

**ANALISIS TAHANAN ISOLASI TRANSFORMATOR DAYA
BERDASARKAN HASIL UJI INDEKS POLARISASI, TANGEN DELTA
DAN *BREAK DOWN VOLTAGE* DI GARDU INDUK 150 KV KENTUNGAN**

Devianto Alif Febriari
Jurusan Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan Lingkar
Selatan, Kasihan, Bantul Yogyakarta 55183
E-mail: Deviandraalfi@gmail.com

INTISARI

Isolasi pada transformator merupakan salah satu komponen yang sangat penting. Sehingga kualitas dari tahanan isolasi transformator sangat perlu diperhatikan kondisinya. Untuk mengetahui kondisi dari isolasi transformator tersebut harus melalui beberapa pengujian yaitu indeks polarisasi, tangen delta dan *break down voltage*. Pada penulisan tugas akhir ini, Pengujian tersebut dilakukan pada Transformator 2 di Gardu Induk 150 kV Kentungan. Pengujian indeks polarisasi merupakan pengujian arus bocor pada isolasi transformator. Tangen delta merupakan pengujian arus bocor kapasitif pada isolasi transformator. Dan *break down voltage* merupakan pengujian kemampuan tegangan tembus pada minyak isolasi transformator

Berdasarkan hasil analisis hasil dapat diketahui nilai indeks polarisasi transformator pada tahun 2017 dan tahun 2019 rata-rata nilai antar belitannya sudah berada di rating 1,25-2,0. Kemudian untuk hasil uji tangen delta nya pada tahun 2017 dan tahun 2019 nilai antar kapasitif nya sudah berada di rating 0,18%-0,37% / <0,5%. Dan untuk hasil uji *break down voltage* pada tahun 2017 dan tahun 2019 rata-rata nilai tegangan tembusnya 59,6 kV/2,5 mm - 67,7 kV/2,5 mm.

Kata kunci: Transformator, Tahanan Isolasi, Indeks Polarisasi, Tangen Delta,
Break Down Voltage.

1. PENDAHULUAN

Transformator merupakan peralatan utama dalam sistem tenaga listrik, karena berhubungan langsung

dengan sistem transmisi dan distribusi listrik. Gangguan yang terjadi pada transformator dapat mengakibatkan terputusnya daya listrik ke konsumen,

oleh karena itu perawatan dan pengujiannya perlu dilakukan secara rutin agar transformator dapat beroperasi sesuai masa pemakaian maksimumnya.

Ada beberapa bagian penting pada transformator daya yang membutuhkan perawatan rutin dan khusus. Dan salah satu bagian penting dari transformator daya adalah sistem isolasi. Penurunan kondisi isolasi pada transformator ini dapat menyebabkan kegagalan operasi dan kerusakan pada transformator. Untuk mencegah kegagalan transformator pada saat beroperasi, beberapa pengujian penting lebih sering dilakukan untuk menentukan status kondisi transformator. Sehingga kegagalan operasi pada transformator dapat dicegah sebelum terjadinya kerusakan pada transformator. Karena kerusakan pada transformator daya dapat

mengganggu sistem pendistribusian energi listrik ke masyarakat.

Preventive maintenance perlu dilakukan untuk perawatan dan pengujian pada transformator daya sebagai pencegahan terjadinya kegagalan operasi. Preventive maintenance sendiri merupakan pemeliharaan rutin yang dilakukan berdasarkan internal waktu yang telah ditetapkan dalam persyaratan atau kriteria tertentu yang dimaksudkan untuk mengurangi serta mencegah suatu peralatan mengalami kondisi yang tidak diinginkan. Beberapa metode pengujian tahanan isolasi yang dilakukan pada saat preventive maintenance transformator daya yaitu pengujian indeks polarisasi, ratio tegangan, tangen delta dan pengujian kondisi minyak menggunakan BDV (*break down voltage*).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Transformator

Transformator atau biasa disebut dengan “*transformer*” adalah sebuah peralatan pada sistem tenaga listrik yang dapat mengubah tegangan listrik AC pada satu level tegangan tertentu

ke level tegangan yang lebih tinggi ataupun level tegangan yang lebih rendah. Transformator pada sistem tenaga listrik biasanya digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan AC (*transformator step up dan step down*).

