

## ANALISIS UJI KINERJA PEMUTUS TENAGA (PMT) 150 KV PADA GARDU INDUK SANGGRAHAN

Faruq Ratuhaji<sup>1\*</sup>, Nur Asmi Rahmawati<sup>2</sup>, Hermansyah<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Listrik dan Instalasi  
Akademi Komunitas Industri Manufaktur Bantaeng

### ABSTRACT

Pemutus Tenaga (PMT) merupakan komponen vital dalam menjaga keandalan sistem transmisi 150 kV, sehingga diperlukan evaluasi kinerja secara berkala. Penelitian ini bertujuan untuk menilai kelayakan operasi PMT 150 kV di Gardu Induk Sanggrahan berdasarkan parameter tahanan isolasi, tahanan kontak, dan keserempakan operasi. Metode yang digunakan adalah penelitian *eksperimental deskriptif* berbasis pengujian lapangan dan analisis kuantitatif. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai tahanan isolasi seluruh fasa berada jauh di atas batas minimum  $0,015 \text{ G}\Omega$  dengan arus bocor pada kisaran  $0,009\text{--}0,023 \text{ mA}$ . Nilai tahanan kontak berada pada rentang  $40,4\text{--}43,4 \mu\Omega$ , lebih rendah dari batas maksimum  $50 \mu\Omega$ , sedangkan selisih waktu keserempakan operasi open dan close masing-masing sebesar  $0,45 \text{ ms}$  dan  $0,35 \text{ ms}$ , jauh di bawah batas toleransi  $10 \text{ ms}$ . Berdasarkan hasil tersebut, PMT 150 kV di Gardu Induk Sanggrahan dinyatakan dalam kondisi layak operasi dan mendukung peningkatan keandalan sistem transmisi.

**Kata Kunci:** Pemutus Tenaga, tahanan isolasi, tahanan kontak, keserempakan kontak, gardu induk

### ABSTRACT

*The Circuit Breaker (PMT) is a vital component in maintaining the reliability of the 150 kV transmission system; therefore, periodic performance evaluation is required. This study aims to assess the operational feasibility of the 150 kV CB at the Sanggrahan Substation based on the parameters of insulation resistance, contact resistance, and operation simultaneity. The method used is an experimental-descriptive study based on field testing and quantitative analysis. The test results show that the insulation resistance value of all phases is far above the minimum limit of  $0.015 \text{ G}\Omega$  with a leakage current in the range of  $0.009\text{--}0.023 \text{ mA}$ . The contact resistance value is in the range of  $40.4\text{--}43.4 \mu\Omega$ , lower than the maximum limit of  $50 \mu\Omega$ , while the difference in the time of the operation simultaneity of open and close is  $0.45 \text{ ms}$  and  $0.35 \text{ ms}$ , respectively, far below the tolerance limit of  $10 \text{ ms}$ . Based on these results, the 150 kV CB at the Sanggrahan Substation is declared in a condition of operational feasibility, which supports the improvement of the transmission system's reliability*

**Keywords:** *Circuit Breaker; Insulation Resistance; Contact Resistance; Operation Synchronism, Substation*

### 1. PENDAHULUAN

Pemutus Tenaga (PMT) adalah salah satu peralatan utama pada gardu induk yang berperan untuk memutuskan dan menghubungkan rangkaian listrik bertegangan tinggi [1]. Fungsi utama PMT adalah untuk melindungi peralatan lain dan sistem dari kerusakan yang disebabkan oleh gangguan seperti hubung singkat, lonjakan tegangan, atau arus berlebih [2] [3]. Sangat penting untuk merawat dan memelihara PMT secara teratur karena kerusakan peralatan di gardu induk dapat mengganggu distribusi dan penyaluran listrik [4]. Dalam pengoperasian gardu induk 150 kV, PMT berperan penting dalam menjaga keandalan dan kontinuitas pasokan listrik. Oleh karena itu, untuk memastikan bahwa PMT memenuhi standar keandalan yang telah ditetapkan, maka pemeliharaan dan pengujian rutin diperlukan. Uji kelayakan dan pemeliharaan

rutin sangat penting untuk memastikan PMT bekerja sesuai dengan fungsinya. Tiga parameter uji yang sering dilakukan pada PMT adalah uji tahanan isolasi, uji tahanan kontak, dan uji keserempakan [5]. Masing-masing parameter tersebut berfungsi untuk mengevaluasi beberapa aspek teknis dan operasional.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hasil pengujian tahanan isolasi, tahanan kontak, serta tingkat keserempakan pada PMT 150 kV di Gardu Induk Sanggrahan. Melalui proses analisis tersebut, diharapkan dapat diidentifikasi kondisi kinerja PMT secara komprehensif dan memberikan rekomendasi teknis untuk meningkatkan keandalan operasionalnya. Hasil analisis ini juga dapat menjadi acuan dalam pengambilan keputusan terkait pemeliharaan preventif maupun korektif di masa mendatang

