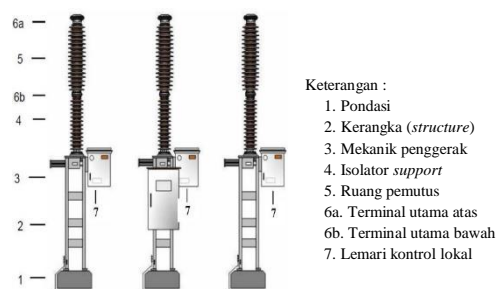
Sejumlah kriteria, seperti tegangan rating atau nominal, sistem penggerak, jumlah mekanik penggerak, dan pemadaman busur api, dapat dimanfaatkan guna mengkategorikan berbagai jenis pemutus sirkuit PMT.

1. PMT Berdasarkan Tegangan Rating / Nominal:
 - PMT Tegangan Rendah (Low Voltage): Mempunyai rentang tegangan antara 0,1 - 1 kV (SPLN 1.1995 - 3.3).
 - PMT Tegangan Menengah (Medium Voltage): Memiliki rentang tegangan antara 1 - 35 kV (SPLN 1.1995 - 3.4).
 - PMT Tegangan Tinggi (High Voltage): Berkisar pada tegangan antara 35 - 245 kV (SPLN 1.1995 - 3.4).
 - PMT Tegangan Extra Tinggi (Extra High Voltage): Memiliki rentang tegangan > 245 kV (SPLN 1.1995 - 3.4).

2. PMT Berdasarkan Jumlah Mekanik Penggerak

• PMT Single Pole

Setiap sumbu pemutus tenaga (PMT) tipe sumbu tunggal dilengkapi dengan mekanisme penggerak. Biasanya, ini ditempatkan di ruang penghantar untuk mengaktifkan penguncian PMT satu fasa.

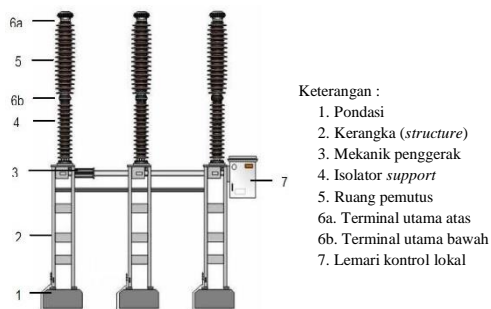


Keterangan :
1. Pondasi
2. Kerangka (structure)
3. Mekanik penggerak
4. Isolator support
5. Ruang pemutus
6a. Terminal utama atas
6b. Terminal utama bawah
7. Lemari kontrol lokal

Gambar 2 PMT Single Pole [5].

• PMT Three Pole

Sebab PMT tipe single pole memiliki penggerak mekanis tiga fasa yang menghubungkan fasa pertama ke kopel mekanik, PMT biasanya dipasang di bay trafo dan bay kopel.



Gambar 3 PMT Three Pole [5].

3. PMT Sesuai Sistem Penggerak
 - Penggerak Pegas (*Spring Drive*)
 - Penggerak Hidrolik
 - Penggerak Pneumatik
4. PMT Berdasarkan Pemadam Busur Api
 - PMT Gas SF₆
 - PMT Udara Hembus (*Air Blast*)
 - PMT Hampa Udara (*Vacuum*)

2.3 Pengujian Tekanan Gas SF₆

Gas sulfur hexafluorida (SF₆) adalah gas yang dihasilkan dari reaksi larutan sulfur dan gas fluoride dan memiliki tingkat kemurnian 99,9% pada suhu 3000 derajat Celcius. Pada suhu 1500 derajat Celcius, gas SF₆ merupakan bahan isolasi listrik dengan kekuatan dielektrik tinggi (2,5 kali lebih besar dari udara) yang tidak akan menimbulkan korosi pada logam, plastik, atau peralatan lain yang digunakan dalam PMT. Sebaliknya, gas SF₆ memiliki kemampuan untuk pulih secara cepat setelah terjadi busur api. Oleh karena itu, untuk PMT dengan tegangan 150 kV, yang digunakan sebagai media pemadam busur api ialah gas SF₆.

Pengujian gas SF₆ sering dilakukan pada peralatan PMT untuk memverifikasi tekanan dan kemurnian gas SF₆. SF₆-Q-Analyser merupakan alat yang digunakan untuk pengujian ini, yang dapat memberikan informasi tentang berbagai kondisi gas SF₆ pada PMT, termasuk Dew Point, Moisture Content, Purity, SO₂ + SOF₂, dan Pressure.

Pada penghitungan tekanan gas SF₆, biasanya diukur dalam satuan bar. Untuk konversi ke satuan kPa, perlu dilakukan konversi satuan bar ke kPa, dengan rumus matematis sebagai berikut: 1 bar = 100 kPa.:

$$\text{Tekanan Gas SF}_6 \text{ (kPa)} = \text{Tekanan Asli (bar)} \times 100 \quad (2.1)$$

Yakni perhitungan tekanan gas SF₆ ini mampu menyesuaikan standarisasi yaitu \geq tekanan pada nameplate PMT [6].

