

EVALUASI KINERJA PMT 20kV BERDASARKAN TAHANAN ISOLASI, TAHANAN KONTAK DAN UJI VAKUM PADA GARDU INDUK PANIKI

Zhafan Muhammad Askan

^{1,2}Teknik Elektro/Universitas Sam Ratulangi; Jl. Kampus Unsrat Bahu, Kota Manado

Keywords:

Pemutus Tenaga, Tahanan Isolasi, Tahanan Kontak, Uji Vakum, Pemeliharaan

Correspondent Email:

zhafanaskan023@studen
t.unsrat.ac.id

Abstrak. Pemutus tenaga merupakan salah satu komponen utama dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk menjamin keamanan dan keandalan penyaluran energi listrik pada sistem distribusi maupun transmisi maupun pembangkit. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja dan kelayakan pemutus tenaga vakum tegangan menengah 20kV berdasarkan tiga parameter pengujian, yaitu tahanan isolasi, tahanan kontak, dan uji vakum. Evaluasi dilakukan melalui observasi langsung. Pada proses pengujian menggunakan alat ukur standar, seperti Megger S1-1068, CPC 100, dan Vanguard VBT-75P. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh parameter berada dalam kisaran nilai standar yang ditetapkan oleh pabrikan serta sesuai dengan rekomendasi instansi. Dengan demikian, pemutus tenaga yang diuji dinyatakan layak untuk tetap dioperasikan. Penelitian ini memberikan pemahaman tentang pentingnya pengujian berkala terhadap peralatan pemutus tenaga sebagai upaya pencegahan terhadap potensi gangguan sistem, kerusakan peralatan, maupun bahaya kecelakaan yang disebabkan oleh kegagalan fungsi pemutus tenaga

Abstract. A circuit breaker is one of the main components in an electrical power system that functions to ensure the safety and reliability of power delivery in distribution, transmission, and generation systems. This study aims to evaluate the performance and feasibility of a 20kV medium-voltage vacuum circuit breaker based on three test parameters: insulation resistance, contact resistance, and vacuum test. The evaluation was carried out through direct observation during testing using standard measurement instruments, including the Megger S1-1068, CPC 100, and Vanguard VBT-75P. The test results show that all parameters fall within the standard value range set by the manufacturer and comply with recommendations from relevant institutions. Therefore, the tested circuit breaker is considered feasible for continued operation. This study highlights the importance of periodic testing of circuit breaker equipment as a preventive effort to avoid potential system disturbances, equipment damage, and safety hazards caused by circuit breaker failure.



Copyright © [JITET](#) (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan). This article is an open access article distributed under terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

1. PENDAHULUAN

Dalam era modern yang ditandai dengan pertumbuhan penduduk, industrialisasi, serta perkembangan digitalisasi di berbagai sektor, kebutuhan terhadap energi listrik terus meningkat dari waktu ke waktu. Kondisi ini menuntut sistem tenaga listrik mampu menyalurkan energi secara berkesinambungan,

aman, serta andal mulai dari pembangkit hingga ke pengguna akhir. Untuk menjamin keandalan tersebut, keberadaan peralatan pemutus tenaga memiliki peran yang sangat penting, karena berfungsi memutus dan menghubungkan aliran arus listrik baik dalam keadaan normal maupun ketika terjadi gangguan.

Pada jaringan distribusi tegangan menengah (20 kV), pemutus tenaga vakum atau Vacuum Circuit Breaker (VCB) merupakan salah satu jenis pemutus yang banyak digunakan. Hal ini disebabkan oleh keunggulan VCB, antara lain kecepatan operasi yang tinggi, ketahanan terhadap siklus pemakaian berulang, serta kebutuhan perawatan yang relatif rendah.[1] VCB bekerja dengan cara memadamkan busur listrik di dalam ruang hampa (vakum), sehingga sangat sesuai digunakan pada sistem distribusi yang menuntut keandalan dan keselamatan yang maksimal.

Meskipun demikian, performa VCB tidak dapat dipertahankan secara permanen. Seiring dengan masa operasi, kualitas internal peralatan ini dapat mengalami penurunan yang disebabkan oleh degradasi isolasi, keausan kontak, maupun kebocoran vakum yang tidak terlihat secara kasat mata. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi berkala untuk memastikan kinerja VCB tetap optimal. Beberapa parameter penting yang umum digunakan dalam pengujian antara lain tahanan isolasi, tahanan kontak, dan uji kevakuman. Ketiga parameter tersebut berfungsi sebagai indikator utama dalam menilai kondisi pemutus tenaga serta sebagai dasar dalam memprediksi potensi kegagalan fungsi di masa mendatang.