2.2 Pengujian Isolasi Transformator

Pengujian isolasi transformator adalah sebuah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kondisi dan kualitas dari isolasi pada transformator. Pengujian ini merupakan salah satu pengujian rutin atau preventive maintenance pada transformator yang dimana pengujian ini dilakukan dengan internal waktu yang telah ditetapkan. Pengujian ini terbagi dari beberapa pengujian seperti pengujian indeks polarisasi, tangen delta, ratio tegangan dan tegangan tembus pada minyak transformator (BDV).

2.3 Indeks Polarisasi

Indeks polarisasi adalah sebuah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui besar kebocoran arus (*leakage current*). *Leakage current* sendiri merupakan arus konduksi nyata pada isolasi. dengan membandingkan hasil pengujian selama 10 menit dengan hasil pengujian selama 1 menit. Untuk perhitungan indeks polarisasi dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

Keterangan:

IP = Indeks Polarisasi

R_{10} = Nilai tahanan isolasi saat pengujian selama 10 menit (Ω)

R_1 = Nilai tahanan isolasi saat pengujian selama 1 menit (Ω)

2.4 Tangen Delta

Pengujian tangen delta merupakan pengukuran kerugian dielektrik untuk mengetahui kualitas isolasi belitan dengan mengukur arus bocor kapasitif. Trafo yang akan diuji dianggap sebagai kapasitor murni.

Tangen delta sendiri merupakan hasil dari perbandingan antara arus resistif dengan arus kapasitif, dimana rumus tangen delta yang di dapat sebagai berikut.

$$\tan \delta = \frac{I_R}{I_C}$$

$$\tan \delta = \frac{P_{loss}/V}{V \cdot \omega \cdot C}$$

$$\tan \delta = \frac{P_{loss}}{V^2 \cdot \omega \cdot C}$$

Keterangan:

$\tan \delta$ = Tangen Delta (%)

P_{loss} = Losses Daya (W)

V = Tegangan (V)

ω = $2\pi f$

C = Kapasitansi (F)

2.5 Break Down Voltage

Break Down Voltage adalah sebuah uji tegangan tembus pada minyak transformator, pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi minyak transformator sebagai isolasi. Karena minyak transformator ini memiliki tingkat isolasi yang lebih baik jika dibandingkan dengan udara bebas.

Untuk perhitungan nilai dielektrik pada minyak isolasi dapat menggunakan rumus sebagai berikut.

$$E_{rata-rata} = \frac{V_b(rata-rata)}{d} \text{ (kV/mm)}$$

Keterangan:

E rata-rata = Kekuatan Dielektrik (kV/mm)

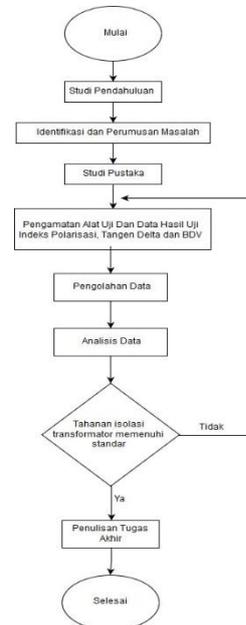
Vb = Tegangan Tembus (kV)

d = Jarak Sela (mm)

3. METODE PENELITIAN

Untuk mendapatkan perumusan, analisis dan pemecahan masalah dalam penulisan tugas akhir, maka dibutuhkan suatu metode pengumpulan data yang lengkap, relevan dan kebenarannya dapat dipercaya.

Flowchart metodologi penelitian yang dilakukan dalam penulisan tugas akhir ditunjukkan pada gambar 3.2 berikut



Gambar 3.1 *Flowchart* metodologi penelitian

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Indeks Polarisasi

Pada tabel 4.1 berikut adalah tabel data hasil uji indeks polarisasi pada Trafo 2 Tahun 2017 dan Tahun 2019

