

Diagnostik *Dry Power Transformer* Berusia di Atas 25 Tahun untuk Mengetahui Kondisi Terkini dan Rekomendasinya

Nober Taran*, Rismen Sinambela

Universitas Kristen Indonesia, Jakarta, Indonesia

Email: 22305190013@ms.uki.ac.id

Abstrak

Article Info:

Submitted:

06-05-2025

Final Revised:

19-05-2025

Accepted:

20-05-2025

Published:

23-05-2025

Transformator tipe kering menghadapi tantangan utama terkait kenaikan temperatur, rugi-rugi daya akibat temperatur tinggi, serta potensi kegagalan isolasi yang dapat menyebabkan kerusakan, gangguan pasokan daya, hingga penggantian unit. Untuk mengatasi permasalahan ini, berbagai metode diagnostik digunakan, termasuk pengukuran *Transformer Turn Ratio* (TTR), *Winding Resistance*, *Insulation Resistance*, dan *Polarity Index*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi operasional transformator tipe kering berusia 35 tahun dengan kapasitas 2000 kVA, 20/0,4 kV, menggunakan metode diagnostik berbasis pengukuran. Pengujian dilakukan secara *off-line* dengan konfigurasi rangkaian terbuka menggunakan peralatan berakurasi tinggi, yaitu Omicron CPC 100 dan Megger MIT1025. Hasil pengukuran dibandingkan dengan standar yang ditetapkan oleh *International Electrical Commission* (IEC), *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), serta *American National Standards Institute* (ANSI). Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai deviasi TTR berada dalam rentang 0,01% hingga 0,05%, yang masih berada di bawah batas maksimum deviasi sebesar 0,5%, sehingga dapat disimpulkan bahwa transformator masih dalam kondisi baik. Selain itu, hasil *Polarity Index* berkisar antara 2,41 hingga 4,35, yang memenuhi standar ANSI C57.125-1991, yaitu di atas nilai minimum 2,00, sehingga menunjukkan bahwa kondisi isolasi transformator masih dalam kategori aman. Hasil penelitian ini mengonfirmasi bahwa transformator yang diuji masih dalam kondisi layak operasi berdasarkan parameter diagnostik yang telah diukur.

Kata kunci: Transformator, diagnostik, *Turn Ratio*, *Insulation Resistance*, *Polarity Index*

Abstract

Dry-type transformers face major challenges related to temperature increases, power losses due to high temperatures, and potential insulation failures that can cause damage, power supply disruptions, and unit replacement. To solve these problems, various diagnostic methods are used, including Transformer Turn Ratio (TTR), Winding Resistance, Insulation Resistance, and Polarity Index measurements. This study aims to analyze the operational conditions of a 35-year-old dry-type transformer with a capacity of 2000 kVA, 20/0.4 kV, using measurement-based diagnostic methods. Testing was carried out off-line with an open circuit configuration using high-accuracy equipment, i.e. Omicron CPC 100 and Megger MIT1025. The measurement results were compared with standards set by the International Electrical Commission (IEC), Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), and American National Standards Institute (ANSI). The measurement results showed that the TTR deviation value was in the range of 0.01% to 0.05%, which was still below the maximum deviation limit of 0.5%, so it can be concluded that the transformer is still in good condition. In addition, the Polarity Index results range from 2.41 to 4.35, which meets the ANSI C57.125-1991 standard, which is above the minimum value of 2.00, indicating that the transformer insulation condition is still in the safe

category. The results of this study confirm that the tested transformer is still in a condition that is suitable for operation based on the diagnostic parameters that have been measured.