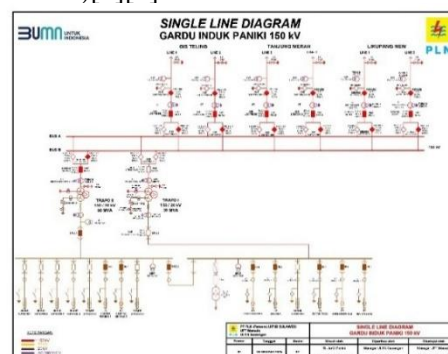
Berdasarkan uraian tersebut, maka evaluasi kinerja Pemutus Tenaga Vakum 20 kV dengan mengacu pada parameter uji tahanan isolasi, tahanan kontak, dan uji kevakuman menjadi suatu kebutuhan yang mendesak. Evaluasi ini diharapkan dapat memberikan gambaran menyeluruh mengenai kondisi aktual breaker di lapangan, sehingga mampu meningkatkan keandalan sistem distribusi tenaga listrik sekaligus meminimalkan risiko gangguan yang dapat menghambat kontinuitas penyaluran energi listrik kepada konsumen.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gardu Induk

Gardu Induk dikenal juga substansi adalah instalasi listrik tegangan tinggi yang berfungsi sebagai pusat pengatur, penghubung, serta pendistribusian energi listrik dari pembangkit atau sistem transmisi sebelum masuk ke sistem distribusi[2][3]. Dalam sistem tenaga listrik, gardu induk merupakan titik peralihan penting antara sistem transmisi dan distribusi, yang

beroperasi pada tegangan menengah hingga tegangan tinggi (seperti 20 kV, 70 kV, 150 kV dan 500kV)[4][5].



Gambar 1. Single Line Diagram GI Paniki

Pada Gardu Induk Paniki, SLD memperlihatkan sistem switchyard bertegangan 150 kV dengan konfigurasi double busbar, yang menerima suplai dari enam bay transmisi, yaitu Line 1 dan 2 dari GIS Teling, Line 1 dan 2 dari Tanjung Merah, serta Line 1 dan 2 dari GI Likupang New. Selain itu, gardu ini dilengkapi dengan dua bay transformator daya yang berfungsi untuk menurunkan tegangan dari 150 kV menjadi 20 kV sebelum dialirkan ke sejumlah kubikel tegangan menengah 20 kV untuk distribusi lebih lanjut

2.2 Kubikel Tegangan Menengah

Kubikel Tegangan Menengah merupakan perangkat instalasi listrik yang beroperasi pada level tegangan 20 kV, dan umumnya dipasang di Gardu Induk maupun Gardu Hubung. Peralatan ini memiliki fungsi utama sebagai pemisah, penghubung, pemutus, serta pengendali aliran daya listrik pada jaringan tegangan menengah[6]. Selain itu, kubikel juga memainkan peran penting dalam sistem proteksi, yang memastikan penyaluran tenaga listrik berjalan dengan aman dan handal dari sisi pembangkit menuju jaringan distribusi[7].



Gambar 2. Kubikel Tegangan Menengah GI Paniki

Secara fisik, kubikel berbentuk seperti panel atau lemari tertutup yang dirancang untuk menampung berbagai perangkat seperti alat kontrol, instrumen pengukuran (metering), sistem proteksi, serta alarm atau annunciator[8]. Desainnya dirancang agar memudahkan operator dalam mengoperasikan dan merawat sistem, sekaligus memberikan perlindungan maksimal terhadap risiko gangguan atau kecelakaan kerja di lingkungan gardu induk. Dengan keberadaan kubikel, efisiensi dan keselamatan dalam pengelolaan sistem kelistrikan menjadi lebih terjamin[7]. Kubikel terdiri dari beberapa jenis berdasarkan fungsinya yaitu;

- a. Kubikel Incoming, Berfungsi sebagai penghubung antara outgoing atau sisi sekunder trafo daya ke busbar tegangan menengah[8].
- b. Kubikel Outgoing, Berfungsi sebagai penghubung dan pembagi dari busbar ke beban[8].
- c. Kubikel Coupling, Berfungsi sebagai penghubung antara dua busbar tegangan menengah[8].
- d. Kubikel VT/BBVT, Berfungsi sebagai metering busbar dan proteksi[8].
- e. Kubikel Aux Trafo, Berfungsi sebagai penghubung busbar ke incoming trafo PS[8].

