

Analisis dan Implementasi Pemeliharaan Transformator Daya 8 MVA di PT. PLN (Persero) ULPL Paok Motong

Muhamad Nanang Indrajaya Saputra¹, I Made Ari Nrartha^{2*}, I Made Ginarsa³, Bakti Anggara⁴

1 2 3 Program Studi Teknik Elektro, Universitas Mataram, Indonesia
4 PT. PLN (Persero) ULPL Paok Motong, Kecamatan Masbagik, Indonesia.

*e-mail: nrartha@unram.ac.id

ABSTRAK

Pemeliharaan transformator daya sangat penting dalam memastikan distribusi tenaga listrik berjalan dengan optimal. Salah satu aspek pemeliharaan yang krusial adalah pengujian tahanan isolasi yang berfungsi untuk mengevaluasi kualitas isolasi guna mencegah potensi kegagalan sistem. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pengukuran dan analisis nilai tahanan isolasi pada ketiga bagian sisi transformator meliputi sisi primer, sisi sekunder dan sisi primer-sekunder. Metode yang diterapkan meliputi pengukuran tahanan isolasi pada ketiga sisi tersebut dengan standar indeks polarisasi sebagai acuan sesuai edaran direksi PT. PLN (Persero) tentang metode pemeliharaan trafo distribusi berbasis kaidah manajemen aset no. 0017.E/DIR/2014. Hasil pengujian menunjukkan indeks polarisasi sisi primer, sisi sekunder, dan sisi primer-sekunder adalah 1,8; 1,87; dan 1,42. Hasil pengujian tersebut dapat dikategorikan baik karena sudah lebih besar dari standar yang ditetapkan (standar baik antara 1,25 – 2,0). Hasil ini menunjukkan bahwa transformator memiliki kualitas isolasi yang memadai, sehingga dapat dinyatakan layak operasi.

Kata Kunci: *Pemeliharaan Transformator, Transformator Daya, Indeks Polarisasi, Tahanan Isolasi*

Analysis and Implementation of Maintenance for an 8 MVA Power Transformer at PT. PLN (Persero) ULPL Paok Motong

ABSTRACT

The maintenance of power transformer is very important in ensuring that the distribution of electrical power runs optimally. One of the crucial aspects of maintenance is the insulation resistance testing, which serves to evaluate the quality of insulation to prevent potential system failures. This research aims to measure and analyse the insulation resistance values on the three parts of transformer, including the primary side, secondary side and primary-secondary side. The method applied includes measuring the insulation resistance on the three side with the polarization index standard as a reference according to the PT. PLN (Persero) board of director's circular on the distribution transformer maintenance method based on asset management principles no. 0017.E/DIR/2014. The test results show that the polarization index on the primary side, secondary side and primary-secondary side are 1,8; 1,87; and 1,42. The test results can be categorized as good because they are greater than the established standard (good standard between 1,25 – 2,0). This result shows that the transformer has adequate insulation quality, thus it can be declared operationally feasible.

Keywords: *Transformer Maintenance, Power Transformer, Polarization Index, Insulation Resistance*

I. PENDAHULUAN

Kehidupan modern membutuhkan energi listrik untuk mendukung berbagai aktivitas di sektor domestik, industri dan bisnis. Keandalan sistem kelistrikan sangat penting untuk menjamin kontinuitas suplai listrik, terutama di daerah yang masih bergantung pada PLTD (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel). Transformator daya adalah bagian penting dari distribusi tenaga listrik karena berfungsi mengubah dan menyalurkan energi listrik dengan efisiensi tinggi [1].

Pemeliharaan transformator sangat penting dilakukan guna untuk memastikan keandalan dan memperpanjang umur operasionalnya karena transformator harus selalu berada dalam kondisi ideal saat beroperasi untuk menghindari gangguan yang dapat menyebabkan pemadaman listrik atau kerusakan peralatan listrik lainnya [2].