2.4 Pengujian Tahanan Isolasi

Nilai tahanan isolasi PMT antara fasa yang dialiri arus listrik terhadap case (badan) dan fasa yang diberi energi terhadap terminal bawah pada fasa yang sama ditentukan dengan menggunakan

instrumen yang digunakan dalam pengujian resistansi isolasi pada pemutus tenaga (PMT).

Pengukuran resistansi isolasi PMT pada dasarnya bertujuan untuk mengetahui besarnya arus bocor yang terjadi antara komponen dengan terminal atas dan terminal bawah yang dihubungkan ke ground. Tidak ada cara untuk menghentikan arus bocor menembus isolasi PMT. Oleh karena itu, mengukur resistansi isolasi pemutus arus merupakan salah satu teknik untuk memastikan keamanan penggunaan listrik. Penguji insulasi digunakan untuk melakukan pengujian ini, dan menerapkan tegangan 5 kV ke perangkat yang dimaksud. Setelah pengujian selesai, nilai arus bocor dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$I_{Bocor} = \frac{V}{R} \quad (2.2)$$

Dimana :

I_{Bocor} = Nilai arus bocor PMT (Ampere)

V = Tegangan injeksi (Volt)

R = Tahanan isolasi PMT (M Ω)

Buku Pemeliharaan Peralatan SE.032/PST/1984 dan standar VDE (katalog 228/4) menyatakan bahwa batas tahanan isolasi PMT pada suhu kerja ialah "1 kilo volt = 1 Mega Ohm". Setiap 1 kV sama dengan 1 mA dalam bocoran arus yang diizinkan [6].

2.5 Pengujian Tahanan Kontak

Untuk memungkinkan perpindahan energi listrik tanpa hambatan, rangkaian tenaga listrik terdiri dari banyak titik sambungan di mana dua atau lebih konduktor secara fisik bersatu. Pertemuan konduktor ini menyebabkan hambatan atau resistensi terhadap arus yang melalui peralatan, menyebabkan panas dan kerugian di titik sambungan. Kerugian ini akan sangat besar jika nilai tahananannya tinggi. Titik di mana peralatan pemutus tenaga terhubung ke peralatan lainnya dianggap sebagai tahanan kontak jika titik tersebut memenuhi kaidah rugi daya berikut:

$$P_{loss} = I^2 \times R \quad (2.3)$$

Dimana :

P_{loss} = Rugi – rugi daya PMT (Watt)

I = Arus injeksi (Ampere)

R = Resistansi kontak PMT (Ohm)

Pengukuran tahanan kontak hampir identik dengan pengukuran yang digunakan secara umum. Karena pembagi 100, penggunaan arus 100 ampere untuk mengukur tahanan kontak pemutus tenaga akan lebih cepat. Nilai tahanan kontak PMT tidak boleh melebihi 50 $\mu\Omega$ / 120 % nilai FAT, menurut standar IEC 60694 [6].

2.6 Pengujian Keserempakan Kontak

Keserempakan kontak pemutus tenaga sangat penting selama operasi sistem tenaga listrik, terutama dalam transmisi tenaga listrik. Pengujian keserempakan kontak pemutus tenaga (PMT) menentukan waktu kerja pemutus tenaga dan keserempakan pemutus tenaga pada saat pemutus tenaga terbuka dan tertutup (PMT). Jika tidak, pemutus tenaga harus membuka dan menutup secara bersamaan pada tiap fasa R, S, dan T. Jika tidak, anomali dalam penyaluran tenaga listrik dapat menyebabkan sistem proteksi tidak berfungsi dengan baik. Saat pemutus tenaga trip karena anomali dalam penyaluran tenaga listrik, diharapkan pemutus tenaga (PMT) dapat beroperasi dengan cepat sehingga waktu clearing yang diharapkan sesuai dengan standar yang digunakan. Untuk menghitung delta waktu (t), rumus matematis berikut dapat digunakan;

$$\Delta t \text{ (ms)} = \text{Nilai Paling Tinggi (ms)} - \text{Nilai Paling Rendah (ms)} \quad (2.4)$$

Pengujian keserempakan pemutus tenaga (PMT) dilakukan dengan alat ukur CB analyzer CT-6500. Nilai yang diperoleh dari pengujian keserempakan kontak adalah Δt , yang menunjukkan perbedaan waktu tertinggi dan terendah antar fasa R, S, dan T pada saat open close pemutus tenaga (PMT). Menurut informasi yang diberikan oleh pabrikan ABB [6].

3. METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Pendekatan studi yang diterapkan dalam pembuatan tugas akhir ini ialah studi literatur. Di mana studi literatur dapat berfungsi sebagai landasan berpikir untuk menyelesaikan masalah ilmiah.



