

Analisis Pengujian dan Pemeliharaan Dua Tahunan Pemutus Tenaga (PMT) Di Gardu Induk Rungkut 150 kV

Muhammad Aldi Prakoso

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email : muhammadaldi.19049@mhs.unesa.ac.id

Joko, Achmad Imam Agung, Fendi Achmad

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email : joko@unesa.ac.id, achmadimam@unesa.ac.id, fendiaachmad@unesa.ac.id

Abstrak

Pemeliharaan instalasi tenaga listrik di Gardu Induk melibatkan serangkaian pengujian untuk memastikan keandalan dan keamanan peralatan pendukungnya, termasuk Circuit Breaker (CB) atau Pemutus Tenaga (PMT). CB atau PMT memiliki signifikansi karena mampu menghentikan aliran listrik baik saat kondisi normal maupun ketika gangguan seperti korsleting terjadi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kelayakan dan optimalitas PMT dalam beroperasi. Ada empat pengujian yang menjadi dasar penelitian ini, yaitu tahanan isolasi, tahanan kontak, keserempakan kontak, dan tahanan pentanahan. Pengujian tersebut dilakukan secara berkala untuk menentukan keadaan layak PMT. Dalam pengujian tahanan isolasi, nilai yang dihasilkan selama tiga periode pemeliharaan dua tahun terakhir memenuhi standar SK DIR 0520, dengan nilai tahanan isolasi yang lebih besar dari 150 M Ω dan arus bocor di bawah 1 mA. Pengujian tahanan kontak juga telah memenuhi standar IEC 60694, dengan nilai tahanan yang lebih kecil dari 50 $\mu\Omega$ dan hasil perhitungan rugi-rugi daya yang baik di setiap kontak. Selain itu, pengujian keserempakan kontak memberikan hasil sesuai standar, dengan selisih waktu penutupan yang tidak melebihi 10 detik. Pengujian tahanan pentanahan juga sesuai dengan standar IEEE std 80:2000, dengan nilai di bawah 1 ohm. Dengan demikian, hasil pengujian menunjukkan bahwa PMT telah memenuhi standar keandalan dan keamanan dalam operasinya.

Kata Kunci: Pemutus Tenaga(PMT), Tahanan Isolasi, Tahanan Kontak, Keserempakan Kontak, Tahanan Pentanahan.

Abstract

Maintenance of the electrical power instalation at the substation includes a series of tests to ensure the peace and safety of the supporting equipment, including the Circuit Breaker (CB) or power breaker (PMT). CB or PMT is important because it functions to cut off the flow of electricity under normal conditions or when there is a disturbance such as a short circuit. This research aims to analyze the feasibility and optimality of PMT in operation. There are four tests that are the basis of this research, namely isolation resistance, contact resistance, contact simultaneity, and grounding resistance. These tests are carried out periodically to determine the condition of PMT eligibility. In insulation resistance testing, the values produced during the three maintenance periods of the last two years meet the SK DIR 0520 standard, with insulation resistance values greater than 150 M Ω and leakage currents below 1 mA. Resistance testing also meets IEC 60694 standards, with a resistance value of less than 50 $\mu\Omega$ and good power loss calculation results at each contact. In addition, the contact simultaneity test provides results according to standards, with a closing time difference that does not exceed 10 seconds. Grounding resistance testing also complies with IEEE Standard 80:2000 standards, with values below 1 ohm. Thus, the test results show that PMT has met performance and safety standards in its operations.

Keywords: Circuit Breaker (CB), Insulation Resistance, Contact Resistance, Contact Simultaneity, Grounding Resistance.

PENDAHULUAN

Di Gardu Induk, sistem tenaga listrik dilengkapi dengan beragam peralatan tambahan yang bertujuan untuk mempertahankan keandalan dan keamanannya. Pentingnya pemeliharaan yang teratur didalam pengelolaan sistem transmisi tenaga listrik, satu aspek yang sangat penting adalah pengoperasian yang efektif. Pemeliharaan ini sangat penting untuk memastikan bahwa peralatan-peralatan seperti Pemutus Tenaga (PMT) berfungsi dengan baik. Alat PMT bertugas untuk menghentikan aliran listrik baik dalam situasi biasa maupun saat terjadi masalah seperti korsleting, sesuai dengan kemampuannya. Pengujian secara berkala setiap dua tahun meliputi pemeriksaan tahanan isolasi, tahanan kontak, kualitas kontak, dan tahanan sistem pentanahan. Karena peran yang sangat vital dari PMT, pemeliharaan yang teratur sangat penting untuk memastikan kinerja dan keandalannya tetap terjaga. (Riyadi, 2019)

Dalam upaya untuk menyediakan energi listrik yang baik dan efisien, serta memastikan kualitas dan kelangsungan pasokan yang baik, Gardu Induk (GI) memainkan peran penting sebagai pengatur beban tenaga listrik yang dibutuhkan dan sebagai pusat untuk melindungi komponen-komponen suatu sistem tenaga listrik di suatu wilayah tertentu. (Ilham, 2022)

Gardu Induk, atau yang sering disebut GI, Merupakan komponen krusial dalam jaringan transmisi tenaga listrik. yang bertanggung jawab atas pengaturan aliran energi listrik dan penyesuaian tegangan dari pembangkit listrik ke tingkat yang dibutuhkan. Untuk menjalankan perannya ini, Gardu Induk dibekali dengan beragam peralatan, termasuk peralatan primer dan sekunder. (Firdaus, 2021)