Transformator tetap dalam keadaan beroperasi, sehingga pemeliharaannya tidak dilakukan setiap hari. Metode pemeliharaan yang direncanakan digunakan untuk menetapkan jadwal pemeliharaan. Metode ini dibagi menjadi dua bagian, yaitu pemeliharaan pencegahan dan pemeliharaan prediksi. Pemeliharaan pencegahan adalah kegiatan pemeliharaan yang dilakukan untuk mencegah kerusakan tiba-tiba pada transformator dan memastikan kinerja yang optimal. Pemeliharaan prediksi adalah pemeliharaan dini yang dilakukan untuk memastikan bahwa transformator bekerja dengan baik [3].

Meskipun relatif sederhana, transformator membutuhkan sistem pemeliharaan yang komprehensif untuk memastikan bahwa operasi terus berlanjut dan pembangkitan berjalan efisien. Akibatnya, dapat mengurangi kemungkinan kerusakan yang dapat menyebabkan gangguan pada sistem listrik. Pemeliharaan yang baik juga dapat meningkatkan efisiensi yang berarti lebih sedikit biaya operasional [4].

Berdasarkan permasalahan tersebut pada penelitian ini akan dilakukan identifikasi kondisi isolasi transformator guna untuk mencegah terjadinya kegagalan akibat degradasi isolasi yang dapat merusak transformator Daya 8 MVA di PT. PLN (Persero) ULPL Paok Motong. Metode pengujian diterapkan untuk mengukur tingkat kebocoran arus pada sistem isolasi atau kumparan, dengan fokus pengukuran pada tiga area yaitu sisi primer, sisi sekunder dan sisi primer-sekunder untuk menjamin keberlangsungan operasi transformator tersebut. Hasil pengujian akan dibandingkan dan dianalisis penyebab degradasi isolasi dengan kaidah manajemen aset no. 0017.E/DIR/2014 milik PT. PLN (Persero). Untuk memudahkan pemahaman terhadap isi artikel, tulisan ini berisi pendahuluan yang menyajikan pentingnya pemeliharaan transformator dengan tetap menjamin operasi kontinyu yang sesuai dengan kaidah dan standar, dilanjutkan dengan tinjauan pustaka yang berisi teori tentang transformator dan komponen-komponen penting yang berpengaruh pada operasi, selanjutnya diuraikan metode penelitian dan diuraikan hasil dan analisis hasil pada bagian hasil dan pembahasan. Pada akhir artikel diberikan kesimpulan hasil penelitian.

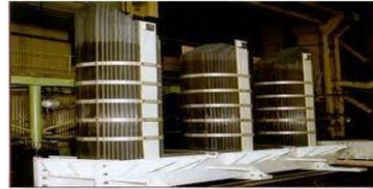
II. TINJAUAN PUSTAKA

Transformator merupakan suatu alat listrik statis yang berfungsi untuk menaikkan atau menurunkan tegangan dengan frekuensi yang tetap [5]. Hukum Faraday tentang induksi elektromagnetik menyatakan bahwa gaya gerak listrik berbanding lurus dengan perubahan fluks magnetik. Sementara itu, hukum Lorentz menjelaskan bahwa arus bolak-balik (AC) yang mengalir pada kumparan yang melingkari inti besi akan menghasilkan medan magnet.

2.1 Bagian Utama Transformator

a. Inti Besi

Arus bolak-balik (AC) yang diinduksikan pada salah satu kumparan inti besi transformator dapat menginduksi kumparan lain yang disebut sebagai sirkuit elektromagnetik. Arus tersebut menyebabkan kerugian energi akibat arus eddy yang timbul pada inti besi. Untuk mengurangi kerugian energi tersebut, inti besi dibuat dari lempengan besi tipis yang diisolasi, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Inti Besi Transformator [1]