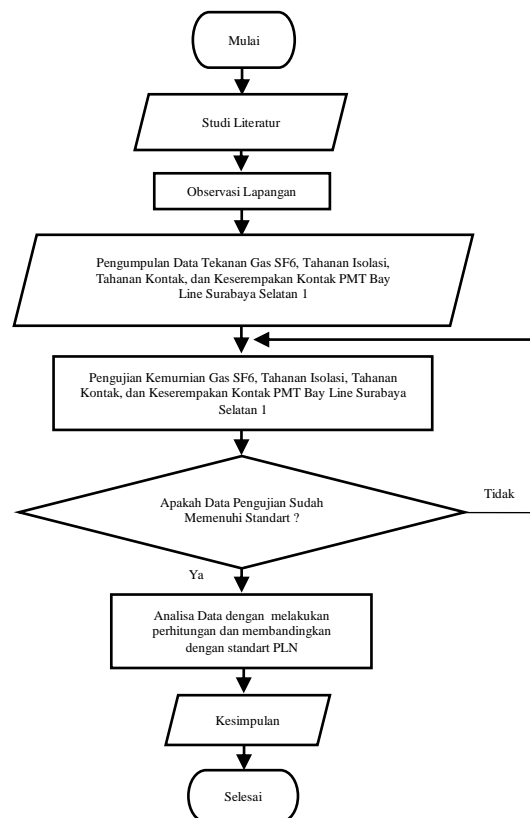
Gambar 4 PMT Bay Line Surabaya Selatan 1 Gardu Induk 150 kV Rungkut.

Penelitian ini mengumpulkan data dari pengukuran yang dilakukan secara langsung pada subjek penelitian. Tekanan gas SF₆, tahanan isolasi, tahanan kontak, dan keserempakan kontak pemutus tenaga (PMT) semuanya diukur selama pengumpulan data ini. Kegiatan maintenance predictive seperti pengujian ini. Lebih tepatnya, inspeksi level tiga dilakukan selama dua tahun.

Fokus penelitian adalah pemutus tenaga (PMT) Gardu Induk 150 kV Rungkut Bay Line

Surabaya Selatan 1, yang merupakan PMT jenis tiga pole dengan penggerak pegas dan menggunakan media pemadam busur api SF₆.

3.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 5 Diagram Alir Penelitian.

3.3 Alat Ukur Yang Digunakan

Penelitian ini dilakukan melalui pengujian tekanan gas SF₆, tahanan isolasi, tahanan kontak, dan keserempakan kontak. Untuk melakukan pengujian ini, beberapa alat ukur digunakan, termasuk:

1. SF₆-Q-Analyser
SF₆-Q-Analyser merupakan alat ukur yang digunakan untuk menguji gas SF₆ pada peralatan pemutus tenaga (PMT). Alat ini memberikan hasil pengujian gas SF₆ seperti Dew Point, Moisture Content, Purity, SO₂ + SOF₂, dan tekanan.
2. Insulation Tester
Model Insulation tester model adalah perangkat untuk menguji tahanan isolasi pada PMT dengan menyuplai tegangan sebesar 5 kV. Setelah mengukur tahanan isolasi, arus bocor dihitung berdasarkan hukum Ohm. Alat ini memiliki satuan megaohm dan pemilihan sumber tegangan disesuaikan dengan batas pengukuran serta tegangan kerja peralatan atau instalasi yang diukur.
3. Megger ATO 600

Menggunakan metode yang mirip dengan alat pengukur resistansi murni, resistansi kontak PMT diukur dengan Digital Megger ATO 600 Digital. Pada pengukuran pemutus tenaga, arus 100 A diterapkan untuk mengukur nilai tahanan kontak pada sambungan PMT dengan peralatan lain, sehingga dapat menghitung rugi daya akibat tahanan kontak.

4. CB Analyzer CT – 6500

CB (circuit breaker) analyzer CT – 6500 merupakan peralatan pengukuran keserempakan pada PMT. Alat ini bekerja dengan mendeteksi besaran tegangan pada pole 1, 2, dan 3 yang dihubungkan pada jalur panel, memberikan indikasi kondisi pole terbuka atau tertutup.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Tekanan Gas SF6

Pengujian gas SF6 dilakukan dengan alat ukur SF6-Q-Analyser. Alat ini akan mengukur berbagai keadaan gas SF6 pada PMT, termasuk titik dew, konsentrasi air, kemurnian, SO2 + SOF2, dan tekanan.

Tabel 1 merupakan tabel hasil uji gas SF6 PMT Bay Line Surabaya Selatan 1.