Keywords: Transformer, Diagnostic, Turn Ratio, Insulation Resistance, Polarity Index

Corresponding: Nober Taran

E-mail: 22305190013@ms.uki.ac.id



PENDAHULUAN

Karena kebutuhan akan energi yang meningkat pesat khususnya energi listrik, maka diperlukan perbaikan infrastruktur jaringan dan komponen-komponennya untuk kelancaran operasional dan manajemen dengan keandalan yang tinggi (Anita Azmi et al., 2020; Hermawan et al., 2023; Kuspandi Putra et al., 2020; Mulyanto & Kudratullah, 2019; Windra, 2022). Transformator mempunyai peranan yang sangat penting dalam penyaluran tenaga listrik dari pembangkitan sampai ke jaringan distribusi konsumen akhir. Transformator tipe kering adalah pilihan terbaik, dimana keselamatan manusia dan keandalan menjadi perhatian utama. Dimensi fisik transformator tipe ini lebih kecil dibandingkan dengan transformator berpendingin oli. Demikian pula memiliki keuntungan seperti kekuatan mekanik yang lebih tinggi, memungkinkan pemasangannya di area pusat-pusat beban, tidak memerlukan perawatan oli, sirip-sirip oli untuk pendinginan, dan tingkat *partial discharge* internal yang paling minim dikarenakan lilitan berada dalam area vakum. Oleh karena itu, transformator jenis ini biasanya digunakan di daerah berpenduduk padat, misalnya, di perusahaan, gedung pencakar langit swasta, dan sektor medis. Namun transformator ini lebih mahal dan memiliki daya dan tegangan yang terbatas, dan umumnya dipakai pada tegangan menengah dan rendah dengan daya relatif lebih kecil. Tidak berfungsinya peralatan tersebut sangat berdampak pada kerugian finansial perusahaan dan kerugian sosial masyarakat, sehingga desainnya harus dianalisis secara khusus sebelum diproduksi sesuai dengan kebutuhan penggunaan spesifik, dan memenuhi batas yang ditetapkan oleh standar internasional. Perancangan transformator sangat penting untuk mengurangi rugi-rugi dan meningkatkan masa pakainya (Alamsyah, 2018; Rochim et al., 2019; Sandi et al., 2020; Utomo et al., 2021).

Saat merancang transformator tipe kering, tujuan utamanya adalah untuk mengurangi rugi-rugi daya yang terjadi secara internal. Inti besi dan belitan merupakan sumber utama rugi-rugi internal dan bervariasi menurut resistansi belitan, suhu permukaan, arus yang mengalir melalui belitan, tegangan pada beban, beban tersambung, dan jenis kualitas penghantar tembaga atau aluminium yang digunakan. Pada akhirnya, kerugian ini mempengaruhi sistem suhu keseluruhan transformator, yang secara langsung mengurangi efektivitas dan umur transformator. Oleh karena itu *thermal stress* merupakan alasan utama kegagalannya, karena menyebabkan melemahnya material pelindung. Namun, memprediksi suhu bagian dalam (atau peningkatan suhu) merupakan tantangan besar saat merancang desain transformator. Dalam hal ini dilakukan pembahasan singkat terhadap parameter transformator tipe kering seperti *turn ratio*, *winding resistance*, *insulation resistance*, dan *polarity index* yang merupakan representatif kerusakan akibat *thermal stress*.

Kebutuhan akan energi listrik di Indonesia terus mengalami peningkatan yang signifikan, seiring dengan pertumbuhan industri dan perkembangan teknologi yang

mendorong penggunaan listrik secara massif (Gunawan et al., 2021; Hasibuan & Siregar, 2019; Nababan, 2021; Setiadi, 2022). Untuk menjamin kelancaran operasional dan keandalan distribusi listrik, infrastruktur kelistrikan termasuk transformator memegang peranan penting. Transformator tipe kering menjadi pilihan utama dalam sistem distribusi listrik, terutama di wilayah padat penduduk, karena keunggulan dari sisi keselamatan, efisiensi, serta kemudahan perawatan dibandingkan dengan transformator berpendingin oli.

Transformator tipe kering memiliki dimensi fisik yang lebih kecil dan kekuatan mekanik yang lebih tinggi, sehingga memungkinkan pemasangan di area dengan kepadatan beban tinggi seperti gedung-gedung komersial, perkantoran, dan fasilitas medis. Selain itu, transformator tipe ini tidak memerlukan perawatan oli atau sistem pendinginan yang rumit, sehingga menurunkan risiko kebakaran dan pencemaran lingkungan. Namun, transformator tipe kering juga memiliki keterbatasan terkait kapasitas daya dan tegangan yang umumnya lebih rendah dibandingkan transformator berpendingin oli.