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Pemutus Tenaga (PMT)

Pada kondisi normal, dimungkinkan PMT dapat beroperasi dalam memutus dan menyambungkan beban listrik secara aman. Namun saat kondisi gangguan, seperti hubung singkat pada sistem transmisi di GI, PMT bertugas dengan cepat memutuskan arus listrik (*open*) guna melindungi peralatan lain dan sistem dari kerusakan yang lebih parah [6]. Prinsip kerja PMT dalam memutus arus menggunakan media isolasi untuk memadamkan busur listrik yang timbul saat proses pemutusan. Media isolasi yang digunakan bervariasi, seperti udara (*air circuit breaker*), minyak (*oil circuit breaker*), gas SF<sub>6</sub> (*SF<sub>6</sub> circuit breaker*) atau vakum (*vacum circuit breaker*). Pemilihan jenis PMT didasarkan pada kebutuhan teknis, kapasitas arus yang dilayani, serta tingkat keandalan yang diinginkan.



**Gambar 1.** Pemutus Tenaga (PMT) pada Gardu Induk Sanggrahan

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1, PMT yang menjadi objek penelitian merupakan tipe pemutus tenaga yang terpasang pada bay transmisi dan berfungsi sebagai pengaman utama terhadap gangguan arus lebih dan hubung singkat.

Pada gardu induk PMT memiliki peran strategis dalam memastikan kontinuitas dan stabilitas penyaluran listrik. PMT biasanya dipasang di sisi primer maupun sekunder transformator tenaga untuk melindungi perangkat seperti transformator, peralatan switching, dan saluran transmisi. Ketika gangguan terjadi, PMT akan bekerja sama dengan relai proteksi untuk mendeteksi dan memutuskan arus dalam waktu singkat, sehingga mencegah meluasnya kerusakan ke jaringan yang lebih luas.

#### B. Pengujian Tahanan Isolasi

Proses Pengujian tahanan isolasi yang ditunjukkan pada gambar 2 merupakan salah satu prosedur penting dalam memastikan kinerja dan keandalan PMT di gardu induk. Pengujian ini bertujuan untuk menghitung berapa besar arus bocor (*leakage current*) yang terjadi pada komponen internal PMT, seperti kontak, busbar, dan mekanisme penggerak [7]. Alat yang digunakan untuk mengukur tahanan isolasi adalah *Megaohmmeter* yang bekerja dengan menerapkan tegangan DC tertentu pada PMT dan mengukur arus bocor yang timbul.



**Gambar 2.** Pengujian tahanan isolasi pada PMT

Nilai tahanan isolasi dinyatakan dalam satuan Megaohm ( $M\Omega$ ) atau Gigaohm ( $G\Omega$ ), dimana nilai tahanan isolasi yang tinggi menunjukkan kondisi isolasi yang baik namun sebaliknya jika nilai tahanan isolasi yang rendah dapat mengindikasikan adanya kebocoran arus, panas berlebih atau bahkan kegagalan isolasi total yang berpotensi mengakibatkan gangguan. Nilai ambang batas tahanan isolasi pada suhu operasi menurut standar VDE (catalogue 228/4) dan buku pemeliharaan SE.032/PST/1985 adalah  $1 \text{ M}\Omega/1 \text{ kV}$  dengan

arus bocor yang dizinkan setiap 1 kV sebesar 1 mA [8]. Jika nilai tahanan isolasi berada di bawah ambang batas maka diperlukan tindakan *preventif*, seperti pembersihan atau penggantian material isolasi.

### C. Pengujian Tahanan Kontak

Pengujian tahanan kontak merupakan pengujian untuk menilai kondisi fisik dan kinerja mekanis kontak listrik pada PMT. Kontak listrik pada PMT berfungsi sebagai media penghantar utama yang menghubungkan dan memutuskan aliran arus listrik pada sistem. Dalam operasinya, kontak ini harus memiliki nilai tahanan yang sangat rendah untuk meminimalkan rugi daya, panas berlebih, dan degradasi material. Nilai tahanan kontak yang meningkat dapat menjadi indikator adanya korosi, aus, atau penumpukan kotoran pada permukaan kontak, yang dapat mengurangi efisiensi dan keandalan operasi PMT. Pengujian tahanan kontak sebagaimana terlihat pada gambar 3 dilakukan dengan mengukur resistansi listrik pada sambungan kontak menggunakan metode *low-resistance ohmmeter* atau alat ukur tahanan mikro (*micro-ohmmeter*) [9]. Alat ini bekerja dengan menginjeksikan arus DC kecil, biasanya dalam rentang 10–100 A, dan mengukur tegangan jatuh pada sambungan kontak. Nilai tahanan dihitung menggunakan Hukum Ohm ( $R = V/I$ ), di mana nilai yang lebih rendah menunjukkan kondisi kontak yang baik [10]. Berdasarkan standar IEC60694, batasan nilai tahan kontak PMT adalah  $R \leq 50 \mu\Omega/120\%$  nilai FAT. Hasil pengujian tahanan kontak memberikan informasi penting untuk menentukan kondisi PMT. Jika nilai tahanan melebihi ambang batas, tindakan korektif seperti pembersihan, perbaikan mekanis, atau penggantian kontak harus dilakukan.