Tabel 4.1 Hasil Uji Indeks Polarisasi Tahun 2017 dan Tahun 2019

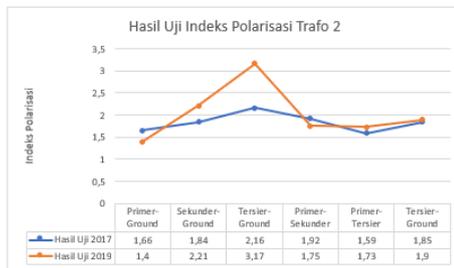
No.	Aktifitas	Hasil Uji Sebelumnya (2017)		Hasil Uji Saat Ini (2019)	
		1 M.émit (V.D)	10 M.émit (V.D)	1 M.émit (V.D)	10 M.émit (V.D)
1.	Primer-Ground	3.280	5.470	4.100	5.750
2.	Sekunder-Ground	3.070	5.670	2.350	5.200
3.	Tersier-Ground	2.950	6.390	1.680	5.330
4.	Primer-Sekunder	2.570	4.940	3.350	5.870
5.	Primer-Tersier	4.970	7.950	4.540	7.890
6.	Sekunder-Tersier	1.840	3.410	1.750	3.340

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Indeks Polarisasi Tahun 2017 dan Tahun 2019

No.	Aktifitas	Hasil Uji Sebelumnya (2017)		Hasil Uji Saat Ini (2019)	
		IP	Keterangan	IP	Keterangan
1.	Primer-Ground	1,66	Baik	1,4	Baik
2.	Sekunder-Ground	1,84	Baik	2,21	Sangat Baik
3.	Tersier-Ground	2,16	Sangat Baik	3,17	Sangat Baik
4.	Primer-Sekunder	1,92	Baik	1,75	Baik
5.	Primer-Tersier	1,59	Baik	1,73	Baik
6.	Sekunder-Tersier	1,85	Baik	1,9	Baik

Tabel 4.3 Klasifikasi Kondisi Hasil Uji Indeks Polarisasi

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



Gambar 4.1 Grafik hasil Uji Indeks Polarisasi Tahun 2017 dan Tahun 2019

Dari hasil uji dan hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa kondisi dari belitan isolasi pada Transformator 2 150kV Gardu induk Kentungan masih dalam keadaan baik, karena hasil uji dan hasil perhitungan uji indeks polarisasi di atas masih dalam klasifikasi nilai standard uji indeks polarisasi yang diijinkan yaitu 1,25-2 kondisi (baik).

4.2 Pengujian Tangen Delta

Pada tabel 4.4 dan tabel 4.5 berikut adalah tabel data hasil uji tangen delta tahun 2017 dan Tahun 2019

Tabel 4.4 Hasil Uji Tangen Delta tahun 2017

Pengujian	Test kV	Ic (mA)	Watts	Cap (pF)
Inject HV: Primer				
CHL	10,00	21,114	0,3836	6.721,79
CH	10,00	11,156	0,3589	3.559,49
CH+CHL	10,00	32,205	0,7517	10.262,25
Inject HV: Sekunder				
CLT	10,00	46,290	1,0686	14.749,83
CL	10,00	4,010	0,2653	1.277,45
CL+CLT	10,00	50,191	1,3592	15.993,71
Inject HV: Tersier				
CHT	2,00	0,102	0,0006	163,54
CT	2,00	8,021	0,0593	12.768,30
CT+CHT	2,00	8,101	0,0596	12.932,65

Tabel 4.5 Hasil Uji Tangen Delta tahun 2019

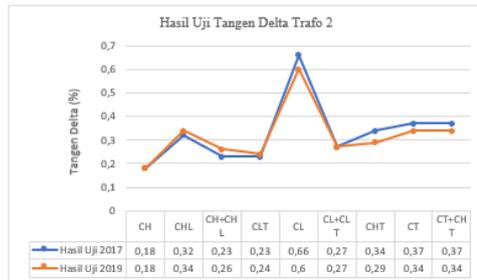
Pengujian	Test kV	Ic (mA)	Watts	Cap (pF)
Inject HV: Primer				
CHL	10,00	21,018	0,3809	6.697,72
CH	10,00	11,106	0,4237	3.539,56
CH+CHL	10,00	32,084	0,8245	10.230,71
Inject HV: Sekunder				
CLT	10,00	46,581	1,1213	14.847,25
CL	10,00	3,990	0,2417	1.271,06
CL+CLT	10,00	50,526	1,3752	16.105,19
Inject HV: Tersier				
CHT	2,00	0,102	0,0006	163,02
CT	2,00	8,002	0,0548	12.755,96
CT+CHT	2,00	8,102	0,0553	12.918,90