Pemutus Tenaga atau *Circuit Breaker* memiliki peran yang sangat vital dalam menjaga keamanan dan proteksi sistem tenaga listrik serta menangani suatu gangguan. Pemutus Tenaga (PMT) memiliki peranan utama dalam menangani arus hubung singkat yang berpotensi mencapai level yang jauh melampaui arus nominal yang biasanya mengalir melalui konduktor dan isolator. Sebaliknya, Pemutus adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk memutus aliran listrik pada peralatan dalam sistem tegangan tinggi, khususnya untuk memisahkan beban yang membutuhkan perbaikan dari yang harus tetap terhubung. (Yusniati, 2019)

Dalam pemeliharaan dua tahunan Pemutus Tenaga (PMT), dilakukan serangkaian pengujian atau pengukuran termasuk pengukuran tahanan isolasi. Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk mengevaluasi besarnya arus bocor yang terjadi dibagian yang bertenaga. Diharapkan nilai tahanan isolasi tetap berada dalam batas standar agar menghindari terjadinya arus hubung singkat antar terminal fasa yang bisa dipicu oleh tahanan isolasi yang terlalu rendah. Pengujian tahanan kontak juga dilakukan untuk mengidentifikasi kerugian teknis yang diakibatkan

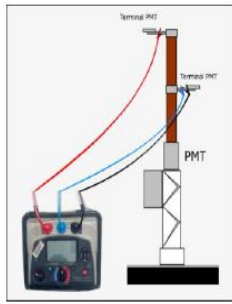
oleh sambungan yang belum normal. Maksud dari dilakukannya pengujian ini adalah untuk meminimalkan kerugian daya dengan menjaga nilai tahanan kontak seminimal mungkin. Pengujian keserempakan kontak yang bertujuan untuk menilai performa kerja PMT secara individual dan memastikan keserempakan kontak saat PMT dibuka atau ditutup. Sementara itu, Dilakukannya pengujian tahanan pentanahan untuk mengevaluasi resistansi terminal terhadap tanah, di mana Semakin rendah angkanya, semakin optimal. (Malik, 2019)

KAJIAN PUSTAKA

Menurut definisi dalam *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) 441-14-20, Circuit Breaker (CB)* bisa juga disebut Pemutus Tenaga (PMT) merupakan suatu perangkat saklar yang beroperasi secara mekanis yang memiliki kemampuan untuk melakukan tiga fungsi utama: menutup sirkuit untuk mengalirkan arus beban dalam keadaan normal, memutus arus beban dalam keadaan normal, dan menangani status abnormal seperti hubung singkat ketika menutup, mengalirkan arus (dalam batas waktu tertentu), dan memutus arus beban. (Sumarna, 2021)

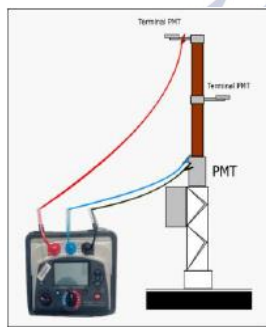
Gas SF₆ (*Sulfur Hexafluoride*) yang digunakan dalam tipe PMT memiliki karakteristik yang khas. Gas ini tidak berwarna, tidak berbau, tidak beracun, dan tidak mudah terbakar. Pada suhu di atas 150°C, SF₆ tidak merusak logam, plastik, dan bahan-bahan umum lainnya yang digunakan dalam pemutus tenaga tegangan tinggi. Sebagai isolator listrik, SF₆ memiliki kekuatan dielektrik yang tinggi, sekitar 2,35 kali lipat dari udara, dan kekuatan ini meningkat dengan peningkatan tekanan. Selain itu, gas SF₆ memiliki kemampuan untuk mengembalikan kekuatan dielektrik dengan cepat, tidak menimbulkan karbon saat terjadi busur, memiliki konduktivitas termal yang baik, dan tidak menghasilkan suara berisik. (Ilham, 2019)

Pengujian tahanan isolasi bertujuan untuk memastikan bahwa material isolasi yang digunakan dalam sistem listrik atau peralatan elektronik dapat menahan arus listrik tanpa mengalami kebocoran yang signifikan. Hal ini penting untuk mencegah terjadinya korsleting atau kerusakan pada peralatan serta melindungi pengguna dari risiko kejutan listrik atau bahaya lainnya. Penggunaan perangkat pengukur tahanan isolasi, yang sering disebut sebagai insulation tester atau megger test, memungkinkan untuk mengidentifikasi potensi kebocoran arus melalui material isolasi dengan mengukur resistansi listriknya dalam kondisi tertentu, seperti tegangan tinggi atau tegangan DC. Dengan demikian, pengujian tahanan isolasi membantu memastikan keamanan dan kinerja sistem listrik serta peralatan elektronik. Berikut adalah diagram rangkaian untuk pengujian tahanan isolasi. (Susanto, 2021) Pada gambar 1 rangkaian uji tahanan isolasi antara terminal atas dengan terminal bawah.