**Gambar 3.** Pengujian Tahanan Kontak pada PMT

### D. Pengujian Keserempakan

Pengujian keserempakan yang diperlihatkan pada gambar 4 bertujuan untuk memastikan bahwa semua kontak PMT, baik kontak fasa-fasa maupun kontak dalam satu

fasa, bekerja secara serempak saat melakukan proses pembukaan (*opening*) dan penutupan (*closing*). Keserempakan ini sangat penting dalam menjaga kestabilan sistem tenaga listrik, mencegah gangguan harmonik, serta meminimalkan efek transien yang dapat merusak peralatan lain dalam jaringan. Jika PMT tidak serempak, maka dapat menjadi suatu gangguan pada sistem tenaga listrik dan menyebabkan sistem proteksi bekerja [11]. Kontak PMT pada saat membuka memiliki waktu kerja lebih cepat daripada saat menutup. Berdasarkan standar SPLN No. 52-1-1984 waktu maksimum membuka dan menutup kontak PMT untuk sistem 150 kV adalah selama 120 *milisecond*. Selanjutnya untuk mengetahui nilai keserempakan kontak pada PMT dapat dihitung dengan membandingkan selisih tertinggi dan nilai terendah pada waktu kerjanya, lamanya selisih waktu operasi dapat menyebabkan lonjakan arus dan tegangan pada fasa lain. Kondisi ini berpotensi menimbulkan kerusakan pada peralatan yang terhubung dengan PMT. Adapun standar selisih waktu yang dizinkan adalah  $\Delta t \leq 10$  *milisecond* [2]. Jika nilai tidak memenuhi standar yang diizinkan, maka perlu dilaksanakan perbaikan dengan melakukan beberapa pemeriksaan, seperti pemeriksaan tegangan kerja, koil, kontak auxiliary atau kontak, penggantian bagian mekanik yang rusak, pemeriksaan roda penggerak, dan perbaikan mekanik penggerak [5]. Pemeliharaan rutin dengan pengujian keserempakan kontak PMT sangat penting agar PMT dapat bekerja secara serempak dan dalam waktu yang cepat. Ini memastikan bahwa kerusakan peralatan yang disebabkan oleh ketidakserempakan PMT saat menutup atau membuka (*close*) dan membuka (*open*) dapat diminimalkan [2].



Gambar 4. Pengujian Keserempakan PMT

### 3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental deskriptif berbasis pengujian lapangan dan analisis kuantitatif untuk mengevaluasi kinerja Pemutus Tenaga (PMT) 150 kV di Gardu Induk Sanggrahan. Pendekatan eksperimental dilakukan melalui pengujian langsung terhadap PMT dengan menggunakan instrumen uji yang sesuai. Pendekatan deskriptif kuantitatif digunakan untuk menggambarkan kondisi aktual kinerja PMT berdasarkan data hasil pengukuran. Objek penelitian adalah PMT 150 kV, dengan parameter pengujian meliputi tahanan isolasi, tahanan kontak, dan keserempakan waktu operasi kontak (*open* dan *close*).

Observasi teknis dan wawancara terbatas dengan petugas pemeliharaan dilakukan sebagai data pendukung untuk memastikan kesesuaian prosedur pengujian. Analisis data dilakukan secara deskriptif kuantitatif dengan menyajikan hasil pengukuran dalam bentuk tabel, membandingkannya dengan standar teknis yang berlaku, serta melakukan perhitungan parameter pendukung seperti arus bocor. Hasil analisis digunakan untuk menilai tingkat kelayakan operasi PMT.