2.3 Pemutus Tenaga

Pemutus Tenaga (Power Circuit Breaker) merupakan salah satu peralatan utama dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk memutus dan menghubungkan arus listrik dalam kondisi normal maupun saat terjadi gangguan seperti hubung singkat (short circuit) atau beban lebih (overload)[9][10][11]. Peralatan ini harus mampu bekerja secara cepat, andal, dan aman untuk melindungi sistem serta mencegah kerusakan peralatan lain akibat gangguan. Selain itu, pemutus tenaga juga harus memiliki kemampuan untuk mengisolasi bagian sistem yang terganggu agar tidak memengaruhi keseluruhan jaringan (selektif)[12].



Gambar 3. PMT SN 7 GI Paniki

Secara umum, jenis-jenis pemutus tenaga dibedakan berdasarkan media pemadam busur listrik yang digunakan, antara lain:

- a. pemutus tenaga berbasis udara (air circuit breaker/ACB)
- b. minyak (oil circuit breaker/OCB)
- c. SF₆ (sulfur hexafluoride circuit breaker),
- d. vakum (vacuum circuit breaker/VCB).

Setiap jenis memiliki karakteristik tertentu, seperti kapasitas pemutusan, kecepatan switching, kebutuhan perawatan, dan tingkat keamanan lingkungan.

Pemutus Tenaga Vakum (VCB) merupakan salah satu tipe pemutus yang paling banyak digunakan pada sistem distribusi tegangan menengah, khususnya 6–36 kV[1]. VCB menggunakan ruang hampa (vakum) sebagai media pemadam busur listrik yang terjadi saat kontak dalam breaker terbuka. Vakum memiliki kemampuan dielektrik tinggi yang sangat efektif dalam memadamkan busur listrik dalam waktu singkat, sekaligus mencegah terjadinya ionisasi ulang. Keunggulan utama dari VCB yaitu minim perawatan, tidak menghasilkan polusi gas atau minyak, serta memiliki umur pakai yang panjang karena keausan kontak yang rendah[1].

2.4 Pemeliharaan

Dalam sistem tenaga listrik, pemeliharaan (maintenance) merupakan aspek penting untuk menjaga keandalan operasi, memperpanjang umur pakai peralatan, serta mencegah kerusakan atau kecelakaan akibat kegagalan fungsi termasuk pemeliharaan pada PMT[13][1].

Pada penelitian kali ini tergolong pada pemeliharaan Shutdown measurement/shut down function check yaitu pemeliharaan pada

kondisi peralatan tidak beroperasi atau tidak bertegangan[1].

2.5 Tahanan Isolasi

Pengujian tahanan isolasi pada PMT adalah suatu pengujian untuk mengetahui seberapa baik isolasi PMT dalam menahan aliran listrik, baik bagian yang dialiri tegangan listrik dengan bagian body PMT, maupun terminal atas dan terminal bawah PMT pada satu fasa yang sama[13]. Untuk mengukur tahanan isolasi minimal, dapat digunakan rumus sebagai berikut;

$$R = \left(\frac{1000 \cdot U}{Q} \right) U \cdot 2,5$$

- R = Tahanan Isolasi Minimal
- U = Tegangan Kerja Peralatan
- Q = Tegangan Inject
- 1000 = Bilangan Tetap
- 2,5 = Factor Safety

Berdasarkan pedoman Pemeliharaan Peralatan SE.032/PST/1984 serta standar VDE (Verband der Elektrotechnik) dalam katalog 228/4, ketentuan nilai minimum tahanan isolasi pada kondisi suhu operasi normal ditetapkan sebesar 1 MΩ untuk setiap 1 kV tegangan kerja[14]. Perlu ditekankan bahwa nilai 1 kV yang dimaksud adalah tegangan antara fasa terhadap tanah, dengan batas arus bocor yang masih diizinkan sebesar 1 mA untuk setiap 1 kV[13].