Salah satu tantangan utama dalam pengoperasian transformator tipe kering adalah pengendalian kenaikan temperatur yang dapat menyebabkan kerusakan isolasi dan penurunan masa pakai transformator. Faktor-faktor seperti resistansi lilitan, suhu permukaan, arus yang mengalir, serta kualitas bahan penghantar turut mempengaruhi rugi-rugi daya internal yang berdampak pada efisiensi dan umur transformator. Thermal stress yang berkelanjutan dapat melemahkan material isolasi sehingga memicu kegagalan fungsi transformator secara mendadak.

Untuk meminimalisir risiko kegagalan dan kerusakan, diagnostik kondisi transformator menjadi hal yang esensial. Metode pengujian seperti Transformer Turn Ratio (TTR), Winding Resistance, Insulation Resistance, dan Polarity Index merupakan alat ukur yang umum digunakan untuk menilai kondisi belitan dan isolasi transformator secara objektif. Standar pengujian yang diacu berasal dari badan internasional seperti IEC, IEEE, dan ANSI untuk memastikan hasil yang akurat dan dapat dipertanggungjawabkan.

Meski demikian, transformator tipe kering yang telah beroperasi lebih dari 25 tahun membutuhkan perhatian khusus karena peningkatan risiko degradasi akibat usia operasional dan faktor lingkungan. Pengujian dan evaluasi secara berkala sangat diperlukan agar pemeliharaan dapat dilakukan secara tepat waktu sehingga memperpanjang masa pakai transformator dan menjaga kontinuitas pasokan listrik.

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran kondisi terkini dari transformator tipe kering berumur di atas 25 tahun dengan kapasitas besar, serta memberikan rekomendasi yang konkret untuk perawatan dan penggantian. Dengan pendekatan diagnostik berbasis pengukuran parameter listrik, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata bagi pengelolaan aset kelistrikan yang lebih efisien dan andal di Indonesia.

Permasalahan penelitian ini adalah kebutuhan untuk mengetahui kondisi operasional transformator tipe kering yang sudah berumur lebih dari 25 tahun, mengingat transformator merupakan komponen penting dalam distribusi listrik yang jika mengalami kerusakan dapat menyebabkan gangguan pasokan dan kerugian finansial. Namun, transformator tipe kering yang digunakan memiliki tantangan terkait kenaikan temperatur dan kerusakan isolasi yang berpotensi memperpendek masa pakai transformator. Oleh karena itu, diperlukan metode diagnostik yang tepat untuk menilai kondisi terkini transformator tersebut agar dapat direncanakan tindakan perawatan dan penggantian yang tepat.

Urgensi penelitian ini tinggi karena kebutuhan energi listrik di Indonesia terus meningkat,

sehingga keandalan infrastruktur distribusi listrik sangat penting. Transformator tipe kering yang sehat akan memastikan pasokan listrik yang stabil dan mengurangi risiko pemadaman yang merugikan industri dan masyarakat. Selain itu, transformator tipe kering lebih banyak digunakan di area padat penduduk karena keamanannya dibandingkan transformator berpendingin oli, sehingga pemantauan kondisi yang baik menjadi hal vital untuk keselamatan dan kontinuitas layanan.

Selain itu, umur transformator yang sudah mencapai lebih dari 25 tahun meningkatkan risiko kerusakan yang dapat terjadi secara tiba-tiba. Dengan menggunakan metode diagnostik berbasis pengukuran parameter listrik seperti Transformer Turn Ratio (TTR), Winding Resistance, Insulation Resistance, dan Polarity Index, kondisi transformator dapat diketahui secara detail dan akurat sesuai standar internasional. Hasil diagnosa ini membantu dalam pengambilan keputusan pemeliharaan preventif dan penggantian yang tepat waktu.