b. Kumparan Transformator

Kumparan ini terbuat dari kawat penghantar yang terdiri dari 2 jenis, yaitu kumparan primer sebagai tempat masuknya arus listrik dan kumparan sekunder sebagai tempat keluarnya arus listrik. Kumparan ini dililitkan pada inti besi yang di isolasi untuk mencegah terjadinya hubung arus pendek [1]. Penempatan kumparan transformator pada inti besi ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Kumparan Transformator [1]

c. *Bushing*

Bushing merupakan komponen transformator yang menghubungkan kedua kumparan dengan jaringan listrik eksternal yang memungkinkan arus listrik mengalir masuk dan keluar dari transformator (Gambar 3). *Bushing* dilengkapi dengan isolasi untuk mencegah terjadinya hubung singkat antara konduktor bertegangan tinggi dengan tangki transformator.



Gambar 3 *Bushing* Transformator

d. Tangki Konservator

Saat suhu transformator meningkat, tangki konservator menampung minyak. Ketika jumlah minyak di konservator berkurang, udara yang masuk difilter agar mengurangi kandungan uap air. Tangki Tangki Konservator ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 : Tangki Konservator

2.2 Peralatan Bantu Transformator

a. Pendingin

Kenaikan suhu pada transformator diakibatkan oleh rugi-rugi tembaga pada inti besi dan kumparan. Pendingin pada transformator berfungsi menjaga agar transformator mampu beroperasi di lingkungan bersuhu rendah agar tidak merusak komponen transformator. Gambar 5 adalah pendingin transformator.



Gambar 5 Pendingin Transformator

b. Tap Changer

Tap changer (Gambar 6) berfungsi untuk menjaga tegangan keluaran pada sisi sekunder tetap stabil. Terdapat dua komponen utama pada tap changer yaitu *diverter switch* dan *selector switch*. *Diverter switch* merupakan bagian yang melakukan perpindahan *tap* secara cepat untuk memindahkan arus beban. Sementara *selector switch* memilih posisi *tap* yang diinginkan namun tidak membawa arus saat proses *switching* berlangsung.



Gambar 6 On Load Tap Changer [6]

c. Alat Pernapasan (*Dehydrating Beather*)

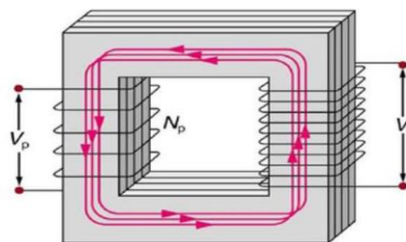
Untuk menghindari kontaminasi minyak transformator oleh udara luar, transformator daya memiliki alat pernapasan berupa tabung yang berisi zat kristal yang dikenal sebagai silica gel. Alat pernapasan dipasang di bagian luar transformator ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Silica Gel [1]

2.3 Prinsip Kerja Transfromator

Transformator beroperasi berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Kumparan primer dialiri arus bolak-balik (AC) yang menghasilkan medan magnet yang berubah-ubah. Akibatnya, timbul gaya gerak listrik (GGL) induksi pada kumparan skunder yang besarnya bergantung pada jumlah lilitan di kumparan sekunder dan laju perubahan medan magnet, ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8 Model transformator untuk analisis operasi transformator [7]

III. METODE PENELITIAN

3.1 Metode Pengujian Indeks Polarisasi

Indeks Polarisasi (*Polarization Index*) yaitu pengujian pada transformator yang digunakan untuk menilai kualitas/kondisi isolasi berdasarkan perbandingan nilai tahanan isolasi dalam jangka waktu 1 menit dan 10 menit [8]. Pengujian indeks polarisasi dilakukan untuk memastikan bahwa perangkat tersebut layak digunakan dan dapat digunakan. Dielektrik pengambilan digunakan untuk menunjukkan pembacaan tahanan isolasi transformator, ini diperoleh dari pembacaan berkelanjutan dengan sumber tegangan konstan untuk jangka waktu yang lebih lama [9]. Besarnya indeks polarisasi dapat dirumuskan sebagai berikut dengan mengacu pada standar buku O&M Transformator PT. PLN (Persero) mengenai pemeliharaan peralatan listrik tegangan tinggi sesuai dengan Persamaan 1.