Klasifikasi Pengujian	Standart	R	S	T
Dew Point	< -31°C	- 60°C	- 60°C	- 60°C
Moisture Content	≤ 500 ppmv	11 ppmv	11 ppmv	11 ppmv
Purity	> 97 % ; > 99,7 % untuk gas SF6 baru	100 %	100 %	100 %
SO2 +SOF2	< 12 ppmv	0 ppmv	0 ppmv	0 ppmv
Pressure	Sesuai namplate	7,479 bar	7,479 bar	7,479 bar

Tabel 1 menunjukkan beberapa poin yang diuji untuk mengetahui kemurnian gas SF6 pada PMT. Tabel tersebut juga menunjukkan beberapa klasifikasi pengujian kemurnian gas SF6, seperti:

a. Dew Point

Pengujian dew point digunakan untuk menentukan suhu titik embun pada kompartemen. Hal ini penting karena pada suhu tersebut, udara perlu didinginkan agar uap air di dalam kompartemen tidak bercampur dengan gas SF6. Oleh karena itu, pengujian dew point bertujuan menentukan suhu di mana uap air dapat menjadi titik embun dan tidak bercampur dengan gas SF6 di dalam kompartemen. Hasil pengukuran dew point pada SF6-Q-Analyser menunjukkan nilai -6°C, menunjukkan bahwa PMT Bay Line Surabaya Selatan 1 berada dalam kondisi normal, sesuai dengan standar suhu dew point gas SF6 (< -31°C).

b. Moisture Content

Menemukan kandungan uap air kompartemen ialah tujuan pengujian moisture content. Uap air tersebut dapat mengalami kondensasi, potensial mereduksi kekuatan isolasi gas SF6. Hasil pengukuran moisture content pada SF6-

Q-Analyser menunjukkan nilai sebesar 11 ppmv. Data pengujian tersebut menegaskan bahwa gas SF6 pada PMT Bay Line Surabaya Selatan 1, berdasarkan klasifikasi uji moisture content, berada dalam kondisi normal. Hal ini berarti, tingkat kelembapan di dalam kompartemen gas SF6 pada PMT tersebut berada di bawah standar yang ditetapkan. Informasi ini didasarkan pada standar nilai moisture content pada gas SF6, yang disyaratkan tidak melebihi ≤ 500 ppmv. Oleh karena itu, kondisi kelembapan pada kompartemen gas SF6 PMT Bay Line Surabaya Selatan 1 dapat dianggap sesuai dengan standar yang ditetapkan.

c. Purity

Pengujian tingkat kemurnian (purity) pada gas SF6 bertujuan untuk menilai sejauh mana kemurnian gas tersebut. Tingkat kemurnian ini memiliki dampak signifikan terhadap kecepatan gas SF6 dalam merespon dan memadamkan busur api. Hasil pengukuran purity pada SF6-Q-Analyser menunjukkan nilai 100%.

Dari temuan pengujian tersebut, dapat disimpulkan bahwa gas SF6 pada PMT Bay Line Surabaya Selatan 1, berdasarkan klasifikasi uji purity, berada dalam kondisi normal. Informasi ini merujuk pada standar nilai purity pada gas SF6, yang mensyaratkan nilai > 97%; > 99,7% untuk gas SF6 yang baru. Dengan kemurnian sebesar 100%, dapat dianggap bahwa gas SF6 pada PMT tersebut memenuhi atau bahkan melebihi standar kemurnian yang diperlukan. Oleh karena itu, kondisi kemurnian gas SF6 di PMT Bay Line Surabaya Selatan 1 dapat dianggap memadai dan sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan.

d. SO2 + SOF2

Pengujian SO2 + SOF2 pada gas SF6 bertujuan untuk menilai kandungan SO2 + SOF2 dalam gas SF6. Kandungan ini terbentuk akibat pembakaran bahan bakar fosil yang mengandung sulfur. Kehadiran SO2 + SOF2 dapat mempengaruhi efektivitas pemadaman busur api oleh gas SF6, yang berasal dari sulfur. Hasil pengujian pada SF6-Q-Analyser menunjukkan nilai 0 ppmv.

Dari temuan pengujian tersebut, dapat disimpulkan bahwa gas SF6 pada PMT Bay Line Surabaya Selatan 1, berdasarkan klasifikasi uji SO2 + SOF2, berada dalam kondisi normal. Hal ini berarti, kandungan SO2 + SOF2 di dalam kompartemen gas SF6 pada PMT tersebut berada di bawah standar yang ditetapkan. Informasi ini didasarkan pada standar nilai SO2 + SOF2 pada gas SF6, yang mensyaratkan kandungan < 12 ppmv. Oleh karena itu, kondisi kandungan SO2 + SOF2 di PMT Bay Line Surabaya Selatan 1

dapat dianggap memadai dan sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan.