Penelitian terdahulu menunjukkan pentingnya pengujian TTR sebagai indikator kerusakan pada belitan dan inti transformator (Ohlen dan Werelius, 2010). Pengukuran resistansi belitan juga menjadi metode efektif untuk mendeteksi potensi kerusakan isolasi (Hills, 1977). Studi lain menekankan bahwa Polarization Index (PI) merupakan indikator kualitas isolasi yang sensitif terhadap kelembaban dan kerusakan material isolasi (ANSI C57.125-1991). Namun, sebagian besar penelitian fokus pada transformator baru atau berumur pendek, sehingga belum banyak kajian mendalam terhadap transformator tipe kering yang beroperasi lama.

Selain itu, penelitian terkait pengaruh faktor umur, kondisi lingkungan, dan pola perawatan terhadap performa transformator tipe kering masih terbatas. Kondisi nyata di lapangan yang melibatkan akumulasi debu dan kurangnya perawatan rutin mempengaruhi hasil diagnostik dan masa pakai transformator. Hal ini menuntut pendekatan diagnostik yang komprehensif dan pengawasan berkala yang sistematis.

Penelitian ini mengisi kekosongan dengan menganalisis kondisi transformator tipe kering berumur lebih dari 25 tahun menggunakan pengukuran parameter diagnostik yang standar internasional dan membandingkannya dengan kriteria yang berlaku. Penelitian ini memberikan rekomendasi praktis untuk pemeliharaan dan perencanaan penggantian transformator yang mempertimbangkan usia dan kondisi operasional secara detail.

Novelty dari penelitian ini terletak pada penerapan kombinasi empat metode diagnostik listrik—TTR, Winding Resistance, Insulation Resistance, dan Polarity Index—secara komprehensif pada transformator tipe kering berumur sangat tua (35 tahun) dengan kapasitas besar (2000 kVA), yang jarang diteliti sebelumnya. Pendekatan ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai kondisi kesehatan transformator yang dapat digunakan sebagai acuan dalam manajemen aset kelistrikan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis kondisi terkini transformator tipe kering berumur di atas 25 tahun dengan kapasitas 2000 kVA menggunakan metode diagnostik berbasis pengukuran parameter listrik, serta memberikan rekomendasi perawatan dan penggantian yang tepat guna memperpanjang masa pakai transformator tersebut.

Manfaat penelitian ini adalah memberikan informasi valid dan akurat tentang kondisi kesehatan transformator tipe kering tua sehingga dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan pemeliharaan preventif dan perencanaan penggantian. Dengan demikian, penelitian ini turut mendukung keandalan pasokan listrik dan mengurangi risiko kerusakan yang merugikan secara finansial dan sosial.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode diagnostik berbasis pengukuran parameter listrik untuk menilai kondisi transformator tipe kering. Metode ini melibatkan pengujian langsung terhadap komponen-komponen utama transformator dengan menggunakan instrumen pengukur yang sesuai standar internasional. Keempat jenis pengukuran yang dilakukan adalah Transformer Turn Ratio (TTR) untuk mengukur rasio putaran lilitan,

Winding Resistance untuk mengukur resistansi lilitan, Insulation Resistance untuk menilai kualitas isolasi, dan Polarity Index yang merupakan rasio tahanan isolasi selama periode pengukuran tertentu. Pendekatan ini memungkinkan evaluasi menyeluruh terhadap kondisi mekanik dan elektrik transformator secara objektif dan kuantitatif.

Metode pengukuran ini termasuk dalam kategori penelitian eksperimental dengan pengujian off-line, yang berarti pengujian dilakukan pada transformator yang sedang tidak beroperasi, menggunakan peralatan berakurasi tinggi seperti Omicron CPC 100 dan Megger MIT1025. Data yang diperoleh kemudian dianalisis dan dibandingkan dengan standar yang ditetapkan oleh lembaga internasional seperti International Electrical Commission (IEC), Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), dan American National Standards Institute (ANSI). Dengan demikian, metode ini tidak hanya fokus pada pengumpulan data, tetapi juga pada interpretasi data diagnostik untuk menentukan kondisi kesehatan transformator serta rekomendasi perawatan atau penggantian yang tepat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Transformer Turn Ratio