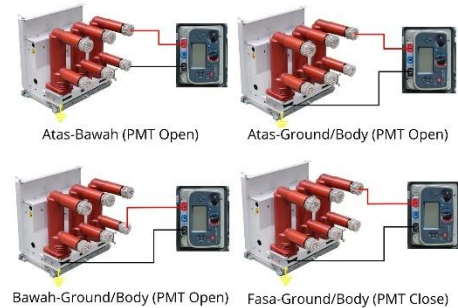
Hasil dari pengujian tahanan isolasi digunakan untuk mengetahui seberapa besar arus bocor (leakage current) yang mengalir dari bagian bertegangan menuju tanah maupun antar terminal atas dan terminal bawah dengan menggunakan persamaan hukum Ohm.

$$I = \frac{V}{R}$$

- I = Arus Bocor
- V = Tegangan inject
- R = Tahanan

Pengujian tahanan isolasi menggunakan alat uji Megger S1-1068 dengan rangkaian

pengujian terminal atas-bawah per fasa, terminal atas-ground per fasa, terminal bawah-ground per fasa pada posisi PMT Open serta terminal fasa-ground pada posisi PMT Close.



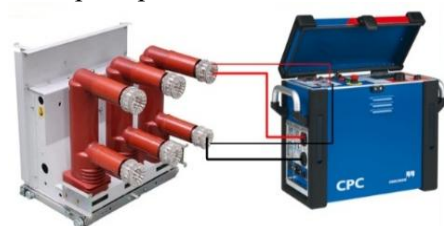
Gambar 4. Rangkaian Pengujian Tahanan Isolasi

2.6 Tahanan Kontak

Pada peralatan tenaga listrik, umumnya terdapat beberapa titik sambungan. Sambungan ini adalah tempat bertemunya dua atau lebih permukaan konduktor secara langsung. Sambungan-sambungan ini dapat menimbulkan resistansi atau tahanan pada sebuah titik sambungan konduktor[15]. Tahanan ini dapat menyebabkan timbulnya panas yang akhirnya menimbulkan kerugian daya (losses)[15][16]. Besarnya tahanan ini sesuai dengan prinsip dasar hukum ohm yaitu;

$$R = \frac{V}{I}$$

Pengujian tahanan kontak menggunakan CPC 100 dengan rangkaian pengujian terminal atas-bawah pada posisi PMT Close



Gambar 5. Rangkaian Pengujian Tahanan Kontak

Berdasarkan standar IEC 60694, batas maksimum tahanan kontak ditetapkan sebesar $\leq 50 \mu\Omega$ atau tidak lebih dari 120% dari nilai hasil Factory Acceptance Test (FAT), dengan pengujian menggunakan arus sebesar 100 A dan 200 A[14].

2.7 Uji Vakum

Pengujian vakum pada PMT vakum berfungsi untuk memastikan bahwa ruang kontak utama (breaking chamber) dalam PMT masih dalam kondisi hampa udara (vakum) yang baik. Pengujian ini penting untuk memastikan bahwa ruang kontak utama (breaking chamber) masih dalam kondisi yang optimal untuk menjalankan fungsinya sebagai pemadam busur api secara efektif saat pemutusan arus terjadi[1].

Pengujian vakum menggunakan Vanguard VBT-75P dengan rangkaian pengujian terminal atas-bawah pada posisi PMT Open



Gambar 6. Rangkaian Pengujian Kevakuman

Tidak terdapat standar baku mengenai nilai pengujian kevakuman. Akan tetapi, dalam Pedoman Pemeliharaan Kubikel Tegangan Menengah (Lampiran SK Direksi PT PLN No. 0520-2.K/DIR/2014), dijelaskan bahwa set arus diatur sesuai kebutuhan, dengan batas maksimal 10 miliampere[1].

3. METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode studi kasus lapangan dengan pendekatan kuantitatif. Evaluasi dilakukan terhadap kinerja Pemutus Tenaga (PMT) 20 kV yang terpasang pada Gardu Induk Paniki dengan fokus pada tiga parameter utama, yaitu tahanan isolasi, tahanan kontak, dan kevakuuman tabung pemutus (vacuum test).

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk (ULTG) Sawangan PLN (Persero) selama masa kegiatan magang pada bulan Februari s.d Mei 2025. Lokasi ini dipilih karena merupakan salah satu unit kerja PLN yang secara langsung melakukan

pengujian dan pemeliharaan pada peralatan peralatan di gardu induk, termasuk PMT 20kV.

3.3 Sumber Data

Data diperoleh dari:

3.3.1 Data Primer

Yaitu hasil pengukuran langsung pada peralatan PMT 20 kV di Gardu Induk Paniki menggunakan alat ukur yang sesuai standar PLN

3.3.2 Data Sekunder

Berupa dokumen laporan pemeliharaan rutin, standar operasional PLN (SK Dir No. 0520-2.K/DIR/2014), dan literatur teknis (IEC 62271-100:2017).