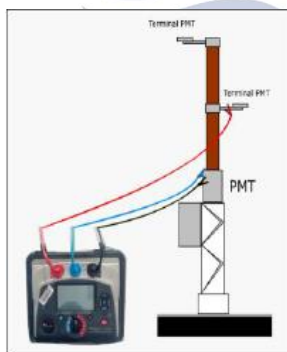


Gambar 1. Rangkaian uji tahanan isolasi diantara terminal atas dengan terminal bawah (Sumber Susanto, 2021)

Pada gambar 2. Rangkaian uji tahanan isolasi antara terminal atas dengan *ground*. Pada gambar 3. Rangkaian uji tahanan isolasi antara terminal bawah dengan *ground*.



Gambar 2. Rangkaian uji tahanan isolasi diantara terminal Atas dengan *Ground* (Sumber Susanto, 2021)



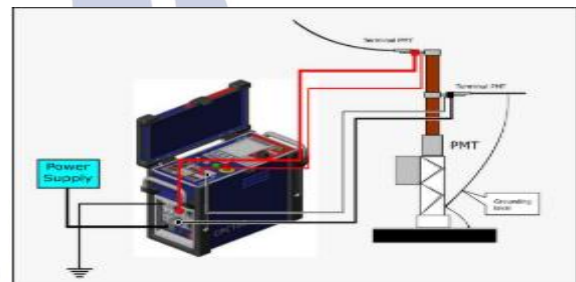
Gambar 3. Rangkaian uji tahanan isolasi diantara terminal bawah dengan *Ground* (Sumber Susanto, 2021)

Pengujian tahanan kontak bertujuan untuk mengukur resistansi yang menyebabkan kerugian daya serta untuk memverifikasi koneksi yang baik antara kontak tetap dan kontak bergerak di dalam Pemutus Tenaga (PMT) saat dalam posisi tertutup. Saat konduktor-konduktor bertemu, mereka menciptakan hambatan terhadap arus, yang menghasilkan peningkatan suhu dan kerugian dalam aspek teknis. Kerugian ini menjadi signifikan jika resistansi kontak tinggi. Dalam pengujian ini, data dari tiga periode pemeliharaan dua tahunan digunakan untuk

perbandingan dan evaluasi kondisi PMT. Pengujian tahanan kontak bertujuan untuk memastikan bahwa nilai resistansi (*resistance*) sesuai dengan standar yang ditetapkan. Dalam mengukur tahanan kontak pada Pemutus Tenaga (PMT), digunakan alat pengukur micro ohm meter. (Susanto, 2021)

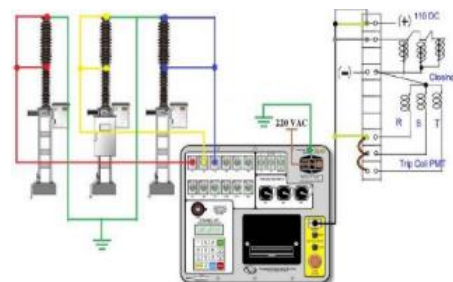
Berikut adalah langkah-langkah dalam melakukan pengukuran tahanan kontak:

1. Pemasangan sistem penghantar tanah pada pemutus tenaga yang akan diuji.
2. Menyambungkan kabel warna merah (+) ke terminal atas dari PMT.
3. Mengaitkan kabel warna hitam (-) ke terminal bawah dari PMT.
4. Memilih arus *inject* sebesar 100 A pada perangkat pengukur.
5. Memulai proses pengujian dan mencatat data atau hasil dari pengujian atau operasi tersebut.



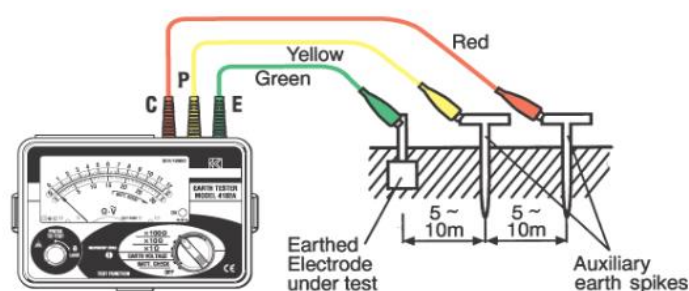
Gambar 4. Rangkaian uji tahanan kontak (Sumber Susanto, 2021)

Pengujian keserempakan kontak dilakukan untuk menilai respons waktu PMT secara individual dalam situasi *open* dan *close*. Standar yang dipakai dalam pengujian ini mengacu pada SPLN No 52-1 1984, yang menetapkan batas waktu respons maksimum di bawah 120 ms, mengingat sistem yang dianalisis beroperasi pada tegangan 150 kV. Untuk melakukan pengukuran dan pengujian ini, digunakan *Digital Circuit Breaker Analyzer*. Perangkat ini mampu mengukur waktu respons dan dapat dengan cepat dan tepat mengukur keserempakan kontak PMT tanpa memerlukan penyetelan tambahan karena sudah dikalibrasi secara otomatis oleh pabrik. (Firdaus, 2021).