e. Pressure

Dalam klasifikasi pengujian tekanan, tujuan adalah untuk mengetahui nilai tekanan gas SF6 yang digunakan saat busur api dihentikan pada peralatan pemutus tenaga (PMT). Nilai yang diukur oleh alat ukur SF6-Q-Analyser adalah 7,479 bar, dan pada spesifikasi PMT Bay Line Surabaya Selatan 1, tekanan gas SF6 adalah 6 bar. Berdasarkan persamaan (2.1), yaitu :

$$\text{Tekanan Gas SF6 (kPa)} = \text{Tekanan Asli (bar)} \times 100$$

Maka :

$$\begin{aligned} \text{Tekanan Nameplate} &= \text{Bar Nameplate PMT} \times 100 \\ &= 6 \text{ bar} \times 100 \\ &= 600 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tekanan Pengujian} &= \text{Bar Pengujian} \times 100 \\ &= 7,479 \text{ bar} \times 100 \\ &= 747,9 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan, dapat disimpulkan bahwa gas SF6 pada PMT Bay Line Surabaya Selatan 1, berdasarkan klasifikasi uji pressure, berada dalam kondisi normal. Artinya, tekanan gas SF6 yang diukur dalam pengujian melebihi tekanan yang tertera pada nameplate PMT Bay Line Surabaya Selatan 1. Hasil perhitungan menunjukkan tekanan gas SF6 sebesar 747,9 kPa. Kesimpulan ini menegaskan bahwa tekanan gas SF6 dalam keadaan normal dan dapat dianggap layak beroperasi, karena nilai tekanan pengujian melampaui nilai spesifikasi PMT yang sebesar 600 kPa. Apabila nilai pengujian tekanan berada di bawah tekanan gas SF6 yang tercantum pada nameplate PMT, hal tersebut menandakan keadaan anomali karena gas SF6 tidak dapat memberikan tekanan yang cukup untuk memadamkan busur api. Analisis ini mengacu pada standar nilai pressure pada gas SF6, yaitu sesuai atau di atas nilai yang tertera pada nameplate.

Sebuah kesimpulan dapat dibuat bahwa gas SF6 pada PMT Bay Line Surabaya Selatan 1 dalam kondisi normal dan masih layak digunakan. Kesimpulan ini didasarkan pada analisis pengujian gas SF6 pada PMT Bay Line Surabaya Selatan 1 yang mencakup klasifikasi pengujian seperti dew point, kadar air, kemurnian, SO2 + SOF2, dan tekanan.

4.2 Pengujian Tahanan Isolasi

Tujuan mengukur resistansi isolasi pemutus tenaga (PMT) ialah guna memastikan besarnya arus bocor yang terjadi antara komponen aktif pada terminal atas dan terminal bawah terhadap ground. Tidak dapat dipungkiri bahwa arus bocor akan mengalir melalui isolasi pemutus arus. Guna

memastikan PMT cukup aman saat terkena tegangan, penting untuk mengukur resistansi isolasi.

Petunjuk operasional yang ditunjukkan pada masing-masing peralatan pengujian disebut sebagai kapasitas alat pengukur. Selain itu, untuk mengukur kesiapan objek (PMT), dilakukan sejumlah prosedur yang sesuai dengan Prosedur Pelaksanaan Pekerjaan pada Instalasi Listrik Tegangan Tinggi/Ekstra Tinggi. Langkah berikutnya adalah pelepasan klem terminal bawah dan atas.

Sesuai dengan panduan pemeliharaan peralatan SK DIR 0520, batasan resistansi isolasi pada PMT adalah 1 MΩ setiap 1 kV, dengan arus bocor sebesar 1 mA setiap kV. Pengujian resistansi isolasi dilakukan dengan menggunakan alat ukur resistansi isolasi dengan tegangan peralatan sebesar 5 kV.

Tabel 1 Hasil Pengujian Tahanan Isolasi PMT Bay Line Surabaya Barat 1.

Titik Uji	Standart	Hasil Pengukuran (GΩ)		
		R	S	T
Atas – Ground	SK DIR 0520 1 kV = 1 MΩ	7350	14900	10000
Bawah – Ground		480000	530000	435000
Atas – Bawah		34200	38700	38400

Menurut data, titik pengujian PMT dilakukan di area atas-tanah, bawah-tanah, dan atas-bawah. Setelah hasil uji resistensi isolasi PMT diketahui, langkah selanjutnya adalah membagi tegangan injeksi dengan hasil uji resistensi isolasi.

1. Arus Bocor Fasa R PMT Bay Line Surabaya Selatan 1

- Atas - Ground (I_{Bocor}) = $\frac{5000 \text{ V}}{7350000 \text{ M}\Omega}$ = 0,00068 mA
- Bawah - Ground (I_{Bocor}) = $\frac{5000 \text{ V}}{480000000 \text{ M}\Omega}$ = 0,0000104 mA
- Atas – Bawah (I_{Bocor}) = $\frac{5000 \text{ V}}{34200 \text{ M}\Omega}$ = 0,000146 mA

2. Arus Bocor Fasa S PMT Bay Line Surabaya Selatan 1

- Atas – Ground (I_{Bocor}) = $\frac{5000 \text{ V}}{14900000 \text{ M}\Omega}$ = 0,000335 mA
- Bawah – Ground (I_{Bocor}) = $\frac{5000 \text{ V}}{530000000 \text{ M}\Omega}$ = 0,0000094 mA
- Atas – Bawah (I_{Bocor}) = $\frac{5000 \text{ V}}{38700000 \text{ M}\Omega}$ = 0,000129 mA