$$IP = \frac{R_{10}}{R_1} \quad (1)$$

IP adalah indeks polarisasi dan R_{10} adalah pengujian pada menit ke 10 serta R_1 adalah pengujian pada menit ke 1. Metode pengukuran indeks polarisasi digunakan untuk mengevaluasi kondisi tahanan isolasi suatu peralatan listrik berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan. Nilai indeks polarisasi yang rendah menandakan adanya degradasi kualitas isolasi akibat kontaminasi oleh

pertikel asing, kelembaban dan pengaruh temperatur yang tinggi [10]. Kondisi isolasi berdasarkan indeks polarisasi ditunjukkan pada Tabel 1 (Standar O&M Transformator PT. PLN (Persero)).

Tabel 1 Standar Nilai Indeks Polarisasi

Kondisi	Indeks Polarisitas
Berbahaya	$< 1,0$
Jelek	$1,0 - 1,1$
Dipertanyakan	$1,1 - 1,25$
Baik	$1,25 - 2,0$
Sangat Baik	$> 2,0$

3.2 Jenis Data Penelitian

Data sekunder yang digunakan dalam penelitian berasal dari PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pusat Listrik Paok Motong. Data berupa data hasil pengukuran dan pengujian tahanan isolasi transformator pada sisi primer, sisi sekunder dan sisi primer-sekunder.

3.3 Pengambilan Data

Data sekunder diperoleh dari hasil pengukuran langsung di lapangan yang diawasi oleh petugas lapangan di PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pusat Listrik Paok Motong untuk digunakan sebagai data utama. Data yang diambil yaitu data hasil pengujian tahanan isolasi transformator pada sisi primer, sisi sekunder dan sisi primer-sekunder dengan metode pengujian indeks polarisasi. Data tahanan isolasi diambil pada transformator unit 2 dengan spesifikasi data transformator ditunjukkan pada Tabel 2.

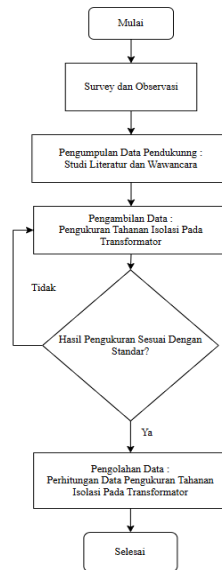
Tabel 2 Spesifikasi Data Transformator

Merek	UNINDO
Nomor Seri	A850010-3
Tahun Pembuatan	1985
Daya	8 MVA
Cooling	ONAN – 8 %
Frekuensi	50 Hz
Type	TTUB21/8000
Tegangan Primer	21000
Tegangan Sekunder	6300
Arus Primer	291,9
Arus Sekunder	733,1
Fase	3

3.4 Diagram Alir Penelitian (Flowchart)

Penelitian ini dilaksanakan dalam beberapa tahap yang dapat dijabarkan melalui diagram alir pada Gambar 9. Gambar 9 menunjukkan tahapan penelitian dari pengujian tahanan isolasi transformator. Pertama adalah melakukan survei dan observasi untuk mengetahui dan memahami kondisi transformator serta faktor-faktor yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran. Setelah survei, dilakukan pengumpulan data pendukung dengan metode studi literatur untuk menambah pemahaman dan pendalaman materi dengan mencari dari beberapa buku, jurnal ilmiah dan referensi lainnya berkaitan dengan tema penelitian, selanjutnya melakukan pengambilan data di transformator unit 2 PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pusat Listrik Paok Motong. Data-data tersebut meliputi data transformator daya dan data hasil pengukuran tahanan isolasi transformator.

Setelah dilakukan pengambilan data pengukuran selanjutnya adalah mencari nilai tahanan isolasi dengan menghitung hasil pengukuran dari ketiga sisi yang diuji untuk di analisis guna mendapatkan nilai yang memenuhi standar nilai indeks polarisasi.