#### A. Alat Ukur dan Teknik Pengujian

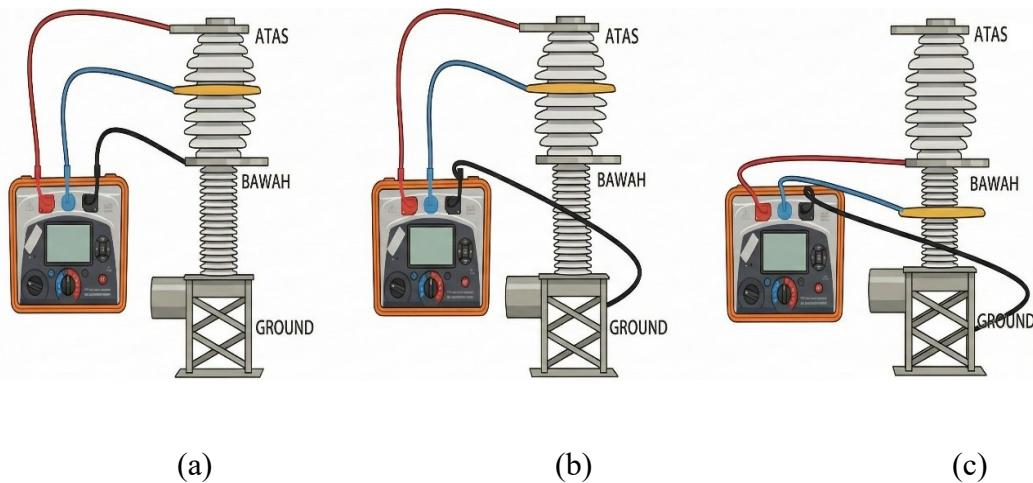
##### 1. Pengujian Tahanan Isolasi

Pengujian tahanan isolasi pada penelitian ini dilakukan menggunakan instrumen insulation resistance tester merk SONEL MIC-5001 ditunjukkan pada gambar 5, mampu menghasilkan tegangan uji DC hingga 5 kV dengan rentang pengukuran tahanan 0,01 MΩ sampai 15 TΩ dan akurasi  $\pm 5\% + 2$  digit [12].



**Gambar 5.** Sonel MIC 5001-5kV[12]

Secara teknis, pengukuran dilakukan pada tiga konfigurasi, yaitu atas-ground, atas-bawah, dan bawah-ground seperti pada gambar 6 yang bertujuan untuk memperoleh gambaran menyeluruh mengenai kondisi isolasi internal PMT, termasuk isolasi antar kontak dan isolasi terhadap tanah. Teknik ini memungkinkan identifikasi dini terhadap degradasi isolasi akibat kelembaban, kontaminasi, atau penuaan material.



**Gambar 6.** Konfigurasi pengujian tahanan isolasi PMT: (a) terminal atas – bawah (b) terminal atas – Ground (c) terminal atas – Ground

## 2. Pengujian Tahanan Kontak

Pengujian tahanan kontak pada penelitian ini dilakukan menggunakan *microohmmeter tipe RMO Series* ditunjukkan pada gambar 7, bekerja dengan metode injeksi arus DC tinggi hingga 100 A. Alat ini memiliki rentang pengukuran  $0,1 \mu\Omega$  hingga  $20 m\Omega$  dengan resolusi  $0,01 \mu\Omega$  dan akurasi  $\pm 0,5\%$ . Prinsip pengukurannya dilakukan dengan menginjeksikan arus DC sebesar 100 A ke jalur kontak PMT yang berada pada kondisi *close* (ON), kemudian mengukur tegangan jatuh (voltage drop) yang terjadi pada kontak tersebut. Nilai tahanan dihitung secara otomatis berdasarkan hukum Ohm ( $R = V/I$ ), di mana nilai yang lebih rendah menunjukkan kondisi kontak yang baik [10].



**Gambar 7.** Microohm-meter RMO Series[13]

## 3. Pengujian Keserempakan

Pengujian keserempakan PMT dilakukan menggunakan *Digital Circuit Breaker Analyzer* CT-6500 yang ditunjukkan pada gambar 8, yaitu instrumen digital yang

dirancang untuk menganalisis karakteristik waktu operasi PMT dengan resolusi hingga 0,01 ms dan akurasi  $\pm 0,1$  ms ketika *Open* (terbuka), *Close* (tertutup), *Open–Close* (*O–C Reclose*), *Close–Open* (*C–O*), dan *Open–Close–Open* (*O–C–O*)[14].



**Gambar 8.** *Digital Circuit Breaker Analyzer CT-6500 Series 2[14]*

Teknik pengujian dilakukan dengan menghubungkan terminal pengukuran alat ke kontak utama PMT pada masing-masing fasa, serta menghubungkan kanal kontrol ke sistem penggerak PMT. *Digital Circuit Breaker Analyzer* kemudian memicu operasi open atau close dan merekam respons waktu kontak menggunakan sensor tegangan dan arus internal berkecepatan tinggi.

## B. Langkah Kerja Pengujian

### 1. Pengujian Tahanan Isolasi

Berikut langkah kerja dalam pengukuran tahanan isolasi pada PMT[8]:

- a. Melakukan pemasangan local grounding pada PMT sebagai langkah pengamanan sebelum pelaksanaan pengujian.
- b. Melaksanakan pengukuran tahanan isolasi antara terminal atas PMT terhadap ground.
- c. Melaksanakan pengukuran tahanan isolasi antara terminal bawah PMT terhadap ground.
- d. Melaksanakan pengukuran tahanan isolasi antara terminal atas dan terminal bawah PMT.