3. Arus Bocor Fasa T PMT Bay Line Surabaya Selatan 1

- Atas – Ground (I_{bocor}) = $\frac{5000 \text{ V}}{10000000 \text{ M}\Omega}$ = 0,0005 mA
- Bawah – Ground (I_{bocor}) = $\frac{5000 \text{ V}}{435000000 \text{ M}\Omega}$ = 0,0000114 mA
- Atas – Bawah (I_{bocor}) = $\frac{5000 \text{ V}}{38400000 \text{ M}\Omega}$ = 0,00013 mA

Dari data hasil pengujian resistansi isolasi pada PMT Bay Line Surabaya Selatan 1, dapat disimpulkan bahwa setiap fasa menunjukkan nilai resistansi isolasi yang berbeda, disebabkan oleh pengaruh kondisi isolator. Keberadaan debu dan kotoran dapat memengaruhi nilai resistansi isolasi yang terukur. Meskipun demikian, perbedaan nilai tersebut tidak memiliki dampak negatif terhadap kinerja PMT, asalkan nilai resistansi isolasi tetap sesuai dengan standar yang ditetapkan. Dari analisis tersebut, dapat ditarik kesimpulan bahwa PMT Bay Line Surabaya Selatan 1, berdasarkan nilai resistansi isolasinya, masih memenuhi syarat untuk beroperasi karena hasil pengujian sesuai dengan standar $1 \text{ kV} = 1 \text{ M}\Omega$. Selain itu, dari perhitungan arus bocor, dapat disimpulkan bahwa PMT tersebut masih berada dalam kondisi normal, sesuai dengan standar yang digunakan, yaitu $1 \text{ kV} = 1 \text{ mA}$. Analisis ini memberikan gambaran komprehensif tentang kondisi operasional dan integritas isolasi PMT Bay Line Surabaya Selatan 1.

4.3 Pengujian Tahanan Kontak

Secara mendasar, susunan sistem tenaga listrik melibatkan banyak titik sambungan, yakni pertemuan fisik dua atau lebih konduktor, yang memungkinkan energi listrik mengalir tanpa hambatan signifikan. Ketika konduktor bertemu, terjadi resistansi terhadap arus, yang dapat menyebabkan pemanasan dan kerugian pada titik sambungan tersebut. Pengukuran tahanan kontak pemutus tenaga menggunakan arus sebesar 100 ampere, dipilih karena dapat mempercepat penentuan nilai tahanan dengan pembagi yang mudah dengan angka 100.

Jumlah titik sambungan konduktor dapat menyebabkan kerugian daya yang substansial, namun, masalah tersebut dapat dikelola dengan mengurangi tahanan kontak melalui pemeliharaan, dengan tujuan meminimalkan nilai tahanan kontak. Pengujian tahanan kontak dilakukan menggunakan alat ukur Megger ATO 600, yang prinsip kerjanya mirip dengan alat ukur tahanan murni. Pada pengukuran pemutus tenaga, digunakan arus sebesar 100 A, sehingga nilai tahanan kontak pada sambungan PMT dengan peralatan lain dapat diukur, memungkinkan perhitungan rugi daya yang diakibatkan oleh tahanan kontak PMT.

Tabel 2 Hasil Pengujian Tahanan Kontak PMT Bay Line Surabaya Selatan 1.

Fasa	Titik Ukur	Injekt (A)	Standart	Hasil ($\mu\Omega$)
R	Kontak Utama (Terminal Atas – Terminal Bawah)	100 A	$R \leq 50 \mu\Omega / 120 \% \text{ FAT}$	31,91

S				34,71
T				35,89

Menurut data, titik pengujian tahanan kontak PMT dilakukan pada terminal utama, atau terminal atas-terminal bawah. Setelah hasil uji tahanan kontak PMT diketahui, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai rugi daya PMT.

1. Rugi daya fasa R PMT Bay Line Surabaya Selatan 1

$$P_{\text{loss}} = I^2 \times R$$

$$= (100 \text{ A})^2 \times (34,71 \times 10^{-6} \Omega)$$

$$P_{\text{loss}} = I^2 \times R$$

$$= (100 \text{ A})^2 \times (31,91 \times 10^{-6} \Omega)$$

$$= 0,3191 \text{ Watt}$$

$$= 0,3471 \text{ Watt}$$

3. Rugi daya fasa T PMT Bay Line Surabaya Selatan 1

$$P_{\text{loss}} = I^2 \times R$$

$$= (100 \text{ A})^2 \times (35,89 \times 10^{-6} \Omega)$$

$$= 0,3589 \text{ Watt}$$

Setelah melakukan analisis data hasil perhitungan rugi-rugi daya PMT Bay Line Surabaya Selatan 1, dapat disimpulkan bahwa, berdasarkan tahanan kontakannya, PMT Bay Line Surabaya Selatan 1 masih layak beroperasi. Kesimpulan ini didasarkan pada hasil uji tahanan kontak PMT Bay Line Surabaya Selatan 1, yang sesuai dengan standar yang digunakan, yaitu $\leq 50 \mu\Omega$. Data perhitungan rugi-rugi daya juga menunjukkan bahwa semakin