Gambar 9 Diagram Alir Pengujian Tahanan Isolasi

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Tahanan Isolasi

Pengujian tahanan isolasi transformator diambil dari transformator unit 2 di ULPL Paok Motong. Pengujian tahanan isolasi yang mengacu pada standar nilai indeks polaritas didapatkan hasil berupa nilai/besaran yang menunjukkan kondisi isolasi ditampilkan dalam Tabel 4.

Tabel 4 Hasil Pengujian Tahanan Isolasi

No	Aktivitas	Pengujian Tahanan Isolasi (GΩ)	
		Menit 1	Menit 10
1	Primer	25 GΩ	45 GΩ
2	Sekunder	16 GΩ	30 GΩ
3	Primer-Sekunder	42 GΩ	60 GΩ

4.2 Data Hasil Indeks Polarisasi

Selain melakukan pengujian tahanan isolasi dan pengambilan data, juga dilakukan perhitungan Indeks Polarisasi. Perhitungan tersebut menggunakan Persamaan 1 untuk sisi primer, sekunder dan sisi primer-sekunder.

1. Perhitungan pada sisi primer

$$IP = \frac{R_{10}}{R_1}$$

$$IP = \frac{45 \text{ G}\Omega}{25 \text{ G}\Omega}$$

$$IP = 1,8 \quad (2)$$

2. Perhitungan pada sisi sekunder

$$IP = \frac{R_{10}}{R_1}$$

$$IP = \frac{30 \text{ G}\Omega}{16 \text{ G}\Omega}$$

$$IP = 1,87 \quad (3)$$

3. Perhitungan pada sisi primer-sekunder

$$IP = \frac{R_{10}}{R_1}$$

$$IP = \frac{60 \text{ G}\Omega}{42 \text{ G}\Omega}$$

$$IP = 1,42 \quad (4)$$

Tabel 5 Data Hasil Indeks Polarisasi

No	Aktivitas	Pengujian Tahanan Isolasi (GΩ)		Hasil Hitung IP	Kondisi
		Menit 1	Menit 10		
1	Primer	25 GΩ	45 GΩ	1,80	Baik
2	Sekunder	16 GΩ	30 GΩ	1,87	Baik
3	Primer-Sekunder	42 GΩ	60 GΩ	1,42	Baik

Berdasarkan hasil perhitungan indeks polarisasi, diperoleh data pada sisi primer sebesar 1,8, sisi sekunder sebesar 1,87 dan sisi sekunder-primer sebesar 1,42. Ketika dibandingkan dengan standar nilai indeks polarisasi (standar baik antara 1,25 – 2,0). Dari hasil pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa transformator berada dalam kondisi baik karena seluruh nilai pengukuran berada diatas standar minimum nilai indeks polarisasi dan tidak ditemukan indikasi penurunan kualitas isolasi yang berpotensi menyebabkan kebocoran arus. Meskipun kondisi transformator saat ini baik, tetap diperlukan pemantauan secara berkala untuk memastikan nilai indeks polarisasi tetap terjaga, hal ini penting untuk mempertahankan performa dan memperpanjang umur pemakaian.

V. KESIMPULAN

1. Hasil pengujian tahanan isolasi pada sisi primer transformator menunjukkan nilai sebesar 1,8. Nilai ini mengindikasikan bahwa kondisi isolasi pada sisi primer masih dalam keadaan baik. Hal ini dikarenakan nilai tersebut lebih tinggi daripada standar polarisasi indeks yang ditetapkan. Dengan demikian, transformator memenuhi persyaratan kelayakan operasional dalam hal kualitas isolasi, yang merupakan salah satu faktor penting untuk memastikan keamanan dan keandalan sistem kelistrikan.
2. Hasil pengujian tahanan isolasi pada sisi sekunder transformator menunjukkan nilai sebesar 1,8 yang berada di atas standar polaritas indeks. Hal ini mengindikasikan bahwa isolasi pada sisi sekunder transformator masih dalam kondisi optimal dan mampu memenuhi persyaratan

standar kelayakan. Dengan nilai yang lebih tinggi dari standar yang ditetapkan, kondisi ini memastikan bahwa transformator dapat beroperasi dengan aman dan efisien.