3.4 Teknik Analisis Data

Data hasil pengukuran dianalisis secara deskriptif kuantitatif dengan membandingkan nilai aktual di lapangan terhadap standar teknis yang berlaku (SPLN, IEC 62271-100, dan Pedoman Pemeliharaan PLN). Hasil analisis digunakan untuk menilai apakah kinerja PMT 20 kV di Gardu Induk Paniki masih memenuhi syarat kelayakan operasi atau tidak.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut merupakan PMT yang akan di uji dan di teliti pada penelitian kali ini, Data diperoleh melalui observasi langsung saat pengujian oleh tim ULTG Sawangan dengan menggunakan tiga parameter evaluasi yaitu tahanan isolasi, tahanan kontak, dan uji vakum dengan spesifikasi PMT sebagai berikut.



Gambar 7. PMT SN7 GI Paniki

4.1 Hasil Pengujian Tahanan Isolasi

Berikut merupakan data hasil pengujian tahanan isolasi pada PMT.

TABEL I
PENGUJIAN TAHANAN ISOLASI

Titik Ukur	Standar	Hasil Ukur		
		R	S	T
Atas-Bawah ((PMT Open)	1 kV = 1 MΩ	117,3 GΩ	82,9 GΩ	70,1 GΩ
Atas-Ground (PMT Open)		62 GΩ	106,7 GΩ	48,6 GΩ
Bawah-Ground (PMT Open)		51,3 GΩ	59,8 GΩ	42,8 GΩ
Fasa-Ground (PMT Close)		56,2 GΩ	52,9 GΩ	57,1 GΩ

4.1.1 Perhitungan Nilai Tahanan Isolasi Minimal

Setelah didapatkan hasil pengujian tahanan isolasi pada PMT, dapat dihitung nilai tahanan isolasi minimal menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$R = \left(\frac{1000 \cdot U}{Q} \right) U \cdot 2,5$$

$$R = \left(\frac{1000 \cdot 20000}{5000} \right) 20000 \cdot 2,5 = 200 M\Omega$$

4.1.2 Perhitungan arus bocor (leakage current) antara terminal atas-bawah (PMT Open)

Setelah didapatkan hasil tahanan isolasi minimal, maka dapat dihitung arus bocor (leakage current) menggunakan persamaan hukum Ohm.

$$I = \frac{V}{R}$$

a. Fasa R :

$$\text{Arus Bocor (I)} = \frac{5000}{117,3 \text{ G}\Omega} = 0,0000426 \text{ mA}$$

b. Fasa S :

$$\text{Arus Bocor (I)} = \frac{5000}{82,9 \text{ G}\Omega} = 0,0000603 \text{ mA}$$

c. Fasa T :

$$\text{Arus Bocor (I)} = \frac{5000}{70,1 \text{ G}\Omega} = 0,0000713 \text{ mA}$$

4.1.2 Perhitungan arus bocor (leakage current) antara terminal atas-ground (PMT Open)

a. Fasa R :

$$\text{Arus Bocor (I)} = \frac{5000}{62 \text{ G}\Omega} = 0,0000807 \text{ mA}$$

b. Fasa S :

$$\text{Arus Bocor (I)} = \frac{5000}{106,7 \text{ G}\Omega} = 0,0000469 \text{ mA}$$

c. Fasa T :

$$\text{Arus Bocor (I)} = \frac{5000}{48,6 \text{ G}\Omega} = 0,0001029 \text{ mA}$$

4.1.3 Perhitungan arus bocor (leakage current) antara terminal bawah-ground (PMT Open)

a. Fasa R :

$$\text{Arus Bocor (I)} = \frac{5000}{51,3 \text{ G}\Omega} = 0,0000975 \text{ mA}$$

b. Fasa S :

$$\text{Arus Bocor (I)} = \frac{5000}{59,8 \text{ G}\Omega} = 0,0000835 \text{ mA}$$

c. Fasa T :

$$\text{Arus Bocor (I)} = \frac{5000}{42,8 \text{ G}\Omega} = 0,0001168 \text{ mA}$$