Gambar 5. Rangkaian pengujian keserempakan kontak (Firdaus, 2021)

Pengujian tahanan pentanahan merupakan langkah penting dalam memastikan adanya jalur dengan impedansi rendah terhadap tanah. Hal ini bertujuan untuk menciptakan jalur yang efektif dalam mengalirkan gelombang listrik dan tegangan transient ke tanah. Sistem pentanahan sendiri adalah sebuah jaringan penghubung yang mengikat sistem listrik, perangkat, dan koneksi dengan tanah adalah kabel yang berfungsi untuk melakukan hubungan atau mengalirkan arus listrik ke bumi. Fungsi utama dari sistem ini adalah untuk melindungi individu yang berada di lokasi instalasi listrik dari risiko kejutan listrik serta untuk melindungi komponen instalasi dari risiko arus abnormal yang dapat terjadi. Menguji tahanan pentanahan secara teratur dapat memberikan sistem pentanahan berfungsi dengan baik agar dapat memberikan perlindungan individu terhadap bahaya sengatan aliran listrik.



Gambar 6 Rangkaian pengujian tahanan pentanahan (Saleh, 2019)

Spesifikasi Pemutus Tenaga (PMT) sebagai bahan penelitian di Gardu Induk Rungkut 150 kV trafo bay 5 pada tabel 1

Shutdown Measurement atau Pemeriksaan fungsi saat *shutdown* adalah proses pengukuran yang dilakukan setiap dua tahun sekali ketika peralatan tidak beroperasi (*Off Line*). Tujuannya adalah untuk mengevaluasi kondisi peralatan dengan menggunakan berbagai jenis peralatan pengukuran, mulai dari yang sederhana hingga yang canggih, yang dilakukan oleh petugas pemeliharaan. (Susanto, 2021).

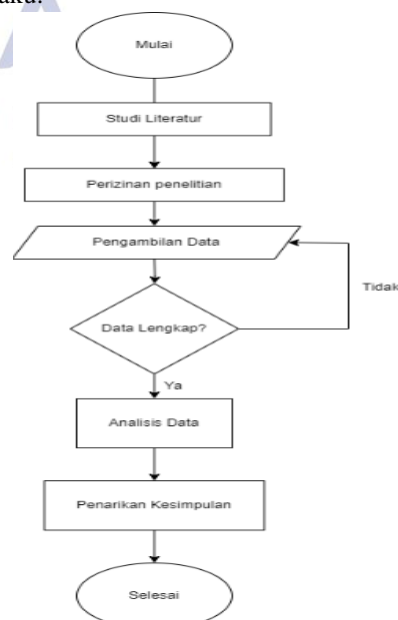
METODE

Pada penelitian ini menggunakan pendekatan penelitian yaitu kuantitatif. Menurut Sugiyono dalam setiap peristiwa atau kejadian dapat pada tahun 2023 peristiwa dapat mengalami fluktuasi dari satu pengamatan ke pengamatan lainnya, dan unsur-unsur yang bertanggung jawab atas fluktuasi tersebut disebut variabel. Karena jumlah variabel dalam suatu peristiwa bisa sangat banyak, maka tidak mungkin untuk mengamati semua variabel tersebut secara menyeluruh. Oleh karena itu, dalam penelitian kuantitatif, fokus hanya diberikan pada beberapa variabel yang dianggap penting atau relevan seperti gambar 7.

Tabel 1 Spesifikasi Pemutus Tenaga

| Indikator | Keterangan |
|---|-------------------|
| Merk | Siemens |
| Type | 3AQ1 |
| Year of construction/No | 94/K35012634 |
| Rated Voltage | 170 kV |
| Rated lightning impulse withstand voltage | 750 kV |
| Rated power frequency withstand voltage | 325 kV |
| Rated frequency | 50 Hz |
| Rated normal current | 2000 A |
| Rated short-circuit breaking current | 40 kA |
| Rated duration of short-circuit | 1 s |
| Rated out-of-phase breaking current | 10 kA |
| First pole to clear factor | 1,5 |
| Rated line-charging breaking current | 63 A |
| Rated operating sequence | 0-0,3s-CO-1min-CO |
| Pressure range of motor drive | 250-375 bar |
| Rated pressure of SF6 at | 6,0 bar |
| Weight of SF6 Filling | 11,2 kg |
| Weight including SF6 | 2370 kg |
| Temperature class | -25.....+50C |

Penelitian ini menggunakan metode *survey*, yang melibatkan observasi langsung di lokasi penelitian. Observasi ini dilakukan untuk memeriksa kondisi fisik Pemutus Tenaga secara visual guna mendeteksi tanda-tanda kerusakan atau keausan. Serta melakukan pengujian-pengujian yang bertujuan untuk mendapatkan data yang dibutuhkan. Setelah data terkumpul kemudian dianalisis menggunakan metode perhitungan manual dengan menggunakan persamaan atau rumus yang relevan, serta dibandingkan dengan standar pengujian yang berlaku.