3. Hasil pengujian tahanan isolasi pada sisi primer-sekunder transformator menunjukkan nilai sebesar 1,4 yang berada di atas standar indeks polaritas. Hal ini menandakan bahwa isolasi pada sisi primer-sekunder masih dalam kondisi baik dan layak untuk mendukung operasional. Keseluruhan hasil pengujian mengonfirmasi bahwa transformator memiliki kualitas isolasi yang memenuhi standar pada ketiga sisi yang diuji, tidak ditemukan indikasi penurunan kualitas isolasi yang berpotensi menyebabkan kebocoran arus sehingga dapat beroperasi dengan keandalan yang memadai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arfianda, M. Analisa Penggunaan Rele Diferensial Sebagai Pada Transformator Daya Gardu Induk Paya Pasir (PT. PLN PERSERO). Skripsi. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. 2019. [Online]. Available: <http://respository.umsu.ac.id/handle/123456789/7158>.
- [2] Ramadhan, H. D. Analisis Pemeliharaan Prediktif Transformator Daya Di PT. PLN GI Blimbing Malang Dengan Metode Markov. Skripsi. Universitas Brawijaya. 2017. [Online]. Available: <https://elektro.studentjournal.ub.ac.id/index.php/teub/article/view/822>.
- [3] Akbar, M. F. Analisa Karakteristik Minyak Isolasi Transformator Daya 11Kva Menggunakan Metode DGA dan Breakdown Voltage Pada Gardu Kilang Pertamina RU-II Dumai. Skripsi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. 2018. [Online]. Available: <http://repository.its.ac.id/id/eprint/52669>
- [4] Muhammad, R. Perhitungan Health Index Untuk Menentukan Umur dan Kondisi Transformator Daya Kapasitas 80 MVA PT. KDL. Skripsi. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. 2023. [Online]. Available: <http://eprints.untirta.ac.id/id/eprints/29932>.
- [5] Oktaviani, S & Suhendar. Pemeliharaan Komprehensif Komponen Gardu Distribusi Di Desa Luwuk, Kampung Panjong. Jurnal Infoematika dan Teknik Elektro Terapan. Vol. 13, No. 1, pp. 147-153, 2025. Doi: <http://dx.doi.org/10.23960/jitet.v13i1.5545>.
- [6] Gu, Hongrui. Mechanical Fault Diagnosis of On-Load-Tap-Changer Based on Improved Variational Mode Decomposition and Relative Density-Based Outlier Score. IET Electric Power Applications. 17:1423-1436. 2023. Doi: 10.1049/elp2.12354.
- [7] Situmeang, U., Mulyanto, B., & Halilintar, M, P. Analisis Kondisi Tahanan Isolasi Transformator Daya 125 MVA Menggunakan Indeks Polarisasi Tangen Delta dan Breakdown Voltage Di PLTU Tenayan Raya 2 X 110 MW. (Jurnal). JTE UNIBA. Vol. 6, No. 2. 206-211. April 2022.
- [8] Suganda & Muis, A. Analisa Kualitas Tahanan Isolasi Transformator Daya. (Jurnal). Sinusoida. Vol. XXIII, No. 2 1-10. Desember 2021.
- [9] PT. PLN (Persero). Edaran Direksi Tentang Metode Pemeliharaan Trafo Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset No. 0017.E/DIR/2014. In PT. PLN (Persero) Pusat.
- [10] PT. PLN (Persero). Buku Panduan O&M Tentang Pemeliharaan Transformator Tenaga. Jakarta: PT. PLN (Persero) P3B. 2003.