4.1.4 Perhitungan arus bocor (leakage current) antara terminal fasa-ground (PMT Close)

a. Fasa R :

$$\text{Arus Bocor (I)} = \frac{5000}{56,2 \text{ G}\Omega} = 0,0000890 \text{ mA}$$

b. Fasa S :

$$\text{Arus Bocor (I)} = \frac{5000}{52,9 \text{ G}\Omega} = 0,0000945 \text{ mA}$$

c. Fasa T :

$$\text{Arus Bocor (I)} = \frac{5000}{57,1 \text{ G}\Omega} = 0,0000875 \text{ mA}$$

Tahanan isolasi merupakan salah satu parameter penting untuk menilai sejauh mana sistem isolasi pada Circuit Breaker mampu mencegah terjadinya arus bocor yang tidak diinginkan. Dari hasil pengujian awal diperoleh data bahwa nilai tahanan isolasi pada seluruh fasa baik antara terminal atas dan bawah

maupun terhadap tanah masih berada di atas batas minimum yang dipersyaratkan, yaitu 200 M Ω . Namun demikian, hasil pengujian menunjukkan adanya variasi nilai antar fasa yang cukup mencolok. Pada fasa T, tercatat nilai tahanan isolasi terendah, yaitu sebesar 42,8 G Ω . Walaupun nilai tersebut masih berada di atas standar yang ditetapkan, kondisi ini dapat menjadi indikasi awal adanya penurunan kualitas isolasi sehingga perlu mendapat perhatian lebih lanjut. Kontaminan seperti debu dan bekas grease juga dapat menurunkan hasil pengujian tahanan isolasi, jadi disarankan untuk dilakukan pengujian disarankan untuk membersihkan permukaan konduktor dan isolator pada PMT

Berdasarkan standar pengujian, batas arus bocor yang diizinkan adalah 1 mA untuk setiap 1 kV, sehingga pada tegangan uji 5 kV nilai maksimum arus bocor yang diperbolehkan adalah 5 mA. Hasil pengujian tahanan isolasi pada Circuit Breaker 20 kV menunjukkan bahwa seluruh fasa, baik antar terminal maupun terhadap tanah, memiliki nilai tahanan yang berada jauh di atas standar minimum (≥ 200 M Ω). Perhitungan arus bocor juga memperlihatkan bahwa semua titik ukur menghasilkan nilai yang sangat kecil dan berada jauh di bawah ambang batas 5 mA. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kondisi sistem isolasi pada Circuit Breaker tersebut masih sangat baik dan sepenuhnya memenuhi standar yang berlaku.

4.2 Hasil Pengujian Tahanan Kontak

Berikut merupakan perhitungan tahanan kontak pada PMT.

TABEL II
PENGUJIAN TAHANAN KONTAK

Titik Ukur	Standar	Hasil Ukur		
		R	S	T
Atas-Bawah 100 A (PMT Close)	R $\leq$ 120 % FAT (Factory Acceptance Test)	36,7 $\mu\Omega$	35,23 $\mu\Omega$	35,6 $\mu\Omega$
Atas-Bawah 200 A (PMT Close)		36,78 $\mu\Omega$	35,21 $\mu\Omega$	35,57 $\mu\Omega$

Setelah didapatkan hasil dari pengujian tahanan kontak, maka dapat dihitung losses atau rugi rugi

daya pada PMT menggunakan persamaan hukum Ohm.

4.2.1 100 A (PMT Close)

- Fasa R
 $P = 100^2 \times 3,67 \times 10^{-6} = 0,367 \text{ W}$
- Fasa S
 $P = 100^2 \times 35,23 \times 10^{-6} = 0,3523 \text{ W}$
- Fasa T
 $P = 100^2 \times 35,6 \times 10^{-6} = 0,3560 \text{ W}$

4.2.2 200 A (PMT Close)

- Fasa R
 $P = 200^2 \times 36,78 \times 10^{-6} = 1,4712 \text{ W}$
- Fasa S
 $P = 200^2 \times 35,21 \times 10^{-6} = 1,4084 \text{ W}$
- Fasa T
 $P = 200^2 \times 35,57 \times 10^{-6} = 1,4228 \text{ W}$

Saat arus digandakan (100 A $\rightarrow$ 200 A), rugi daya atau losses naik 4x karena $P = I^2 \times R$

Berdasarkan hasil pengujian tahanan kontak pada Circuit Breaker, diperoleh nilai masing-masing fasa berada pada kisaran yang relatif seragam. Pada pengujian dengan arus 100 A (PMT Close), tahanan kontak tercatat sebesar 36,7 $\mu\Omega$ untuk fasa R, 35,23 $\mu\Omega$ untuk fasa S, dan 35,6 $\mu\Omega$ untuk fasa T. Sementara itu, pada pengujian dengan arus 200 A, nilai yang diperoleh adalah 36,78 $\mu\Omega$ untuk fasa R, 35,21 $\mu\Omega$ untuk fasa S, dan 35,57 $\mu\Omega$ untuk fasa T.

