

"ANALISIS KEGAGALAN KETAHANAN ISOLASI TRANSFORMATOR DAYA MENGGUNAKAN METODE APPLIED VOLTAGE TEST"

Oleh:

Mohammad Feri

Jamaaluddin

Progam Studi Teknik Elektro

Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Juni, 2025



Pendahuluan

Transformator daya adalah komponen vital dalam system kelistrikan yang berfungsi mengalirkan energi dengan efisiensi tinggi. Salah satu aspek kritis dalam keandalan transformator adalah ketahanan isolasi, yang memastikan kinerja optimal dan mencegah kerusakan.

- Isolasi transformator memisahkan bagian bertegangan dan melindungi dari kerusakan listrik
- Dua jenis isolasi: kertas isolasi dan oli isolasi.
- Data PT XYZ menunjukkan 2-3% transformator baru mengalami kegagalan ketahanan isolasi.

Pendahuluan

Kualitas Ketahanan Isolasi Diketahui Melalui Pengujian

1. Bersifat merusak :

- Applied Voltage Test
- Lightning Impulse Test

2. Tidak merusak :

- Polarisasi Indeks
- Tangen Delta
- Oil Breakdown Voltage

3. Keunggulan Applied Voltage Test :

- Mensimulasikan kondisi ekstrem dilapangan
- Mendeteksi potensi kerusakan isolasi secara langsung

Kegagalan data

- Rata-rata 2-3% transformator baru gagal pengujian isolasi selama 3 bulan terakhir (2024).
- Potensi kegagalan tetap ada meskipun produk baru.

Pentingnya Pengujian

- Menentukan kelayakan transformator untuk didistribusikan.
- Deteksi dini untuk mencegah kerusakan di lapangan.

Penelitian Terdahulu

1. Ani Handayani (2019): Analisis kegagalan transformator 2 MVA.
Fokus: kinerja transformator selama pemakaian.
2. Muhammad Firdaus Robbani (2020):
Penurunan kualitas isolasi pada transformator operasional >10 tahun.

Perbedaan:

Fokus pada transformator baru dan menggunakan metode applied voltage test.

Rumusan Masalah

- Apa saja faktor utama yang mempengaruhi hasil applied voltage test dalam mendeteksi ketahanan isolasi pada transformator baru PT XYZ?
- Bagaimana cara meminimalisir resiko kegagalan ketahanan isolasi pada transformator baru produk PT XYZ?

Tujuan Penelitian

- Mengidentifikasi faktor-faktor utama yang mempengaruhi hasil pengujian applied voltage test pada transformator produk baru PT XYZ .
- Hasil penelitian ini diharapkan menjadi indikator dalam upaya meminimalkan resiko kegagalan ketahanan isolasi transformator PT XYZ.

Batasan Penelitian

- a) Penelitian ini hanya akan membahas transformator baru yang diproduksi oleh PT XYZ pada tahun 2024.
- b) Pengujian yang dianalisis hanya dibatasi dengan pengujian applied voltage test sebagai metode utama pengujian ketahanan isolasi.
- c) Penelitian ini tidak akan membahas tentang kegagalan transformator yang disebabkan faktor eksternal seperti kerusakan akibat pemakaian dilapangan atau beban operasional.