Gambar 7. Diagram langkah-langkah alur penelitian

Dalam pemeliharaan dua tahunan, berbagai pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja peralatan. Dalam penelitian ini, empat jenis pengujian dianalisis selama tiga periode pemeliharaan pada tahun 2019, 2021, dan 2023. Rumus atau persamaan yang digunakan untuk menghitung arus bocor pada persamaan (1), rugi-rugi daya pada persamaan (2), selisih waktu pada persamaan (3), dan tahanan di sistem pentanahan pada persamaan (4). Rumus-rumus ini membantu dalam mengevaluasi dan memastikan kualitas serta kelayakan pemutus tenaga.

$$I = \frac{V}{R} \quad (1)$$

Keterangan: I = Arus (mA)
V = Tegangan (V)
R = Tahanan (Ω)

$$P = I^2 \times R \quad (2)$$

Keterangan: P = Daya (Watt)
I = Arus (Ampere)
R = Hambatan (Ω)

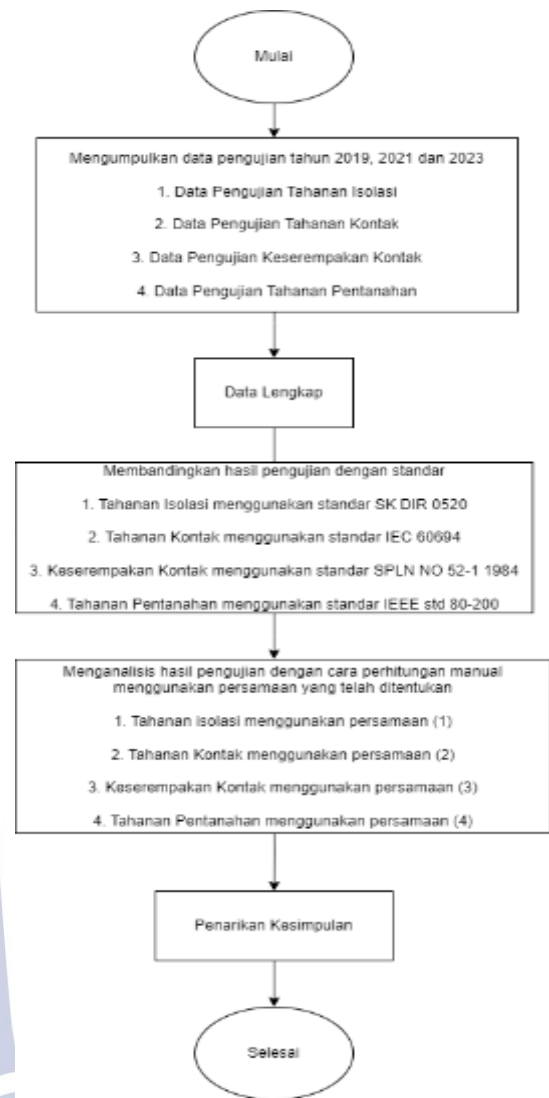
$$\Delta t = \text{Waktu tertinggi} - \text{waktu terendah} \quad (3)$$

Keterangan: Δt = Jarak antara waktu (ms)

$$RA = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} \quad (4)$$

Keterangan: ρ = Jenis Tanah
RA = Tahanan Sistem Pentanahan (Ω)
A = Luas *Switchyard* pada Gardu Induk (m^2) (Saleh, 2019)

Pada pengujian tahanan isolasi, standar pengujian yang digunakan adalah SK DIR 0520 dengan tahanan isolasi minimal sebesar $> 150 \Omega$. Perhitungan analisis dilakukan dengan menggunakan persamaan (1). Untuk pengujian tahanan kontak, standar yang diterapkan adalah IEC 60694 dengan nilai maksimal $R \leq 50 \mu\Omega$. Perhitungan analisis menggunakan persamaan (2). Pengujian keserempakan kontak mengacu pada standar pengujian SPLN No 52-1 1984 untuk sistem 150 kV, dengan waktu respons maksimum 120 millidetik. Analisis dilakukan dengan menggunakan persamaan (3). Sedangkan untuk pengujian tahanan pentanahan, standar pengujian tahanan pentanahan menggunakan IEEE std 80:2000 *guide for safety in ac substation grounding*, dengan nilai maksimal tahanan pentanahan pada PMT switchgear gardu induk 150 kV sebesar $< 1 \text{ ohm}$. Perhitungan analisis menggunakan persamaan (4).



Gambar 8. Diagram alir analisis data

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Tahanan Isolasi

Pada uji tahanan isolasi yang digunakan standar SK DIR 0520, penting untuk memastikan bahwa pemutus tenaga berada dalam keadaan open selama pengujian. Ada tiga titik pengujian yang dilakukan dalam uji tahanan isolasi ini, dan terdapat juga tiga periode pemeliharaan dua tahunan untuk membandingkan dan mengetahui kondisi pemutus tenaga sebelumnya. Alat yang digunakan dalam pengujian tahanan isolasi adalah merek Kyoritsu dengan tipe 3125 A. Data pengujian tahanan isolasi dengan tiga titik ukur dan tiga periode (tahun 2019, 2021, dan 2023) pemeliharaan dua tahunan pemutus tenaga (PMT) dapat dilihat pada Tabel 2. Dengan demikian, informasi ini memberikan gambaran yang lengkap tentang kondisi pemutus tenaga selama periode pemeliharaan yang berbeda.