### 2. Pengujian Tahanan Kontak

Prosedur pengujian tahanan kontak pada PMT dilakukan sebagai berikut[15]:

- a. Melakukan grounding pada pemutus tenaga (PMT) yang akan diuji sebagai tindakan awal keselamatan kerja.
- b. Menghubungkan kabel uji berwarna merah (+) ke terminal bagian atas PMT.
- c. Menghubungkan kabel uji berwarna hitam (-) ke terminal bagian bawah PMT.

- d. Mengatur instrumen ukur pada mode inject current dengan arus pengujian sebesar 100 A.
  - e. Melaksanakan proses pengukuran dan mencatat nilai tahanan kontak yang ditampilkan oleh alat ukur.
3. Pengujian Keserempakan
- Prosedur pelaksanaan pengujian keserempakan adalah sebagai berikut[16]:
- a. Memastikan PMT dalam kondisi *close* dan telah terpasang *local grounding* pada kedua sisi PMT untuk menghindari induksi tegangan selama penyiapan rangkaian pengujian.
  - b. Menyiapkan alat uji **Circuit Breaker Analyzer** dan memastikan perangkat memiliki baterai internal yang memadai, atau menghubungkannya ke sumber daya 220 V.
  - c. Menghubungkan terminal keluaran alat uji ke kontak fasa R, S, dan T pada **pole/chamber** bagian atas dan bawah PMT sesuai konfigurasi pengujian.
  - d. Menyambungkan konektor kontrol (4 pin/kabel) dari alat uji ke terminal operasi PMT pada **control box** maupun **control relay panel**.
  - e. Menghubungkan **Circuit Breaker Analyzer** ke sumber tegangan yang sesuai (220 VAC), kemudian memastikan saklar **Power On/Off** berada pada posisi *Off* sebelum alat diaktifkan.
  - f. Mengaktifkan alat uji dan menempatkan saklar **Power On/Off** pada posisi *On*.
  - g. Memasukkan parameter PMT yang akan diuji melalui **keypad** dan memastikan konfigurasi tampil pada **display monitor** alat uji.
  - h. Menjalankan mode pengujian keserempakan pada **Circuit Breaker Analyzer** dengan mengikuti instruksi pada layar alat ukur.
  - i. Mengatur kondisi PMT sesuai mode pengujian, yaitu *open* untuk pengujian *close time* dan sebaliknya untuk pengujian *open time*. Kondisi tersebut diamati melalui indikator pada panel kontrol PMT (indikator “0” menunjukkan *open* dan “1” menunjukkan *close*).
  - j. Menekan tombol **Start** sehingga PMT melakukan operasi *open/close*, dan *analyzer* akan merekam keserempakan waktu operasi kontak PMT untuk masing-masing fasa.
  - k. Mencatat hasil pengujian yang ditampilkan oleh perangkat dan mendokumentasikannya untuk analisis lebih lanjut.

#### **4. BATASAN MASALAH**

Penelitian ini terbatas pada satu unit Pemutus Tenaga (PMT) 150 kV yang beroperasi di Gardu Induk Sanggrahan, sehingga hasil yang diperoleh merepresentasikan kondisi spesifik peralatan tersebut pada saat pengujian dilakukan. Selain itu, penelitian ini tidak mencakup variasi waktu pengujian, kondisi cuaca, maupun variasi pembebanan sistem, serta belum mengkaji pengaruh degradasi kinerja PMT dalam jangka panjang akibat faktor penuaan dan siklus operasi berulang.

#### **5. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pengujian kinerja Pemutus Tenaga (PMT) 150 kV pada Gardu Induk Sanggrahan dilakukan melalui tiga pengujian utama, yaitu pengujian tahanan isolasi, tahanan kontak, dan keserempakan operasi kontak. Ketiga parameter tersebut dipilih karena menjadi indikator fundamental yang menggambarkan kesehatan isolasi, kualitas hantaran mekanis, serta kecepatan respons switching PMT dalam sistem transmisi bertegangan tinggi.

##### **A. Hasil dan Analisis Pengujian Tahanan Isolasi**

Pengukuran tahanan isolasi dilakukan dengan menginjeksikan tegangan input sebesar 5 kV pada tiga fasa (R, S, dan T) dengan tiga konfigurasi pembacaan yaitu: AG (Atas-Ground); AB (Atas-Bawah); BG (Bawah-Ground). Data hasil pengukuran ditampilkan pada tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil Pengujian Tahanan Isolasi

<b>Fasa</b>	<b>Atas – Ground</b> <b>(GΩ)</b>	<b>Atas – Bawah</b> <b>(GΩ)</b>	<b>Bawah – Ground</b> <b>(GΩ)</b>
R	OL	340	421
S	450	212	220
T	520	371	330

Berdasarkan standar VDE (*Catalogue 228/4*) dan buku pemeliharaan SE.032/PST/1985, batas minimum tahanan isolasi peralatan adalah  $1 \text{ M}\Omega$  per 1 kV. Dengan demikian, untuk PMT pada Gardu Induk Sanggrahan yang beroperasi pada tegangan 150 kV, nilai minimum tahanan isolasi yang dipersyaratkan adalah sebesar  $0,015 \text{ G}\Omega$ . Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh nilai tahanan isolasi berada pada kisaran yang sangat tinggi dan stabil, jauh di atas batas minimum standar tersebut. Kondisi ini

mengindikasikan bahwa sistem isolasi masih berfungsi optimal. Nilai tahanan isolasi terendah tercatat pada titik ukur atas–bawah fasa S sebesar  $212\text{ G}\Omega$ .