Metode

Tempat dan Waktu Penelitian

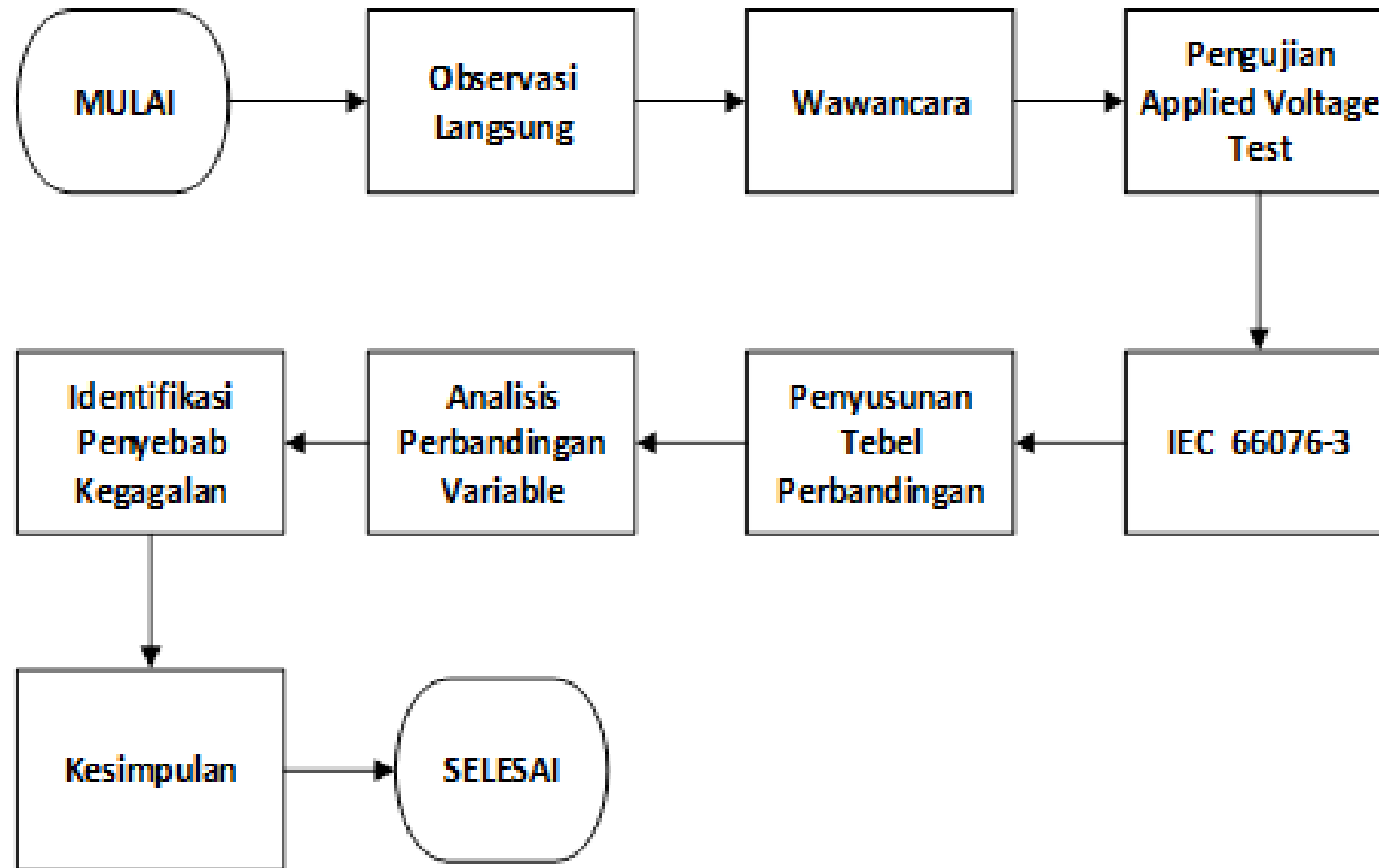
Tempat Penelitian:

Penelitian ini dilakukan di sebuah perusahaan yang bergerak dibidang pembuatan transformator daya di Jawa Timur. Nama dan lokasi perusahaan disamarkan untuk menjaga privasi.

Waktu Penelitian:

Untuk dapat hasil pengujian yang akurat penelitian ini akan dilakukan pada bulan Oktober 2024 sampai Februari 2025.

Diagram Alur



Teknik Pengumpulan Data

1. **Observasi langsung:**

Observasi ini dilakukan untuk memahami pengujian Applied Voltage Test & standar yang diterapkan.

2. **Wawancara:**

Informasi yang diperoleh meliputi prosedur standar dalam pengujian ketahanan isolasi, serta tantangan atau kendala yang dihadapi selama pengujian

Applied Voltage Test

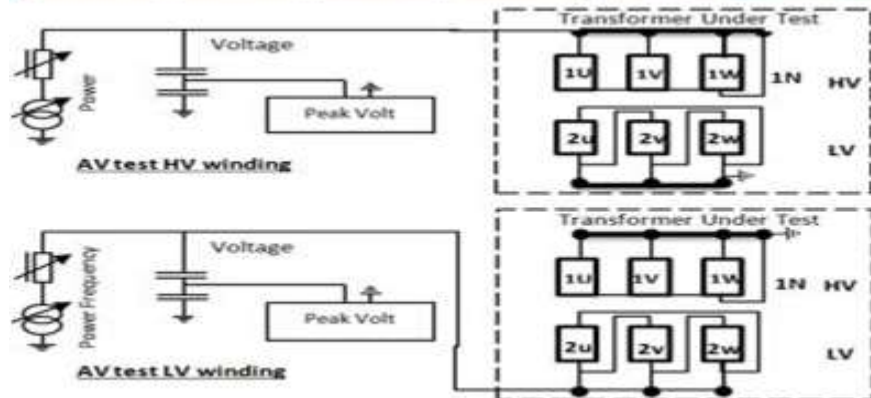
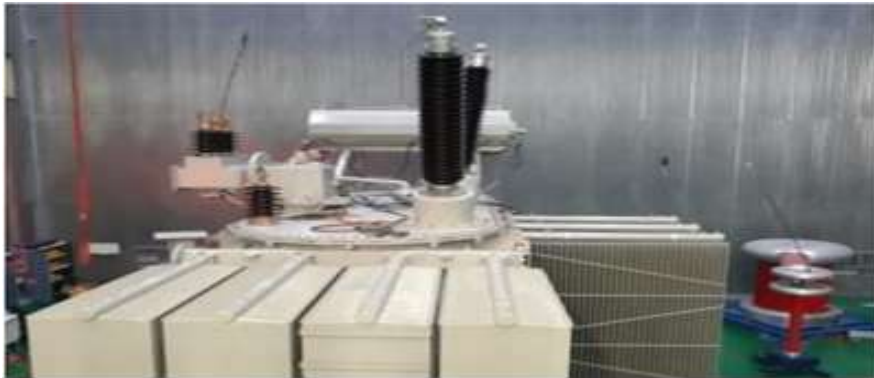
Tujuan: Menguji isolasi terhadap tegangan tinggi.