Seluruh hasil pengukuran tersebut masih berada di bawah batas standar yang dipersyaratkan, yakni $\leq 120\%$ dari nilai FAT (Factory Acceptance Test). Kondisi ini menunjukkan bahwa resistansi sambungan kontak masih baik, tidak terdapat indikasi peningkatan resistansi akibat oksidasi atau degradasi kontak, serta menegaskan bahwa sistem mekanik dan elektrik pada Circuit Breaker tetap bekerja sesuai kriteria kelayakan. Dengan demikian, kualitas kontak pada peralatan ini dapat dikatakan masih memenuhi standar operasi yang berlaku.

4.3 Hasil Pengujian Kevakuman

Berikut merupakan pengujian vakum pada PMT

TABEL III
PENGUJIAN VAKUM

Titik Ukur	Standar	Hasil Ukur		
		R	S	T
Atas-Bawah	<100 μA	0,97 μA	0,92 μA	0,87 μA

PMT dinyatakan masih memiliki kevakuman yang baik apabila selama 10 detik proses uji tidak muncul indikasi “fail” pada alat uji. Indikasi “Fail” menandakan bahwa arus bocor telah melebihi ambang batas maksimum yang ditentukan, yaitu 100 μA , sehingga mengindikasikan bahwa tingkat ke-vakuman PMT tersebut sudah tidak layak[1]. Selain itu biasanya jika kevakuman PMT sudah berkurang ketika di inject tegangan uji pada PMT akan terdengar bunyi desisan di dalam breaking chamber[13].

Berdasarkan hasil pengujian vakum pada Circuit Breaker, diperoleh nilai arus kebocoran sebesar 0,97 μA untuk fasa R, 0,92 μA untuk fasa S, dan 0,87 μA untuk fasa T. Seluruh hasil tersebut berada di bawah batas maksimum yang ditetapkan, yaitu 100 μA tetapi menjadi catatan karena hampir menyentuh batas standar. Kondisi ini menunjukkan bahwa ruang vakum masih berfungsi dengan baik sebagai media pemadam busur api, tanpa adanya indikasi kebocoran ataupun degradasi performa. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa tingkat kevakuman pada Circuit Breaker masih sangat baik dan layak untuk dioperasikan.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada Circuit Breaker 20 kV, seluruh parameter yang meliputi tahanan isolasi, tahanan kontak, dan uji vakum menunjukkan nilai yang memenuhi standar yang dipersyaratkan. Nilai tahanan isolasi tercatat masih di atas ambang batas minimum 200 $\text{M}\Omega$, tahanan kontak berada di bawah 120% nilai FAT, serta uji kevakuman memperlihatkan arus kebocoran masih di bawah batas maksimum 100 μA . Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kondisi Circuit Breaker masih layak beroperasi dan mampu menjaga keandalan sistem tenaga listrik.

Untuk menjaga kinerja peralatan tetap optimal, disarankan agar pengujian rutin pada Circuit Breaker terus dilaksanakan sesuai interval pemeliharaan yang berlaku. Selain itu, pencatatan hasil pengujian secara berkala perlu dilakukan sebagai data pembandingan guna mendeteksi potensi degradasi dini pada sistem isolasi, kontak, maupun ruang vakum dan jika terdapat anomali seperti desisan atau hasil pengujian yang tidak sesuai standar, serta pelaporan abnormal dari operator gardu induk karena hal tersebut merupakan tanda-tanda dari kerusakan pada komponen circuit breaker.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah membantu penulis dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] PT. PLN (Persero), *Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga*. Jakarta: PT. PLN (Persero), 2014. Accessed: May 22, 2025. [Online]. Available: <https://id.scribd.com/document/463378857/Buku-Pedoman-PMT-Final>
- [2] J. Y. Siallagan, A. Tanjung, and A. Arlenny, “Studi Kebutuhan Perencanaan Pemasangan Busbar Proteksi Pada Gardu Induk Dumai PT. PLN (Persero) UPT Pekanbaru,” *J. Tek.*, vol. 15, no. 2, pp. 94–103, 2021, doi: 10.31849/teknik.v15i2.6623.
- [3] Y. Patasik, A. R. Sultan, A. R. Idris, and A. Rahmadani, “ANALISIS POLA OPERASI JARINGAN 20 KV PASCA BEROPERASINYA GARDU INDUKMOLIBAGUDI PLN UP3 KOTAMOBAGU,” *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 13, no. 3, pp. 459–469, 2025.
- [4] N. Tenda, S. M. Lily s. patras, and M. Ir. Hans Tumailang, “Penyusutan daya listrik pada penyulang jaringan transmisi isimu marisa,” *E-Journal Tek. Elektro Dan Komput.*, vol. 5, no. 1, pp. 2301–8402, 2016.
- [5] N. Y. Latif, A. W. Indrawan, N. A. Noor, A. Rahmadani, P. Negeri, and U. Pandang, “Moutong Terhadap Drop Tegangan Sistem,” vol. 13, no. 3.
- [6] Johan Hidayat and Muhammad Fatkhurrokhman, “Pemeliharaan Kubikel 20 KV di PT.Haleyora Powerindo,” *Venus J. Publ. Rumpun Ilmu Tek.*, vol. 2, no. 6, pp. 130–149, 2024, doi: 10.61132/venus.v2i6.635.
- [7] Muhamad Sadewa and Endi Permata,