4.4 Pengujian Keserempakan Kontak

Pengujian keserempakan kontak pada pemutus tenaga (PMT) dilakukan untuk mengevaluasi kinerja pemutus tenaga dan mengidentifikasi keserempakan yang terjadi pada saat pembukaan dan penutupan PMT. Penting untuk mengetahui apakah pemutus tenaga dapat secara simultan membuka dan menutup pada setiap fasa R, S, T. Ketidaksiharian dalam proses ini dapat menyebabkan anomali dalam distribusi tenaga listrik dan mengakibatkan sistem proteksi tidak berfungsi sesuai yang diharapkan.

Dalam situasi trip PMT akibat anomali, diharapkan pemutus tenaga dapat beroperasi dengan cepat, sehingga waktu klarifikasi sesuai dengan standar yang berlaku.

Pengujian keserempakan PMT menggunakan CB Analyzer CT – 6500, yang memungkinkan pengukuran perbedaan waktu antara fasa R, S, dan T saat pembukaan dan penutupan PMT. Nilai yang dihasilkan dari pengujian keserempakan kontak adalah Δt , yang mencerminkan selisih waktu tertinggi dan terendah antara fasa R, S, T pada saat pemutus tenaga membuka dan menutup.

Tabel 3 Hasil Pengujian Keserempakan Kontak PMT Bay Line Surabaya Selatan 1.

Pengukuran	Standart	Hasil Pengukuran (ms)		
		R - S	S - T	T - R
Open	$\Delta t < 10$ ms (Kepdir 0520)	35,70	38,00	38,60
Close		94,40	100,80	95,85

Dari data tersebut dapat diketahui bahwa pengujian keserempakan kontak PMT dilakukan pada saat kondisi *open* dan *close*. Setelah hasil uji tahanan kontak PMT telah ditemukan, maka langkah selanjutnya adalah delta time (Δt).

1. PMT Bay Line Surabaya Selatan 1 dalam kondisi *open*

$$\Delta t \text{ (ms)} = 38,60 \text{ ms} - 35,70 \text{ ms} = 2,9 \text{ ms}$$

2. PMT Bay Line Surabaya Selatan 1 dalam kondisi *close*

$$\Delta t \text{ (ms)} = 100,80 \text{ ms} - 94,40 \text{ ms} = 6,4 \text{ ms}$$

Dari data hasil perhitungan delta time (Δt) PMT Bay Line Surabaya Selatan 1 didapatkan besar Δt open = 2,9 ms dan Δt close = 6,4 ms.

Berdasarkan data perhitungan delta time, dapat disimpulkan bahwa keserempakan kontak PMT Bay Line Surabaya Selatan 1 masih layak beroperasi karena nilai perhitungan delta time (Δt) menghasilkan nilai kondisi open = 2,9 ms dan close = 6,4 ms. Oleh karena itu, keserempakan kontak PMT Bay Line Surabaya Selatan 1 sesuai dengan standar, yaitu Δt kurang dari 10 ms.

5. PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Setelah melakukan analisis hasil uji tekanan gas SF₆, tahanan isolasi, tahanan kontak, dan keserempakan kontak pemutus tenaga (PMT) di Bay Line Surabaya Selatan 1 di Gardu Induk 150 KV Rungkut, dapat disimpulkan bahwa:

1. Nilai tekanan gas SF₆ selama pengujian melebihi tekanan yang tertera pada nameplate PMT Bay Line Surabaya Selatan 1. Melalui perhitungan pengujian gas SF₆, diperoleh tekanan gas SF₆ sebesar 747,9 kPa. Dari hasil perhitungan tersebut, dapat disimpulkan bahwa tekanan gas SF₆ dalam keadaan normal dan memenuhi syarat untuk dioperasikan, sebab nilai pengujian berada di atas batas tekanan

yang spesifik pada perangkat PMT, yakni sebesar 600 kPa. Analisis pengujian gas SF₆ pada PMT Bay Line Surabaya Selatan 1, yang mencakup dew point, moisture content, purity, dan SO₂ + SOF₂, menunjukkan bahwa gas SF₆ di PMT tersebut dalam kondisi normal dan dapat terus digunakan.