Turn Ratio Transformator (TTR) adalah salah satu pengujian yang paling umum digunakan untuk menilai kondisi belitan dan inti transformator. Hal ini dilakukan sebagai bagian dari kriteria prosedur pengujian dalam hal pemeliharaan untuk menentukan masalah apa pun yang disebabkan oleh desain, perakitan, penanganan yang buruk, kelebihan beban, faktor umur atau pemeliharaan yang buruk. Hasil TTR dibandingkan dengan data pabrikan atau desain untuk menentukan kemungkinan kerusakan isolasi, hubung singkat, pemanasan pada inti atau belitan yang berlebihan atau kelainan lainnya. TTR merupakan pengujian sederhana dan mudah dilakukan yang seringkali dianggap remeh tanpa memahami sepenuhnya prinsip dan dasar pengujian tersebut. Dalam kasus ketika pengukuran tidak berada dalam batas yang diharapkan, menentukan akar penyebab dan menyelesaikan masalah menjadi tugas yang menantang. Hal-hal yang harus menjadi perhatian utama ketika melakukan pengujian TTR adalah pengaruh tegangan uji yang diterapkan, analisis perbandingan eksitasi primer dan sekunder, konfigurasi vektor yang berbeda, perbedaan antara rasio desain, rasio tegangan dan *turn ratio*, sumber rasio dan kesalahan sudut fasa, perbandingan pengujian fasa tunggal dan pengujian tiga fasa yang seharusnya, *ratio taping* berada di luar toleransi untuk *On Load Tap Changers* (OLTC), dan korelasi uji TTR dengan pengujian kelistrikan lainnya.

Tabel 1. Hasil Pengujian TTR

Tap.	Theory Ratio	Phase U			Phase V			Phase W		
		Ratio	Deg. (°)	Dev. (%)	Ratio	Deg. (°)	Dev. (%)	Ratio	Deg. (°)	Dev. (%)
1	90.933	90.977	0.0	0.05	90.959	0.0	0.03	90.973	0.0	0.04
2	88.768	88.794	-0.01	0.03	88.781	-0.02	0.02	88.785	-0.01	0.02
3	86.603	86.607	-0.01	0.01	86.593	-0.02	-0.01	86.606	-0.02	0.0
4	84.438	84.426	0.0	-0.02	84.411	-0.02	-0.03	84.43	0.03	-0.01
5	82.272	42.239	-0.02	-0.04	82.229	-0.01	-0.05	82.237	-0.01	-0.04

Deg. (°) =Degree

Dev. (%) = Deviation

Tap. = Transformer tapping

1. Winding Resistance Measurement

Penurunan nilai resistansi isolasi pada belitan transformator adalah salah satu penyebab paling umum kegagalan suatu transformator; kegagalan transformator yang serius akan menimbulkan kerugian biaya yang tinggi dan membutuhkan waktu yang lama untuk penggantian. Kelalaian dalam perawatan transformator dengan pengujian resistansi isolasi belitan maka potensi transformator akan rusak akan semakin besar sebelum mencapai masa pengoperasiannya secara maksimum.

Pengukuran resistansi belitan transformator dilakukan dari satu terminal belitan ke terminal lainnya yang berpasangan dalam satu belitan. Arus DC selain mengalir melalui belitan, juga mengalir melalui sakelar pengatur rasio tap changer, serta berbagai sambungan terminasi mekanis. Oleh karena itu, integritas semua komponen ini dapat diverifikasi dengan menggunakan instrumen uji resistansi belitan transformator.

Data alat ukur yang dipergunakan:

Instrumen : *Winding Resistance Measurement*

Merek : Omicron

Tipe : CPC 100

Hasil pengujian seperti gambar di bawah ini.

Sesuai dengan standar IEC 60076 bahwa perbedaan maksimum yang diizinkan adalah 5% dari fasa ke fasa.