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Tangen Delta tahun 2017 dan Tahun 2019

Pengujian	Hasil Uji Sebelumnya (2017)		Hasil Uji Saat Ini (2018)	
	Tangen Delta	Keterangan	Tangen Delta	Keterangan
Inject HV: Primer				
CHL	0,18%	Bagus	0,18%	Bagus
CH	0,32%	Bagus	0,34%	Bagus
CH+CHL	0,23%	Bagus	0,26%	Bagus
Inject HV: Sekunder				
CLT	0,23%	Bagus	0,24%	Bagus
CL	0,66%	Mengalami Penurunan	0,60%	Mengalami Penurunan
CL+CLT	0,27%	Bagus	0,27%	Bagus
Inject HV: Tersier				
CHT	0,34%	Bagus	0,29%	Bagus
CT	0,37%	Bagus	0,34%	Bagus
CT+CHT	0,37%	Bagus	0,34%	Bagus

Tabel 4.7 Klasifikasi kondisi Hasil Uji Tangen Delta

Hasil Uji	Kondisi
< 0,5%	Bagus
IV 0,5% - 0,7 %	Mengalami penurunan
IV 0,7% - 1,0 %	Perlu investigasi
IV 1,0 %	Jelek, perlu reklamasi



Gambar 4.2 Grafik hasil Uji Tangen Delta Tahun 2017 dan Tahun 2019

Dari hasil uji dan hasil perhitungan pada tabel 4.6 dan sesuai dengan grafik pada gambar 4.2 berikut dapat disimpulkan bahwa sesuai dengan klasifikasi kondisi hasil uji tangen delta yang diijinkan, kondisi kualitas dari belitan isolasi pada transformator 2 150kV Gardu induk Kentungan dalam keadaan baik. karena nilai hasil uji dan hasil perhitungan tangen delta pada tahun 2017 dan tahun 2019 rata rata masih dalam kondisi bagus/baik. Walaupun perubahan nilai tangen deltanya tidak terlalu signifikan tetapi hal tersebut sudah cukup untuk meningkat kan kondisi isolasi pada transformator.

4.3 Analisis Pengaruh Arus Resistif (I_R) Terhadap Losses Daya.

Arus resistif (I_R) adalah arus yang mengalir melalui isolasi yang memiliki komponen resistif. Arus resistif merupakan salah satu indikator untuk mengetahui kondisi dari isolasi transformator. Arus resistif juga merupakan salah satu penyebab timbulnya losses daya pada isolasi transformator.

Dan berikut ini adalah cara menentukan nilai I_R pada isolasi transformator.

Perhitungan I_R

$$P_{loss} = V \cdot I_R$$

$$I_R = \frac{P_{loss}}{V}$$

$$I_R = \frac{0,2653}{10.000}$$

$$I_R = 0,026 \text{ mA}$$

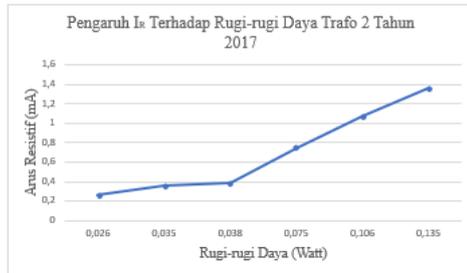
Data nilai I_R yang dihasilkan Trafo 2 tahun 2017 dan tahun 2019 dapat dilihat pada tabel 4.8 dan tabel 4.9 berikut.

Tabel 4.8 Data nilai I_R Trafo 2 tahun 2017

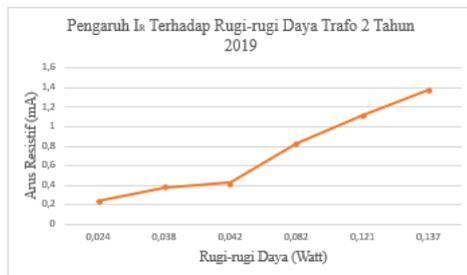
Losses Daya (watt)	Tegangan Uji (kV)	Arus Resistif (mA)
0,2653	10,00	0,026
0,3589	10,00	0,035
0,3836	10,00	0,038
0,7517	10,00	0,075
1,0686	10,00	0,106
1,3592	10,00	0,135