Tabel 2 Hasil pengujian tahanan isolasi pada tahun 2019, 2021 dan 2023

| No | Tahun | Titik Ukur | Standar | Hasil Pengujian Tiap Fasa (M Ω) | | |
|----|-------|--------------------------------|------------------------------|---|--------|--------|
| | | | | Fasa R | Fasa S | Fasa T |
| 1 | 2019 | Terminal Atas - Ground | | 3830 | 4100 | 4210 |
| | | Terminal Bawah - Ground | SK DIR 0520 >150 M Ω | 10500 | 420000 | 145000 |
| | | Terminal atas - Terminal bawah | | 8440 | 4220 | 584000 |
| 2 | 2021 | Terminal Atas - Ground | | 3140 | 4130 | 3080 |
| | | Terminal Bawah - Ground | SK DIR 0520 > 150 M Ω | 575000 | 406000 | 479000 |
| | | Terminal atas - Terminal bawah | | 16000 | 3400 | 46600 |
| 3 | 2023 | Terminal Atas - Ground | | 3510 | 4900 | 1000 |
| | | Terminal Bawah - Ground | SK DIR 0520 > 150 M Ω | 480000 | 530000 | 435000 |
| | | Terminal atas - Terminal bawah | | 34200 | 3870 | 38400 |

Pada pengujian tahanan isolasi ini ditemukan hasil yang sesuai dengan standar yaitu > 150 M Ω dikarenakan pemutus tenaga yang digunakan adalah 150 kV. Setelah mendapatkan hasil pengujian dapat dihitung arus bocor pada setiap titik ukur atau fasa menggunakan persamaan (1), dengan nilai input tegangan pada *megger test* sebesar 5 kV.

Dalam pemeliharaan dua tahunan pada tahun 2019, hasil analisis menunjukkan bahwa arus kebocoran pada setiap fasa diukur pada beberapa titik pengujian. Arus kebocoran antara terminal atas dan ground adalah 0,0013 mA, 0,0012 mA, dan 0,0011 mA pada fasa R, S dan T. Antara terminal bawah dan ground, arus kebocoran adalah 0,0004 mA pada fasa R, 0,0001 mA pada fasa S, dan 0,0003 mA pada fasa T. Sementara itu, arus kebocoran antara terminal atas dan terminal bawah adalah 0,00059 mA pada fasa R, 0,00011 mA dan 0,0008 mA pada fasa S dan T.

Hasil analisis dari pemeliharaan dua tahunan tahun 2021 menunjukkan bahwa arus bocor pada setiap fasa diukur pada beberapa titik pengujian. Pada titik pengujian antara terminal atas dan ground, arus bocor adalah 0,0015 mA pada fasa R, 0,0012 mA pada fasa S, dan 0,0016 mA pada fasa T. Pada titik pengujian antara terminal bawah dan ground, arus bocor adalah 0,0008 mA pada fasa R, 0,0001 mA pada fasa S, dan 0,0001 mA pada fasa T.

Sementara itu, pada titik pengujian antara terminal atas dan terminal bawah, arus bocor adalah 0,0031 mA pada fasa R, 0,0014 mA dan 0,0001 mA pada fasa S dan T.

Hasil analisis dari pemeliharaan dua tahunan tahun 2023 menunjukkan bahwa arus bocor pada setiap fasa diukur pada beberapa titik pengujian. Pada pengujian antara terminal atas dan ground, arus kebocoran adalah 0,0014 mA untuk fasa R, 0,0010 mA untuk fasa S, dan 0,0005 mA untuk fasa T. Ketika diuji antara terminal bawah dan ground, arus kebocoran adalah 0,0001 mA untuk fasa R, 0,0009 mA untuk fasa S, dan 0,0001 mA untuk fasa T. Sementara itu, ketika diuji antara terminal atas dan terminal bawah, arus kebocoran adalah 0,0001 mA untuk fasa R, 0,0001 mA untuk fasa S, dan 0,0001 mA untuk fasa T.

Berdasarkan angka perhitungan analisis arus bocor, dapat disimpulkan bahwa kondisi Pemutus Tenaga (PMT) dinilai baik dan layak untuk beroperasi. Hal ini dikarenakan hasil analisis sesuai dengan standar yang ditetapkan, yaitu kurang dari 1 mA.

Pengujian Tahanan Kontak

Hasil pengujian di bawah ini disajikan dalam satuan microohm ($\mu\Omega$). Standar yang diterapkan dalam pengujian tahanan kontak adalah IEC 60694, dengan nilai maksimum yang diizinkan sebesar $\leq 50 \mu\Omega$. Perhitungan tahanan kontak dalam analisis ini menggunakan persamaan (2). Hasil dari Pengujian tahanan kontak terdapat pada tabel 3

Tabel 3 Hasil Pengujian Tahanan Kontak pada tahun 2019, 2021 dan 2023

| No | Tahun | Standar | Titik Ukur | Hasil Uji tahanan kontak tiap fasa ($\mu\Omega$) | | |
|----|-------|-------------------------------|--|--|--------|--------|
| | | | | Fasa R | Fasa S | Fasa T |
| 1 | 2019 | IEC 60694 $\leq 50 \mu\Omega$ | Kontak Utama(Terminal Bawah - Terminal Atas) | 32,3 | 31,6 | 32,7 |
| 2 | 2021 | IEC 60694 $\leq 50 \mu\Omega$ | Kontak Utama(Terminal Bawah - Terminal Atas) | 35,45 | 33,72 | 34,73 |
| 3 | 2023 | IEC 60694 $\leq 50 \mu\Omega$ | Kontak Utama(Terminal Bawah - Terminal Atas) | 31,91 | 34,71 | 35,89 |

Hasil pengujian tahanan kontak pada pemeliharaan dua tahunan Pemutus Tenaga (PMT) di GI Rungkut dengan transformator berkapasitas 150 kV di bay 5 menunjukkan bahwa nilai tahanan kontak (R) sesuai dengan standar IEC 60694, yang mengharuskan nilai tahanan kontak (R) harus $\leq 50 \mu\Omega$. Hasil pengukuran yang tercatat dalam Tabel 4.2 menunjukkan bahwa nilai tahanan kontak berkisar antara 31,6 $\mu\Omega$ hingga 35,89 $\mu\Omega$,

yang tetap berada di bawah batas standar selama periode pemeliharaan dua tahunan pada tahun 2019, 2021, dan 2023. Evaluasi dari hasil pemeliharaan saat beberapa tahun tersebut menunjukkan bahwa kondisi PMT tetap baik dan sesuai dengan standar, tanpa adanya lonjakan tahanan kontak yang signifikan.