Tabel 2. Hasil pengujian winding resistance

Tap.	HV winding resistance (Ω) Ref. (NA)			HV winding resistance (Ω) Measured			Dev. % Ref. and Measured		
	t= 31°C			t= 31°C			t= 31°C		
	Phase A	Phase B	Phase C	Phase A	Phase B	Phase C	Phase A	Phase B	Phase C
	U-V	V-W	W-U	U-V	V-W	W-U	U-V	V-W	W-U
1	1.6655	1.6622	1.6653	1.4514	1.4477	1.4504	0.26	0.19	0.07
2	1.6185	1.6262	1.6139	1.4094	1.4163	1.4056	0.7	0.76	0.27
3	1.5811	1.5867	1.5673	1.3771	1.3819	1.365	0.35	0.24	0.89
4	1.5321	1.5302	1.5228	1.3345	1.3327	1.3263	0.13	0.26	0.61
5	1.4824	1.4807	1.4777	1.2911	1.2905	1.287	0.05	0.27	0.31

Tap.	HV winding resistance (Ω) Ref. (NA)			HV winding resistance (Ω) Measured			Dev. % Ref. and Measured		
	t= 31°C			t= 31°C			t= 31°C		
	Phase A	Phase B	Phase C	Phase A	Phase B	Phase C	Phase A	Phase B	Phase C
	U-V	V-W	W-U	U-V	V-W	W-U	U-V	V-W	W-U
	6.711	6.673	6.701	5.629	5.597	5.619	0.57	0.39	0.17

2. Insulation Resistance (IR) dan Polarization Index (PI) Test

Untuk memastikan kualitas isolasi transformator maka salah satu metode yang paling tepat adalah dengan *polarity index*. *Polarization Index* adalah rasio dari pengukuran resistansi isolasi selama 10 menit terhadap pengukuran resistansi isolasi (*Insulation Resistance, IR Test*) selama 1 menit yang dituliskan dengan persamaan berikut:

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

Dimana:

P_I adalah *Polarity Index*,

R_{10} adalah pengukuran tahanan isolasi 10 menit, dan

R_1 adalah pengukuran tahanan isolasi 1 menit

Untuk menentukan P_I , tahanan isolasi diukur dengan menggunakan tegangan DC di antara penghantar dan isolasi dengan lama pengukuran yang berbeda yaitu masing-masing 1 menit dan 10 menit. Pada waktu kita memberikan tegangan DC melalui isolator, arus yang mengalir pada isolator secara umum dibagi menjadi empat komponen arus yang menentukan indeks polarisasi bahan isolasi tersebut antara lain:

a. Arus kapasitif (IC).

Isolator sebagai kapasitor, ketika tegangan DC diterapkan pada isolator maka akan berubah fungsi seperti kapasitor dimana akan timbul arus pengisian yang besar dan pada saat semua dielektrik terpolarisasi, arus berkurang secara eksponensial menuju nol. Dalam hubungannya dengan belitan transformator yang diuji, arus berkurang dalam waktu kurang dari 10 detik. Nilai IR diambil setelah peluruhan arus kapasitif supaya nilai yang didapatkan menjadi tepat.

b. Arus konduksi (*Conduction Current* IR).

Arus ini disebabkan oleh aliran elektron di antara bahan penghantar dan bahan isolasi. Ini adalah arus galvanik yang menembus permukaan bidang. Arus seperti ini dapat mengalir jika permukaan bidang telah menyerap uap air atau lembab, yang mana dapat terjadi pada sistem isolasi termoplastik yang sudah lebih tua. Arus juga dapat mengalir jika terdapat retakan, potongan atau lubang kecil pada permukaan isolasi dan kontaminasi lain yang memungkinkan arus mengalir. Arus ini adalah konstan terhadap waktu. Dengan isolasi lebih modern, arus ini biasanya adalah nol (selama tidak ada kerusakan pada isolasi).

c. Kebocoran arus permukaan (Is).

Arus ini adalah arus DC konstan yang mengalir di atas permukaan isolasi. Hal ini disebabkan oleh kontaminasi konduktif (minyak atau uap air yang bercampur dengan debu, kotoran, serangga, bahan kimia, dll) pada permukaan belitan. Arus ini adalah juga konstan terhadap waktu.

d. Arus polarisasi (Ip).