Tabel 4.9 Data nilai I_R Trafo 2 tahun 2019

Losses Daya (watt)	Tegangan Uji (kV)	Arus Resistif (mA)
0,2417	10,00	0,024
0,3809	10,00	0,038
0,4237	10,00	0,042
0,8245	10,00	0,082
1,1213	10,00	0,121
1,3752	10,00	0,137



Gambar 4.3 Grafik Pengaruh I_R Terhadap Rugi-rugi Daya Tahun 2017



Gambar 4.4 Grafik Pengaruh I_R Terhadap Rugi-rugi Daya Tahun 2019

Dari kedua grafik berikut dapat di simpulkan bahwa nilai I_R akan mempengaruhi besarnya nilai dari losess daya. Dari kedua grafik diatas dapat di simpulkan bahwa besarnya nilai losess daya yang dihasilkan dari transformator tersebut berbanding lurus dengan besarnya nilai I_R pada yang dihasilkan oleh transformator dengan menggunakan tegangan yang sama. Nilai I_R ini disebabkan adanya

kontaminasi dan penurunan kualitas pada isolasi transformator. Oleh sebab itu perawatan dan pemeliharaan pada bagian isolasi transformator sangat diperlukan untuk menghilangkan nilai I_R pada isolasi transformator.

4.4 Analisis Pengaruh Arus Resistif I_R Terhadap Nilai Tangen Delta

Data pengaruh I_R terhadap nilai tangen delta dapat dilihat pada tabel 4.10 berikut.

Tabel 4.10 Data pengaruh I_R terhadap nilai Tangen Delta

Tan δ		I_R (mA)	
Hasil Uji Sebelumnya	Hasil Uji Saat Ini	Hasil Uji Sebelumnya	Hasil Uji Saat Ini
0,66 %	0,60 %	0,026	0,024



Gambar 4.5 Grafik Pengaruh I_R Terhadap nilai Tangen Delta

Dari tabel dan grafik pada gambar 4.10 berikut dapat disimpulkan bahwa hubungan antara I_R dan tan δ dengan nilai I_C yang tetap adalah searah. Dari pernyataan tersebut jadi semakin kecil nilai I_R nya

maka akan semakin kecil juga nilai dari $\tan \delta$ nya.

4.5 Pengujian *Break Down Voltage*

Hasil pengujian *Break Down Voltage* pada transformator 2 tahun 2017 dan tahun 2019 dapat dilihat pada tabel 4.11 berikut.

Tabel 4.11 Data hasil pengujian *Break Down Voltage*

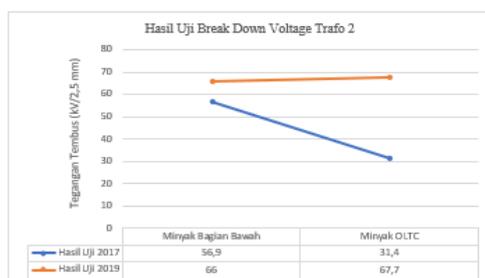
Minyak	Test ke-	Hasil Uji Sebelumnya (2017)	Hasil Uji Saat Ini (2019)
Minyak Bagian Bawah	1	62,2 kV	75,5 kV
	2	63,6 kV	76,3 kV
	3	56,9 kV	58,0 kV
	4	56,1 kV	62,0 kV
	5	55,0 kV	58,8 kV
	6	47,3 kV	65,8 kV
	Rata-rata	56,9 kV	66,0 kV
Minyak OLTC	1	39,9 kV	75,8 kV
	2	34,3 kV	59,4 kV
	3	32,0 kV	60,8 kV
	4	24,3 kV	73,3 kV
	5	25,8 kV	59,4 kV
	6	32,1 kV	73,7 kV
	Rata-rata	31,4 kV	67,7 kV

Tabel 4.12 Data perhitungan hasil pengujian *Break Down Voltage*

Minyak	Hasil Uji Sebelumnya (2017)		Hasil Uji Saat Ini (2019)	
	BDV	Keterangan	BDV	Keterangan
Minyak Bagian bawah	59,6 kV/2,5 mm	Bagus	66,8 kV/2,5 mm	Bagus
Minyak OLTC	31,4 kV/2,5 mm	Buruk	67,7 kV/2,5 mm	Bagus