Tahapan:

1. Penerapan tegangan tinggi (melebihi operasional normal).
2. Lama pengujian: 1 menit (mengacu standar IEC 60076-3).
3. Pengawasan arus bocor: Indikator kegagalan isolasi Maks 1 Ampere.

Data

Gambar rangkaian



Test voltage levels-IEC66076-3

Table 2 – Test voltage levels (1 of 2)

Highest Voltage for equipment winding U_m kV	Full Wave Lightning Impulse (LI) kV	Chopped Wave Lightning Impulse (LICI) kV	Switching impulse (SI) kV	Applied voltage or line terminal AC withstand (AV) (LTAC) kV
<1,1	—	—	—	3
3,6	20	22	—	10
	40	44	—	10
7,2	60	66	—	20
	75*	83*	—	20
	75	83	—	28
12	95	105	—	28
	110*	121*	—	34*
17,5	95	105	—	38
	125*	138*	—	38
	125	138	—	50
24	145	160	—	50
	150*	165*	—	50
36	170	187	—	70
	200*	220*	—	70
52	250	275	—	95
72,5	325	358	—	140
	350*	385*	—	140
100	450	495	375*	185
123	550	605	460*	230
	550	605	460*	230
145	650	715	540*	275
	650	715	540*	275
170	750	825	620*	325
	750	825	620*	325
245	950	1 045	750*	385
	1 050	1 155	850*	460
300	950	1 045	750	395
	1 050	1 155	850	460
362	1 050	1 155	850	460
	1 175	1 290	950	510
	1 175	1 290	950	510
420	1 300	1 430	1 050	570
	1 425	1 570	1 175*	630

Teknik Analisis Data

A. Penyusunan Tabel Perbandingan

- Data dari pengujian applied voltage test disusun dalam bentuk tabel.

B. Analisis Perbandingan Variabel

- Membandingkan data antara transformator yang lolos uji dan yang gagal.

C. Identifikasi Penyebab Kegagalan

- Variabel yang menunjukkan perbedaan signifikan akan dijadikan indikator utama.
- Dilakukan investigasi tambahan (misalnya pembongkaran) untuk memeriksa kondisi isolasi secara fisik.

D. Tujuan Analisis:

- Mengungkap faktor utama penyebab kegagalan.

Tabel Perbandingan

VARIABLE	TRANSFORMATOR UJI 1	TRANSFORMATOR UJI 2	IEC 66076-3	
<u>Kapasitas</u>	(....) KVA	(....) KVA	-	
<u>Tegangan Primer</u>	(....) kV	(....) kV	-	
<u>Tegangan Sekunder</u>	(....) kV	(....) kV	-	
Vector Group	(....) Class	(....) Class	-	
<u>Tipe Kertas Isolasi</u>	(....) Class	(....) Class	-	
<u>Tipe Oli Isolasi</u>	(....) Class	(....) Class	-	
<u>Nilai Tahanan Isolasi</u>	(....) Ω	(....) Ω	$\geq 1000 \text{ M}\Omega$	
Hasil AV Test	(....) Yes/No	(....) Yes/No	-	
<u>Nilai Arus Bocor</u>	(....) mA	(....) mA	$\leq 1 \text{ A}$	
<u>Nilai Tegangan Tembus</u>	(....) kV	(....) kV	50kV/60s	

Hasil dan Pembahasan

Data Sheet Penelitian

Spesifikasi Transformator Uji Terdandan Pencluiian

Parameter	Test TR 1	Test TR 2
Capacity	1000 KVA	1000 KVA
Primary Voltage	20 kV	20 kV
Secondary Voltage	400 V	400 V
Vector Group	Dyn5	Dyn5
Phase	3	3
Frequency	50 Hz	50 Hz
Type	Indoor/Outdoor	Indoor/Outdoor

Material Transformator

Material	Test TR 1	Test TR 2
Insulation Paper Type	Class A	Class A
Insulation Oil Type	Mineral	Mineral
Conductor Type	Copper	Copper