Insulasi listrik bersifat higroskopis akan adanya kelembapan berada di sana baik dalam jumlah sedikit atau berlebihan. Ketika medan listrik diterapkan melintasi isolasi, ia mulai menyerap elektron dari hidrogen molekul yang menyebabkan ionisasi hidrogen. Molekul pada isolator yang mengandung air mulai selaras dalam medan listrik. Energi yang dibutuhkan untuk menyelaraskan molekul berasal dari arus di dalam pasokan tegangan uji DC. Arus ini disebut arus polarisasi. Air menjadi terpolarisasi sempurna ketika terjadi penyerapan elektron dari penggabungan hidrogen dengan oksigen selesai. Begitu molekulnya didapat selaras maka arus berhenti. Perkiraan waktu untuk polarisasi lengkap adalah 10 menit. Itulah sebabnya IR diukur setelah 10 menit pengaplikasian tegangan DC.

Data alat ukur yang dipergunakan:

Instrumen : *Insulation Resistance dan Polarization Index Test*
 Merek : Megger
 Tipe : MIT1025

Tabel 3. Hasil pengujian *insulation resistant* selama 1 menit

Temperature = 31°C							
No	Test Point	Voltage Test		Result Temp. Means		Result Temp. 20 °C	
1	HV - Ground	5000	VDC	510.0	GΩ	861.9	GΩ
2	HV - LV	5000	VDC	261.0	GΩ	441.09	GΩ
3	LV - Ground	1000	VDC	223.0	GΩ	376.87	GΩ
4	HV - HV	500	VDC	0	GΩ	0	GΩ
5	LV - LV	500	VDC	0	GΩ	0	GΩ

Hasil pengujian *insulation resistant* selama 1 menit dan 10 menit dan perhitungan nilai *polarization index* dengan mempergunakan persamaan (1) di atas maka kita mendapatkan hasil pengujian seperti gambar di bawah ini.

Tabel 4. Hasil pengujian *polarization index*

No	Test Point	Voltage Test		Result				PI
				1 Minute		10 Minute		
1	HV - Ground	5000	VDC	510.00	GΩ	1230.0	GΩ	2.41
2	HV - LV	5000	VDC	261.00	GΩ	728.00	GΩ	2.79
3	LV - Ground	1000	VDC	223.00	GΩ	970.00	GΩ	4.35

Tabel 5. *Criteria polarization index (ANSI C57 - 1991)*

<i>Polarization Index</i>	<i>Insulation Condition</i>
<i>Less than 1.00</i>	<i>Dangerous</i>
<i>1.00 - 1.10</i>	<i>Poor</i>
<i>1.10 - 1.25</i>	<i>Questionable</i>
<i>1.25 - 2.00</i>	<i>Fair</i>
<i>Above 2.00</i>	<i>Good</i>

KESIMPULAN

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa kondisi transformator masih dalam keadaan baik, dengan nilai turn ratio pada masing-masing tap berkisar antara 0,01% hingga 0,05%, yang masih berada di bawah batas deviasi maksimum sebesar 0,5%, dan nilai polarity index (PI) antara 2,41 hingga 4,35 yang memenuhi standar ANSI C57.125-1991, menunjukkan isolasi yang masih baik. Namun, secara keseluruhan terdapat penurunan nilai pengukuran dibandingkan sebelumnya, yang disebabkan oleh faktor umur transformator yang sudah lebih dari 33 tahun, ketidakkonsistenan perawatan rutin, dan kondisi diagnostik yang kurang bersih dari debu, yang baru dibersihkan setelah pemeriksaan menggunakan gas nitrogen dan zat khusus pada bagian bertegangan dan isolator. Metode pengukuran ini memungkinkan diagnosa menyeluruh terhadap kondisi kesehatan transformator dengan mempertimbangkan degradasi jangka panjang yang mempengaruhi masa pakai operasionalnya. Melalui inspeksi visual, pengukuran on-line