Tabel 4.12 Klasifikasi kondisi hasil uji *Break Down Voltage*

Tegangan (kV)	Bagus (kV/mm)	Buruk (kV/mm)
< 70	>= 30 kV/2.5 mm	<= 30 kV/2.5 mm
70-170	>= 40 kV/2.5 mm	<= 40 kV/2.5 mm
> 170	>= 50 kV/2.5 mm	<= 50 kV/2.5 mm



Gambar 4.4 Grafik hasil uji *Break Down Voltage*

Dari hasil uji dan hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa sesuai dengan Klasifikasi kondisi hasil uji *Break Down Voltage* kondisi dari kualitas minyak isolasi pada Transformator 2 150 kV Gardu induk Kentungan dalam keadaan baik/bagus. Namun ada salah satu kondisi yaitu pada bagian minyak OLTC pada hasil uji tahun 2017, nilai hasil uji BDV pada bagian minyak OLTC tahun 2017 mengalami kondisi penurunan yaitu sebesar 31,4kV/2,5mm, yang nilai tersebut jika sesuai dengan nilai klasifikasi kondisi hasil uji Break Down Voltage nilai hasil uji BDV pada bagian minyak OLTC tahun 2017 tersebut dikategorikan buruk/kurang bagus.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian tentang pengujian tahanan isolasi transformator daya di Gardu Induk 150 kV Kentungan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat diketahui bahwa cara pengujian isolasi pada transformator daya melalui 3 proses pengujian yaitu pengujian indeks polarisasi, pengujian

tangen delta dan pengujian *break down voltage*.

2. Berdasarkan hasil penelitian tersebut sesuai dengan klasifikasi beberapa kondisi hasil pengujian dari tahanan isolasi transformator 2 150kV gardu induk Kentungan, Dari ketiga point pengujian tahanan isolasi yaitu pengujian indeks polarisasi, pengujian tangen delta dan pengujian *break down voltage*, kondisi tahanan isolasi transformator 2 150kV gardu induk Kentungan ini dalam kondisi bagus karena hasil pengujian dari tahanan isolasi transformator 2 150kV gardu induk Kentungan sudah memenuhi standar kondisi / sesuai dengan nilai klasifikasi kondisi dari nilai tahanan isolasi sesuai dengan tahap pengujian yang dilakukan. Dan dapat dikatakan kondisi dari tahanan isolasi tersebut dalam kondisi baik/bagus.
3. Berdasarkan hasil uji tahanan isolasi pada Trafo 2 ini dapat disimpulkan bahwa terjadi peningkatan kondisi isolasi transformator berdasarkan hasil

perbandingan dari hasil uji tahun 2017 dengan hasil uji 2019. Hal ini terjadi karena adanya proses perbaikan pada isolasi transformator berupa purifikasi dan vacuum.

DAFTAR PUSTAKA

- André P. Marques, dkk. (2017). *“Insulation Resistance of Power Transformers – Method for Optimized Analysis”*. IEEE International Conference on Dielectric Liquids (ICDL).
- Fajarwati, Miranti. (2018). *“Analisis Hasil Pengujian Transformator III 150/20kV 16MVA GI Jajar Dalam Keadaan Padam”*. Surakarta.
- Koltunowicz, Tomasz. (2011). *“The Influence of Square Voltage Waveforms on Transformers Insulation Break Down Voltage”*. Italy.
- Megger. (2010). *“DELTA 4000 12 kV Insulation Diagnostic System:*

- Reference Manual Application Guide*". USA
- Mudjiono, Urip. (2012). "*Pengujian Tegangan Tembus Isolasi Minyak Transformator Fasilitas Gedung Rektorat Universitas Airlangga Surabaya*". Surabaya.
- Peter, Geno. (2011). "A Review about Testing of Distribution Transformers". India.
- Shaulagara, Shaga dkk. (2017). "*The Through Fault Current effect of 150/20 kV Transformer to Its Insulation Resistance and Tan Delta test in PT. PLN (Persero) TJBB APP Durikosambi*". Bali.
- Thomson, James A. (2007). "*IEEE Guide for Acceptance and Maintenance of Insulating Oil in Equipment*". IEEE Power Engineering Society. USA.