- “Analisis Desain Kubikel 20kV untuk Peningkatan Efisiensi dan Keandalan Sistem Distribusi Listrik,” *Venus J. Publ. Rumpun Ilmu Tek.*, vol. 2, no. 6, pp. 116–129, 2024, doi: 10.61132/venus.v2i6.633.
- [8] PT.PLN (Persero), “Buku Pedoman Pemeliharaan KUBIKEL TEGANGAN MENENGAH Lampiran Surat Keputusan Direksi PT PLN (Persero) No. 0520-2.K/DIR/2014,” 2014, [Online]. Available: <https://www.scribd.com/document/424628869/24-Buku-Pedoman-Kubikel-Tegangan-Menengah>
- [9] B. Adhitya and E. Handoyo, “Pengujian Tahanan Isolasi pada Pemeliharaan Pemutus Tenaga (PMT) Kubikel Outgoing 20 kV Menggunakan Insulation Tester di Gardu Induk Bantul PT. PLN (Persero) UP2D JTY DCC 2 Yogyakarta,” *Ejournal Kaji. Tek. Elektro*, vol. 5, no. 2, 2020.
- [10] S. Hartanto, R. Pahlavi, and T. O. Priyono, “PENGUJIAN KINERJA PMT 20 kV PADA KUBIKEL NETTO GARDU INDUK PLTMG SENAYAN,” *Teknokris*, vol. 26, no. 1, pp. 45–53, 2023, doi: 10.61488/teknokris.v26i1.259.
- [11] A. Ariansyah and S. Safaruddin, “PEMELIHARAAN SWITCHGEAR DAN PENGUKURAN TAHANAN KONTAK DI VCB PADA AREA RAW MIIL Di PT. SEMEN BATURAJA (PERSERO) TBK,” *JIMR J. Int. Multidiscip. Res.*, vol. 1, no. 02, pp. 224–231, 2022, doi: 10.62668/jimr.v1i02.430.
- [12] P. Multifeeder, K. Incoming, Z. Palit, L. S. Patras, and G. M. C. Mangindaan, “MULTIFEEDER CONFIGURATION FOR FAULT ISOLATION IN INCOMING CUBICLE”.
- [13] P. M. Firmansyah, M. Tuegeh, and H. Tumaliang, “Analytical Study of 20 kV Circuit Breakers Performance at the Substation,” pp. 1–10.
- [14] A. Aland *et al.*, “Analisa Kinerja Circuit Breaker Saat Gangguan Pada Sisi 70 KV Di Gardu Induk Teling,” vol. 6, pp. 1–8, 2022.
- [15] P. Darminto, “Analisis Pengukuran Tahanan Kontak dan Tahanan Pertanahan Pada Pemutus Tenaga,” 2022.
- [16] A. Fikri, H. Rudito, and Usman, “Analisis Pengujian Pemutus Tenaga (PMT) Bay Punagaya Dalam Pemeliharaan Dua Tahunan di Gardu Induk Tallasa,” *Jurnal.Poliupg.Ac.Id*, no. September, pp. 2–6, 2021, [Online]. Available: <http://jurnal.poliupg.ac.id/index.php/sntei/article/view/2813>