2. Nilai tahanan isolasi minimal untuk 150 kV adalah 150 M Ω . Dari hasil pengujian tahanan isolasi pada PMT Bay Line Surabaya Selatan 1, dapat disimpulkan bahwa PMT tersebut masih memenuhi syarat untuk dioperasikan berdasarkan nilai tahanan isolasi yang sesuai dengan standar, yakni lebih dari 150 M Ω . Selain itu, hasil perhitungan arus bocor menunjukkan bahwa PMT Bay Line Surabaya Selatan 1 masih berada dalam kondisi normal, dengan nilai arus bocor yang memenuhi standar, yaitu 1 kV = 1 mA.
3. Pengujian tahanan kontak PMT Bay Line Surabaya Selatan 1 menunjukkan bahwa nilai tahanan kontak pada terminal utama, yaitu terminal atas – terminal bawah, berada di bawah atau sama dengan 50 $\mu\Omega$. Artinya, tahanan kontak pada PMT Bay Line Surabaya Selatan 1 dalam kondisi baik dan layak untuk dioperasikan. Selain itu, hasil perhitungan rugi daya menunjukkan bahwa PMT Bay Line Surabaya Selatan 1 masih memenuhi syarat untuk dioperasikan, dengan nilai perhitungan rugi daya yang baik, sesuai dengan standar yang ditetapkan, yaitu kurang dari atau sama dengan 50 $\mu\Omega$. Dari hasil perhitungan rugi daya, dapat disimpulkan bahwa semakin kecil nilai tahanan kontak, semakin kecil pula rugi daya yang dihasilkan oleh tahanan kontak.
4. Hasil analisis perhitungan delta time PMT Bay Line Surabaya Selatan 1 menunjukkan bahwa berdasarkan keserempakan kontak, PMT tersebut masih memenuhi syarat untuk dioperasikan. Nilai perhitungan delta time (Δt) menunjukkan kondisi open sebesar 2,9 ms dan close sebesar 6,4 ms. Dengan demikian, keserempakan kontak PMT Bay Line Surabaya Selatan 1, berdasarkan perhitungan delta time, sesuai dengan standar, yaitu Δt kurang dari 10 ms.

5.2 SARAN

1. konsleting. Meskipun demikian, kesalahan dalam penggunaan pemutus tenaga dapat mengakibatkan kegagalan dalam menjalankan fungsi perlindungan. Oleh karena itu, perlunya dilakukan pemeriksaan dan pengujian secara berkala terhadap peralatan pemutus tenaga guna memastikan kinerjanya yang handal dan efisien dalam menjaga stabilitas dan keamanan sistem tenaga listrik.

2. Dalam proses perawatan dan pengujian peralatan pemutus tenaga, langkah-langkah yang telah ditetapkan perlu diikuti dengan cermat, dan tidak boleh mengesampingkan prosedur keselamatan kerja. Keberhasilan dalam menjalankan proses ini sangat tergantung pada kepatuhan terhadap pedoman yang telah ditetapkan.
3. Untuk memperoleh nilai uji yang akurat, tahapan pembersihan peralatan, terutama pada klem dan isolator, menjadi langkah krusial. Pembersihan tersebut sebaiknya dilakukan dengan menggunakan peralatan pembersih yang telah ditetapkan secara spesifik. Hal ini dilakukan untuk mencegah kemungkinan kerusakan pada klem dan isolator pada peralatan pemutus tenaga yang dapat memengaruhi hasil pengujian.

Dalam keseluruhan proses, penting untuk selalu mengutamakan standar keselamatan dan kepatuhan terhadap prosedur yang telah ditetapkan guna menjaga integritas dan performa peralatan pemutus tenaga

INDUK SINGKAWANG,” 2021.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. N. Afandi, “OPERASI SISTEM TENAGA LISTRIK Berbasis EDSA,” Yogyakarta, GAVA MEDIA, 2010, p. 32.
- [2] D. Marsudi, “Operasi Sistem Tenaga Listrik,” Yogyakarta, GRAHA ILMU, 2006, p. 403.
- [3] R. S. Sugiarto, “PENGANTIAN PMT BAY TRAFU I DI GARDU INDUK SUKOLILO,” Surabaya, Politeknik Negeri Malang, 2020, p. 8.
- [4] Nur'alim, I. Saleh, R. A. Duyo dan H. Nirwana, “ANALISIS BESARNYA ARUS SUB PADA GENERATOR JIKA TERJADI HUBUNGAN SINGKAT PADA SISI TEGANGAN TINGGI TRAFU,” vol. 15, p. 83, 2023.
- [5] M. Arham dan M. Isram, “ANALISA KELAYAKAN PMT150 KV DI GARDU INDUK BULUKUMBA,” Makasar, Universitas Muhammadiyah Makasar, 2017.
- [6] A. Goeritno, S. Rasiman dan Z. Komara, “Kinerja Pemutus Tenaga Tegangan Tinggi Bermedia Gas SF₆ Berdasarkan Sejumlah Parameter Diri,” vol. 12, 2018.
- [7] A. Susanto, R. Kurnianto dan M. Rajagukguk, “ANALISA KELAYAKAN PEMUTUS TENAGA (PMT) 150 KV BERDASARKAN HASIL UJI TAHANAN ISOLASI, TAHANAN KONTAK, DAN KESEREMPAKAN KONTAK DI GARDU