Dengan menggunakan persamaan (2), analisis perhitungan manual rugi-rugi daya menghasilkan data pada tahun 2019, Hasil daya untuk fasa R, S, dan T berturut-turut adalah 0,03232 watt, 0,316 watt, dan 0,0327 watt. Nilai-nilai tersebut berubah pada tahun 2021 menjadi rugi-rugi daya Di fasa R, hasilnya adalah 0,354 watt, di fasa S, hasilnya adalah 0,337 watt, dan di fasa T, hasilnya adalah 0,347 watt. Kemudian, pada tahun 2023, hasil analisis menunjukkan rugi-rugi daya pada fasa R memiliki nilai 0,319 watt, pada fasa S dan T memiliki nilai sebesar 0,347 watt dan 0,341 watt.

Hasil analisis perhitungan rugi-rugi daya menggunakan persamaan (2) menunjukkan variasi hasil yang berbeda-beda setiap tahunnya dan untuk setiap fasanya. Hal ini mengindikasikan bahwa setiap fasa memiliki tingkat kemampuan yang berbeda-beda.

Pengujian Keserempakan Kontak

Setelah selesai mengumpulkan data, langkah berikutnya adalah menganalisis hasil tersebut dengan menggunakan persamaan (3). Analisis perhitungan manual bertujuan untuk untuk mendapatkan pemahaman yang lebih dalam mengenai pola atau hubungan antara variabel yang diamati dalam penelitian. Standar yang digunakan dalam pengujian ini adalah SPLN No 52-1 1984, yang menetapkan batasan waktu maksimum < 120 ms untuk sistem 150 kV. Hasil dari pengujian keserempakan kontak disajikan dalam tabel 4

Tabel 4 Hasil uji Keserempakan Kontak tahun 2019, 2021 dan 2023

| No | Tahun | Waktu Buka/Tutup dan Keserempakan Kontak | Standar | Hasil Pengujian (ms) | | |
|----|-------|--|---------|----------------------|----------|----------|
| | | | | Fasa R-S | Fasa S-T | Fasa T-R |
| 1 | 2019 | Open-Close | SPLN | 37,60 | 37,65 | 38,00 |
| | | Close-Open | No 52-1 | 90,5 | 98,15 | 91,95 |
| 2 | 2021 | Open-Close | 1984 | 35,45 | 37,35 | 38,2 |
| | | Close-Open | <120 ms | 102,15 | 109,4 | 104,5 |
| 3 | 2023 | Open-Close | | 35,70 | 38,00 | 38,60 |
| | | Close-Open | | 94,40 | 100,80 | 95,85 |

Hasil dari pengujian keserempakan kontak telah dianalisis menggunakan persamaan (3). Pada tahun 2019, nilai waktu open-close adalah 0,4 ms, dan close-open adalah 0,8 ms. Pada tahun 2021, nilai waktu open-close adalah 3,15 ms, dan close-open adalah 7,25 ms. Sedangkan pada tahun 2023, nilai waktu open-close adalah 2,9 ms, dan close-open adalah 6,4 ms. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai-nilai tersebut sesuai

dengan standar yang ditetapkan dalam SPLN No 52-1 1984.

Pengujian Tahanan Pentanahan

Setelah proses pengumpulan data selesai, langkah berikutnya adalah menganalisis hasil tersebut dengan menggunakan persamaan (4). Pendekatan ini bertujuan untuk mengeksplorasi hasil dari perbandingan tahanan pentanahan dengan standar yang telah ditetapkan dalam IEEE std 80 2000, dengan standar pengujian < 1 Ω . Hasil pengujian tahanan pentanahan terdapat pada tabel 5

Tabel 5 Hasil uji Tahanan Pentanahan pada tahun 2019, 2021 dan 2023

| No | Tahun | Titik Ukur | Standar | Hasil Pengujian (Ω) | | |
|----|-------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------|--------|
| | | | | Fasa R | Fasa S | Fasa T |
| 1 | 2019 | Ground Sambungan Atas – Ground | | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| 2 | 2021 | Ground Sambungan Atas – Ground | IEEE std 80 2000 < 1 Ω | 0,06 | 0,06 | 0,06 |
| 3 | 2023 | Ground Sambungan Atas – Ground | | 0,11 | 0,11 | 0,11 |

Analisis perhitungan manual tahanan pentanahan menggunakan persamaan (4) memerlukan data rho (jenis tanah) di Gardu Induk Rungkut 150 kV, serta luas Switchyard. Luas Switchyard Gardu Induk Rungkut 150 kV diketahui sebesar 109200m x 195000m = 21.294.000.000 m². Tanah di sekitar Gardu Induk Rungkut terdiri dari tanah liat dan tanah ladang, dengan nilai rho masing-masing sebesar 100. Perhitungan ini akan diuraikan di bawah ini.