Selain mengacu pada nilai tahanan isolasi, evaluasi kelayakan isolasi PMT juga dapat diperkuat dengan menganalisis besarnya arus bocor (*leakage current*) yang mengalir pada kondisi tegangan kerja. Berdasarkan persamaan dasar,  $I = \frac{V}{R}$  dengan tegangan nominal sistem sebesar 150 kV, diperoleh bahwa seluruh titik ukur menghasilkan arus bocor.

### 1. Perhitungan arus bocor pada titik ukur Atas-Ground

Fasa R: Nilai tahanan isolasi menunjukkan OL, artinya isolasi sangat baik dan tidak terdeteksi kebocoran arus.

$$\text{Fasa S: } I = \frac{5000}{450.000} = 0,011\text{ mA}$$

$$\text{Fasa T: } I = \frac{5000}{520.000} = 0,009\text{ mA}$$

### 2. Perhitungan arus bocor pada titik ukur Atas – Bawah

$$\text{Fasa R: } I = \frac{5000}{340.000} = 0,014\text{ mA}$$

$$\text{Fasa S: } I = \frac{5000}{212.000} = 0,023\text{ mA}$$

$$\text{Fasa T: } I = \frac{5000}{371.000} = 0,013\text{ mA}$$

### 3. Perhitungan arus bocor pada titik Bawah – Ground

$$\text{Fasa R: } I = \frac{5000}{421.000} = 0,011\text{ mA}$$

$$\text{Fasa S: } I = \frac{5000}{220.000} = 0,022\text{ mA}$$

$$\text{Fasa T: } I = \frac{5000}{330.000} = 0,015\text{ mA}$$

Secara keseluruhan, hasil perhitungan arus bocor pada seluruh titik ukur menunjukkan nilai pada kisaran 0.009 - 0.023 mA. Arus bocor yang sangat kecil ini memperkuat hasil pengujian tahanan isolasi sebelumnya, yang menunjukkan bahwa sistem isolasi PMT masih berada dalam kondisi sangat baik, stabil, dan bebas dari indikasi kerusakan, baik yang disebabkan oleh tracking, kontaminasi, maupun kelembaban. Dengan demikian, PMT dinyatakan aman untuk terus dioperasikan dan tidak memerlukan tindakan perbaikan atau peremajaan isolasi dalam waktu dekat.

## B. Hasil dan Analisis Pengujian Tahanan Kontak

Uji tahanan kontak PMT di Gardu Induk Sanggrahan dilakukan pada setiap fasa (R, S, T), dengan hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 2.

**Tabel 2.** Pengujian Tahanan Kontak PMT GI Sanggrahan

<b>Titik Ukur</b>	<b>Arus Injeksi</b>	<b>Hasil Pengukuran (<math>\mu\Omega</math>)</b>		
		<b>Fasa R</b>	<b>Fasa S</b>	<b>Fasa T</b>
Atas – Bawah (PMT ON)	100 A	43.4	43.2	40.4

Berdasarkan hasil pengukuran pada Tabel 2, nilai tahanan kontak untuk ketiga fasa PMT 150 kV di GI Sanggrahan berada pada rentang 40,4 - 43,4  $\mu\Omega$  dengan arus injeksi sebesar 100 A, yang masih jauh di bawah batas maksimum, yaitu  $\leq 50 \mu\Omega$ . Nilai ini sebanding dengan hasil penelitian [17] [18] [19] [20]. Nilai tahanan kontak yang rendah menunjukkan bahwa sambungan pengantar PMT masih berada dalam kondisi baik dengan tekanan kontak yang memadai, sehingga rugi-rugi daya dapat diminimalkan. Kondisi ini mengindikasikan tidak adanya potensi pemanasan lokal (*hotspot*), sehingga PMT dinyatakan aman dan layak beroperasi tanpa memerlukan pemeliharaan korektif dalam waktu dekat.

Sementara itu, penelitian [21] pada PMT 150 kV bay Cigereleng I di Gardu Induk Bandung Selatan menunjukkan nilai tahanan kontak yang lebih tinggi, yaitu 88  $\mu\Omega$ , 74  $\mu\Omega$ , dan 86  $\mu\Omega$ . Kondisi tersebut diindikasikan dipengaruhi oleh penurunan kualitas media peredam busur api (gas SF<sub>6</sub>) serta usia peralatan yang telah melampaui batas kerja, yakni sekitar 22 tahun.