Level

Winding insulation class based on voltage	Applied voltage test voltage
>1.1 kV	3 kV
3.6 kV	10 kV
7.2 kV	20 kV
12 kV	28 kV
17.5 kV	38 kV
24 kV	50 kV
36 kV	70 kV
53 kV	95 kV

Hasil dan Pembahasan

Data Hasil Pengujian

Hasil Pengujian Applied Voltage Test

<u>Varaiable</u>	Test TR 1	Test TR 2	IEC 66076-3
Pri AV Test	Pass	Fail	Pri & Sec Pass
Sec AV Test	Pass	Pass	Pri & Sec Pass
Pri Leak Curr	118,9 mA	>1A	>1A
Sec Leak Curr	27,3 mA	29,0 mA	>1A
Pri BDV	50 kV	47 kV	50kV/60s
Sec BDV	3 kV	3 kV	3kV/60s

Hasil Pengujian Lainnya

<u>Varaiable</u>	Test TR 1	Test TR 2	IEC 66076-3
IR Value	1693 mΩ	1551 mΩ	>1000 mΩ
Oil BDV Value	78 kV	77 kV	>55 kV
PI Value	2.14	1.15	>1.25

Pembahasan PI

- Dari hasil uji indeks polarisasi yang dilakukan selama 10 menit, diperoleh data sebagai berikut :
- Transformator Uji 1: R1 (1 menit) = 1.693 GΩ, R10 (10 menit) = 3.623 GΩ
- Transformator Uji 2: R1 (1 menit) = 1.551 GΩ, R10 (10 menit) = 1.784 GΩ
- Nilai Indeks Polarisasi (PI) dapat dihitung dengan rumus :
 - $$PI = \frac{R_{10}}{R_1} \quad (1)$$
- Transformator Uji 1 : PI = 3,623/1,693 = 2,14
- Transformator Uji 2 : PI = 1,784/1,551 = 1,15
- Berdasarkan standar IEC 66076-3, nilai PI minimum yang direkomendasikan adalah 1,25. Trafo 1 memenuhi standar ini dengan nilai PI = 2,14, sementara Trafo 2 gagal dengan nilai PI = 1,15. Korelasi antara nilai PI yang rendah pada trafo kedua dan kegagalan dalam Applied Voltage Test menunjukkan degradasi sistem isolasi yang signifikan.

Hasil Investigasi Lanjutan

Kondisi kertas isolasi



Kondisi Kerusakan Kertas Isolasi



Dampak kondisi



Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa Applied Voltage Test merupakan metode yang efektif untuk mendeteksi kegagalan ketahanan isolasi pada transformator daya baru. Penelitian ini berhasil mengidentifikasi bahwa degradasi kertas isolasi pada transformator Unit 2 kemungkinan besar disebabkan oleh paparan suhu tinggi dan kelembaban selama proses produksi. Temuan ini menekankan pentingnya kualitas bahan dan ketepatan dalam proses produksi untuk memastikan keandalan trafo. Selain itu, nilai Polarization Index (PI) yang rendah dapat menjadi indikator awal degradasi isolasi. Rekomendasi untuk meningkatkan kontrol kualitas bahan dan proses produksi diusulkan guna meminimalkan risiko kegagalan isolasi pada trafo baru di masa depan.

Referensi

1. R. Ondrialdi and U. Situmeang, "Analisis Pengujian Kualitas Isolasi Transformator Daya di PT. Indah Kiat Pulp and Paper Perawang," SainETIn J. Sains ..., 2020.
2. J. Jamaaluddin et al., "Heat Transfer Management of Solar Power Plant for Dryer," Int. J. Eng. Appl., vol. 12, no. 3, pp. 195–203, 2024.
3. I. Ilyas and M. T. Agassy, "Analisis Kegagalan Current Transformer (Ct) Tipe Dua Belitan Sekunder Dengan Inti Magnetik Terpisah Pada Sistem Proteksi Dan Pembatas Daya," SINUSOIDA, 2021.
4. J. Jamaaluddin, S. D. Ayuni, and I. A. S. Wulandari, "Design of Automatic Transfer Switch System Solar Power Plant – PLN," J. Electr. Technol. UMY, vol. 7, no. 2, pp. 57–64, 2024.
5. J. Smajic et al., "Lightning impulse modeling and simulation of dry-type and oil-immersed power- and distribution transformers," J. Energy - Energ., vol. 63, no. 1–4, pp. 235–243, 2022.
6. J. Jamaaluddin, I. Anshory, and S. D. Ayuni, "Analysis of Overcurrent Safety in Miniature Circuit Breaker with Alternating Current," vol. 5, no. 2, pp. 68–73, 2021.