Analisis perhitungan manual menghasilkan nilai 0,00000000208 Ω . Hasil ini bukanlah patokan utama dalam menentukan kelayakan Pemutus Tenaga (PMT) menggunakan pengujian tahanan pentanahan. Yang terpenting adalah memastikan hasil pengujian tahanan pentanahan sesuai dengan standar IEEE std 80 2000, yaitu nilainya kurang dari 1 Ω .

PENUTUP

Simpulan

Hasil analisis pengujian menunjukkan kesesuaian dengan standar yang berlaku. Untuk pengujian tahanan isolasi, nilai yang diperoleh memenuhi standar SK DIR 0520 yang menetapkan nilai minimal > 150 M Ω . Selain itu, hasil perhitungan arus bocor dengan persamaan (1) juga sesuai dengan standar, yaitu kurang dari 1, yang terjadi pada tahun 2019, 2021, dan 2023, sejalan dengan standar SK DIR 0520. Untuk pengujian tahanan kontak, nilai yang dihasilkan (antara 31,6 - 35,89 $\mu\Omega$) sesuai dengan standar IEC 60694 yang menetapkan batas maksimum \leq 50 $\mu\Omega$. Pengujian keserempakan kontak menunjukkan hasil yang memenuhi standar SPLN No 52-1 1984, dengan nilai tertinggi untuk pengujian close adalah 109,4

ms, dan untuk pengujian open adalah 38,60 ms, yang keduanya berada di bawah batas standar < 120 ms. Terakhir, hasil pengujian tahanan pentanahan juga sesuai dengan standar IEEE std 80 2000 yaitu antara 0,04-0,11 dengan nilai lebih rendah dari batas standar yaitu < 1.

Saran

Dalam kegiatan pemeliharaan dua tahunan ini, dilakukan langkah-langkah tambahan untuk meningkatkan ke telitian pengujian. Salah satunya adalah dengan melakukan pembersihan pada titik-titik pengujian sebelum dilakukan pengujian. Langkah ini bertujuan untuk memastikan bahwa hasil pengujian dapat mencapai hasil yang optimal.

Daftar Pustaka

- Alfianto, R. 2015. *Evaluasi Penggunaan Pemutus Tenaga (PMT) Pada Gardu Induk Sungai Juaro Palembang*. Thesis, Politeknik Negeri Sriwijaya, 6–35.
- Ari Susanto. 2021. *Analisa kelayakan Pemutus Tenaga (PMT) 150 kV Berdasarkan Hasil Uji Tahanan Isolasi, Tahanan Kontak dan Keserempakan Kontak*. Journal Of Electrical, Energy and Information Technology. Vol 9, No 2
- Fikri, A., Rudito, H., dan Usman. 2021. *Analisis Pengujian Pemutus Tenaga (PMT) Bay Punagaya Dalam Pemeliharaan Dua Tahunan di Gardu Induk Tallasa*. Jurnal.Poliupg.Ac.Id, September, 2–6.
- Firdaus, A. G., dan Hidayat, R. 2021. *Analisa Pengujian Kelayakan PMT 150 kV Bay Mandirancan I Berdasarkan Parameter Breaker Analyzer di Gardu Induk Sunyaragi*. Elektron : Jurnal Ilmiah, 13, 17–24.
- Ilham, M. 2022. *Tugas Akhir Analisa Hasil Pengujian Keserempakan Pemutus Tenaga 150 Kv Bay Trafo Daya 1 Gardu Induk Glugur Terhadap Kinerja Peralatan*. repository.umsu.ac.id
- Imani, R. L., Suprijadi, S., Siswanto, A., dan Nuryanto. 2018. *Analisis Hasil Over Houl Pemutus Tenaga (Pmt) 70Kv Pada Bay Arjawinangun 2 Di Pt Pln Persero App Cirebon Gi Kadipaten*. Conference on Innovation and Application of Science and Technology (CIASTECH), 1(1), 618–625.
- Manik, C. T. S. 2020. *Measurement of Earth Value Using Earth Tester Measurement at Efarina University*. Journal of Science Technology (JoSTec), 2(1), 42–47.
- PT. PLN. 2014. *Pemutus Tenaga. Keputusan Direksi Pt PLN (Persero) Nomor : 0520-2.K/Dir/2014 Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga (PMT)*, 1–30.
- M. Riyadi, 2019. *Analisis Pengujian Pemutus Tenaga (PMT) Bay Pedan 2 dalam Pemeliharaan Dua Tahunan di Gardu Induk Klaten*. Unwidha Repository 6(11), 951–952., pp. 5–24, 2019.
- Saleh, M., & Pratiwi, A. I. (2019). *Analisis Pengukuran Nilai Tahanan Pentanahan Pada Tanah Berair*. Jurnal Nasional CosPhi, 3(01), 1–5.
- Sugiyono. 2009. *Metode Penelitian Kuantitatif dan R&D*. Alfabeta. Bandung
- Yusniati, INasution, E. S., dan Pangestu, R. I. 2019. *Analisis Kinerja Circuit Breaker Pada Sisi 150 Kv Gardu Induk Lamhotma*. Jurnal UISU, 76–82.