### C. Hasil dan Analisis Pengujian Keserempakan (*Synchronizing Test*)

Hasil pengujian keserempakan pada PMT Gardu Induk Sanggrahan dapat dilihat pada tabel 3.

**Tabel 3.** Pengujian Keserempakan PMT GI Sanggrahan

Jenis Operasi	Fasa R (ms)	Fasa S (ms)	Fasa T (ms)	Selisih Waktu $\Delta t$ (ms)
<i>Open</i>	22.8	23.15	23.25	0,45
<i>Close</i>	34.65	35.40	35.75	0,35

Hasil pengujian keserempakan pada Tabel 3 menunjukkan bahwa operasi *open* dan *close* PMT memiliki waktu kerja antarfase yang sangat seragam. Pada operasi *open*, waktu pemutusan berada pada kisaran 22,8–23,25 ms dengan selisih antarfase ( $\Delta t$ ) hanya 0,45 ms, yang menandakan bahwa mekanisme pelepasan kontak bekerja stabil dan simultan. Demikian pula pada operasi *close*, waktu penyambungan berkisar antara 34,65–35,75 ms dengan  $\Delta t$  sebesar 0,35 ms, menunjukkan bahwa mekanisme penutupan kontak masih responsif dan seimbang. Nilai  $\Delta t$  yang sangat kecil pada kedua operasi ini berada jauh di bawah batas yang dizinkan, yakni  $\leq 10$  ms, sehingga dapat disimpulkan bahwa PMT pada Gardu Induk Sanggrahan memiliki tingkat keserempakan yang sangat baik. Hasil pengujian ini konsisten dengan penelitian [11] yang memperoleh nilai  $\Delta t$  operasi PMT 2 ms saat *open* dan 2,5 ms saat *close*, serta penelitian [22] yang juga memperoleh selisih waktu keserempakan antar fasa saat *close* sebesar 1,2 ms dan saat *open* sebesar 1,5 ms. Jika dibandingkan dengan hasil tersebut, PMT di Gardu Induk Sanggrahan menunjukkan tingkat keserempakan yang lebih baik, ditandai dengan selisih waktu antarfase yang sangat kecil. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem mekanik penggerak, serta sistem kontrol PMT masih berada dalam kondisi sangat responsif dan seimbang.

Dengan demikian, dari aspek keserempakan operasi, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa PMT berada pada level *state of practice* yang unggul, karena performa waktunya tidak hanya memenuhi standar, tetapi juga lebih baik dibandingkan sebagian besar hasil studi lapangan pada gardu induk sejenis

## 6. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian tahanan isolasi, tahanan kontak, dan keserempakan operasi pada PMT 150 kV di Gardu Induk Sanggrahan, dapat disimpulkan bahwa kinerja PMT berada dalam kondisi layak operasi dan memenuhi standar teknis yang berlaku. Nilai

tahanan isolasi yang jauh melampaui batas minimum serta arus bocor yang sangat kecil menunjukkan bahwa sistem isolasi masih bekerja optimal. Selain itu, nilai tahanan kontak yang rendah dan keserempakan operasi antarfasa yang sangat baik mengindikasikan bahwa sistem mekanis dan elektrik PMT masih berada dalam kondisi stabil dan andal.

Secara teknis, hasil penelitian ini berdampak terhadap program pemeliharaan gardu induk, khususnya dalam mendukung efektivitas *preventive maintenance* (pemeliharaan preventif) berbasis kondisi melalui pemantauan parameter tahanan isolasi, tahanan kontak, dan keserempakan operasi PMT. Parameter tahanan kontak dan keserempakan operasi terbukti dapat digunakan sebagai indikator awal untuk mendeteksi degradasi mekanis dan elektris PMT sebelum terjadi gangguan operasional. Dari perspektif sistem tenaga, kinerja PMT yang baik berkontribusi terhadap peningkatan keandalan sistem transmisi, dengan meminimalkan risiko kegagalan *switching*, ketidakseimbangan arus, serta gangguan yang mengganggu kontinuitas penyaluran daya listrik