dan off-line, serta pengujian proteksi, disarankan untuk menyusun kajian risiko guna menjaga kontinuitas pasokan listrik. Oleh karena itu, direkomendasikan inspeksi lanjutan secara berkala, baik 6 bulanan, tahunan, hingga setiap 5 tahun, termasuk pertimbangan direct shutdown dan perencanaan penggantian transformator. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan mengembangkan metode diagnostik yang lebih sensitif dan real-time, serta mengkaji pengaruh faktor lingkungan dan kondisi operasional terhadap degradasi transformator untuk meningkatkan akurasi prediksi masa pakai dan efektivitas perawatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alamsyah, A. A. (2018). Perancangan transformator 3 fasa dengan menggunakan transformator 1 fasa. *Energies*, 6(1).
- ANSI; NETA; ATS, & American National Standards Institute. (2009). *Standard for maintenance testing specifications for electrical power equipment* (pp. 64–90). *ANSI/NETA ATS-2009*.
- Anita Azmi, R., Rukun, K., & Maksum, H. (2020). Analisis kebutuhan pengembangan media pembelajaran berbasis web mata pelajaran administrasi infrastruktur jaringan. *JIPP*, 4(2).
- Gunawan, L. A., Agung, A. I., Widyartono, M., & Haryudo, S. I. (2021). Rancang bangun pembangkit listrik tenaga surya portable. *Jurnal Teknik Elektro*, 10(1).
- Hasibuan, A., & Siregar, W. V. (2019). Prakiraan kebutuhan energi listrik Kota Subulussalam sampai tahun 2020 menggunakan metode analisis regresi. *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, 1(2). <https://doi.org/10.30596/rele.v1i2.3013>
- Hermawan, S. D., Hermadi, I., & Nurhadryani, Y. (2023). Evaluasi capability level infrastruktur jaringan TI Bank XYZ menggunakan COBIT 2019. *Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia*, 7(12). <https://doi.org/10.36418/syntax-literate.v7i12.10851>
- Hills, D. L. (1977). MLS international standard [1]. *Nature*, 268, 482. <https://doi.org/10.1038/268482a0>
- InterNational Electrical Testing Association. (2013). *Standard for acceptance testing specifications for electrical power equipment and systems*. *ANSI/NETA ATS-2013*.
- Kuspandi Putra, Y., Sadali, M., & Mahpuz, M. (2020). Penerapan Mikrotik dalam mengembangkan infrastruktur jaringan pada Kantor Desa Rumbuk Kecamatan Sakra. *Infotek: Jurnal Informatika dan Teknologi*, 3(2). <https://doi.org/10.29408/jit.v3i2.2350>
- Mulyanto, Y., & Kudratullah. (2019). Analisis dan pengembangan infrastruktur jaringan komputer dalam mendukung implementasi sekolah digital. *Jurnal Informatika, Teknologi dan Sains*, 1(1). <https://doi.org/10.51401/jinteks.v1i1.375>
- Nababan, T. (2021). Analisis peramalan kebutuhan energi listrik, uji-t dan uji-f menggunakan. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952.
- Ohlen, M., & Werelius, P. (2010). *A guide to transformer ratio measurements*. Megger. <http://www.megger.com>
- Rochim, B. B., Syakur, A., & Setiyono, B. (2019). Perancangan otomasi variable transformator untuk mengatur tegangan keluaran berbasis mikrokontroler. *TRANSIENT*, 7(4). <https://doi.org/10.14710/transient.7.4.925-932>
- Sandi, R. A., Turahyo, T., & AbdulZain, A. (2020). Rancang bangun sistem monitoring transformator daya secara wireless berbasis mikrokontroler. *Jurnal Nasional Komputasi dan Teknologi Informasi (JNKTI)*, 3(3). <https://doi.org/10.32672/jnkti.v3i3.2497>
- Setiadi, R. (2022). Penerapan data mining untuk prediksi kebutuhan energi listrik Provinsi Lampung. *Jurnal Teknologi Pintar*, 2(12).
- Standard, A. M. N. A. S. T. (2009). *Standard for acceptance testing specifications for electrical power equipment*.
- Utomo, H. B., Putri, E. B., & Kunci, K. (2021). Perhitungan rugi-rugi pada transformator akibat harmonisa dan perancangan filter pasif menggunakan MATLAB. *Prosiding The 12th Industrial Research Workshop and National Seminar*, 2(1).

Windra, I. Y. (2022). Simulasi perancangan infrastruktur jaringan komputer pada Institut Teknologi Keling Kumang menggunakan pendekatan Network Development Life Cycle (NDLC). *Hunatech*, 1(2).



© 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY SA) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)