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. E. Salam and E. Mulyana, "Analisis Uji Kelayakan PMT Pada Jaringan Tenaga Listrik 150 KV," *Jurnal Kehumasan Universitas Pendidikan Indonesia*, vol. 4, no. 2, pp. 1-9, 2021.
- [2] A. M. Fikri, H. Rudito, and U. Usman, "Analisis Pengujian Pemutus Tenaga (PMT) Bay Punagaya Dalam Pemeliharaan Dua Tahunan di Gardu Induk Tallasa," in *Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI)*, 2021, pp. 1-5.
- [3] A. D. Ingle and W. Kandlikar, "Electronic circuit breaker," *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 4, no. 07, 2017.
- [4] D. Aribowo *et al.*, "Analisis Hasil Uji PMT 150kV Pada Gardu Induk Cilegon Baru BAY KS 1," vol. 5, no. 1.1, pp. 59-65, 2019.
- [5] A. P. Alam, "Analisis Pengujian Pemutus Tenaga Bay Kedungombo 2 Dalam Pemeliharaan Dua Tahunan Di Gardu Induk Purwodadi," Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2019.
- [6] A. G. Firdaus and R. Hidayat, "Analisa Pengujian Kelayakan Operasi Pemutus Tenaga (PMT) 150 kV Bay Penghantar Mandirancan I Berdasarkan Parameter Breaker Analyzer di Gardu Induk Sunyaragi," vol. 15, no. 3, pp. 252-267, 2021.
- [7] D. A. Saputra, J. Joko, A. I. Agung, and S. I. Haryudo, "Analisis Kelayakan Pemutus Tenaga Bay Trafo 2 Berdasarkan Hasil Uji Shutdown Measurement di Gardu Induk

- 150 KV Kenjeran Surabaya," *JURNAL TEKNIK ELEKTRO*, vol. 11, no. 3, pp. 440-446, 2022.
- [8] *Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga (PMT)*. Jakarta Selatan: PT. PLN (Persero), 2014.
- [9] T. S. Novalin and R. Hidayat, "Analisis Pengujian Tahanan Kontak Disconnecting Switch atau PMS Terhadap Rugi Daya Penghantar di Gardu Induk Telukjambe," vol. 7, no. 1, pp. 119-126, 2021.
- [10] Jabar, H. A. Saiful, M. I. Nur, A. Hafid, and A. Faharuddin, "Analisis Tahanan Kontak dan Tahanan Pentanahan pada PMT 150 Kv di Ultg Panakukang," *Arus Jurnal Sains dan Teknologi (AJST)*, vol. 2, no. 2, pp. 550-563, 2024.
- [11] E. S. Rahman, M. Y. Mappeasse, and H. Hasrul, "Studi Pengujian Keserempakan Pemutus Tenaga (PMT) 150 Kv Menggunakan Breaker Analyzer Di Gardu Induk," *Jurnal Media Elektrik*, vol. 20, no. 2, pp. 119-127, 2023.
- [12] S. SA, "Sonel Measurement Instruments Catalog," (in English), pp. 1-204, 2025.
- [13] I. Power AB, "Micro-Ohmmeter RMO-C Series DV Power," pp. 1-8, 22-10-2025 2024.
- [14] Vanguard, "Operating Instructions for the CT-6500 Series 2," 2008.
- [15] E. Ariyanto and S. Agus Supardi, "Analisis Hasil Pengujian Tahanan Isolasi Dan Keserempakan Pemutus Tenaga 150 Kv Bay Palur 1 Dan Palur 2 Gardu Induk Gondangrejo," Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2019.
- [16] P. Maizarah, *IK.16-TRS.16 Pengoperasian Penganalisa PMT Menggunakan ISA CBA 1000*. PT. PLN (Persero), 2019.
- [17] A. S. Napitupulu and J. Iriani, "Pengaruh Tahanan Kontak Pada Pemutus Tenaga 150 KV Terhadap Rugi Daya di PT PLN (Persero) ULTG Sidikalang," *Jurnal Ilmiah Tenaga Listrik*, vol. 2, no. 1, pp. 3-3, 2022.
- [18] M. A. Prakoso, J. Joko, A. I. Agung, and F. Achmad, "Analisis pengujian dan pemeliharaan dua tahunan pemutus tenaga (pmt) di gardu induk rungkut 150 kv," *Jurnal Teknik elektro*, vol. 13, no. 2, pp. 144-151, 2024.
- [19] P. Darminto, "Analisis Pengukuran Tahanan Kontak dan Tahanan Pertanahan Pada Pemutus Tenaga," *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro dan Informatika*, vol. 1, no. 2, pp. 15-22, 2022.
- [20] S. Pramudya, "Pengukuran Tahanan Kontak Dan Uji Keserempakan Pmt Gili Timur Pada Pemeliharaan 2 Tahunan Bay Line 150 kV," *AKIRATECH : Journal of Computer and Electrical Engineering*, vol. 2, no. 3, pp. 136-142, 2025.

- [21] B. Winantara and B. Husodo, "Evaluasi Tahanan Kontak Pemutus Tenaga Tegangan Tinggi Di Gardu Induk 150 KV Bandung Selatan Berdasarkan Failure Mode Effect Analysis (FMEA)," *Jurnal Teknologi Elektro*, vol. 10, no. 2, p. 103, 2019.
- [22] E. M. Deden Emil Salam, "Analisis Uji Kelayakan PMT Pada Jaringan Tenaga Listrik 150 KV," *Jurnal Kehumasan Universitas Pendidikan Indonesia*, vol. 4, no. 2, pp. 1-9, 2021.