

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

Arief Rahman Hidayat

Department of Electrical Engineering, University of Muhammadiyah Yogyakarta
Integrated Campus of UMY, Lingkar Selatan Street, Kasihan, Bantul Yogyakarta 55183
E-mail: rarief40@gmail.com

INTISARI

Isolasi pada transformator merupakan salah satu komponen yang sangat penting. Sehingga kualitas tahanan pada isolasi transformator sangat perlu diperhatikan kondisinya. Untuk mengetahui kondisi dari isolasi transformator harus melakukan beberapa pengujian yaitu indeks polarisasi, tangen delta dan break down voltage. Pada penulisan tugas akhir ini, ketiga pengujian tersebut dilakukan pada Trafo 1 di Gardu Induk 150 kV Bantul. Pengujian indeks polarisasi sendiri merupakan pengujian arus bocor pada isolasi transformator dengan membandingkan hasil uji selama 1 menit dengan hasil uji selama 10 menit. Sementara 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 dapat diketahui nilai indeks polarisasi transformator pada tahun 2016 dan tahun 2018 rata-rata nilai antar belitannya sudah berada di rating 1,25-2,0. Sementara untuk hasil uji tangen delta pada tahun 2016 dan tahun 2018 nilai antar bagian kapasitif nya sudah berada di rating 0,18%-0,36%. Dan untuk hasil uji break down voltage pada tahun 2016 dan tahun 2018 rata-rata nilai tegangan tembusnya 43,9 kV/mm-65,5 kV/mm.

Kata kunci: Transformator, Tahanan Isolasi, Indeks Polarisasi, Tangen Delta,

Break Down Voltage.

1. PENDAHULUAN

3.1. Latar Belakang

Saat ini energi listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok bagi kehidupan manusia. Hampir semua manusia setiap harinya membutuhkan energi listrik. Semakin lama kebutuhan listrik di Indonesia semakin meningkat dan tidak hanya untuk kebutuhan pribadi tetapi juga untuk kebutuhan umum yang semakin bertambah seiring dengan majunya infrastruktur di

berbagai daerah. Untuk memenuhi banyaknya kebutuhan energi listrik maka dibutuhkan sistem ketenagalistrikan yang handal, seperti transformator daya yang ada di gardu induk.

Transformator daya merupakan peralatan utama dalam sistem tenaga listrik, karena berhubungan langsung dengan sistem transmisi dan distribusi listrik. Transformator daya

berfungsi untuk mengubah daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau dari tegangan rendah ke tegangan yang lebih tinggi. 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. Isolasi pada transformator daya ini berfungsi untuk memisahkan dua bagian yang bertegangan atau bisa disebut juga sebagai pengaman antar kumparan pada transformator daya. Seiring dengan lamanya waktu pengoperasiannya, kondisi isolasi transformator dapat mengalami penurunan. Penurunan kondisi pada transformator ini dapat menyebabkan kegagalan operasi dan kerusakan pada transformator. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti tegangan lebih, kelembaban, suhu operasi yang tinggi jalur bocor pada permukaan eksternal seperti kotoran pada isolator maupun kerusakan pada sistem mekanisnya. 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 *break down voltage*.

3.2. Batasan Masalah

Dalam pembuatan modul ini penulis membatasi pokok-pokok batasan yang akan dibahas yaitu :

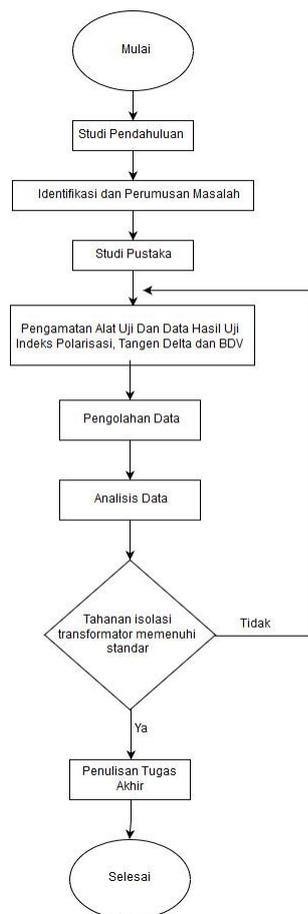
1. Cara pengujian tahanan isolasi pada transformator daya di Gardu Induk 150 kv Bantul.
2. Menentukan kondisi tahanan isolasi transformator daya yang baik dan sesuai standar yang berdasarkan hasil uji indeks polarisasi, ratio tegangan, tangen delta dan *break down voltage*.
3. Membandingkan kondisi isolasi transformator berdasarkan data hasil pengujian tahanan isolasi saat ini dengan data hasil

pengujian tahanan isolasi sebelumnya.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang dilakukan adalah metode observasi dan metode wawancara terhadap pihak-pihak yang mengetahui data hasil pengujian tahanan isolasi transformator di Gardu Induk 150 kV Bantul.

Gambar 2.1 *flowchart*, dengan penjelasan proses pertama studi pustaka mengenai pengujian tahanan isolasi transformator kemudian pengumpulan data melalui wawancara dan survei langsung pada transformator serta alat pengujiannya



Gambar 2.1 *Flowchart*

Proses kedua yaitu pengambilan data dari beberapa pihak mengenai data hasil uji indeks polarisasi, tangen delta dan *break down voltage* pada Trafo 1 di Gardu Induk 150 kV Bantul.

Proses ketiga yaitu olah data/perhitungan indeks polarisasi, perhitungan tangen delta dan perhitungan *break down voltage*.

Proses terakhir yaitu membuat suatu analisis dan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan yaitu membandingkan hasil uji tahanan isolasi pada tahun 2016 dengan hasil ujia tahanan isolasi pada tahun 2018.

2.1 Metode Pendataan dan Analisis

Untuk melakukan pendataan terlebih dahulu melakukan wawancara dan observasi mengenai data sistem pencahayaan dan pendingin pada gedung E4 Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, yang diantaranya adalah pihak pengajaran E4 dan biro aset kampus Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Setelah mendapatkan beberapa data yang dibutuhkan, langsung merekap semua data pada Microsoft excel dan dan microsoft word, kemudian melakukan perhitungan semua beban lampu dan AC pada E4 dengan mengkalikan harga setiap per kWh nya, yang kemudian dilakukan perbandingan jika melakukan perubahan pergantian lampu dan AC menjadi lampu LED dan AC inverter yang dianggap menjadi lebih hemat energi.

3. HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

3.1. 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. Dan juga termasuk arus bocor dikarenakan kebocoran pada permukaan yang di akibatkan oleh kontaminasi. Pengujian ini bersifat berkelanjutan untuk periode selama 10 menit, dan selama 10 menit ini alat high voltage insulation test akan mempunyai kemampuan untuk mempolarisasikan atau mencharger kapasitansi tinggi ke isolasi dan pembacaan nilai resistansi akan meningkat jika isolasi bersih dan kering. Rasio pembacaan 10 menit dibandingkan pembacaan 1 menit (IEC 60034). Jika nilai Indeks Polarisasi (IP) terlalu rendah ini mengindikasikan bahwa lilitan mungkin terkontaminasi oleh oli, kotoran, serangga atau terbasahi oleh air (lembab). Dan keuntungan lain dari indeks polarisasi ini adalah dengan banyaknya hal yang dapat mempengaruhi pembacaan megaohm seperti suhu dan humidity baik pada satu menit maupun sepuluh menit.

Untuk perhitungan indeks polarisasi dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$IP = \frac{I_r}{I_c}$$

Keterangan:

IP = Indeks Polarisasi

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

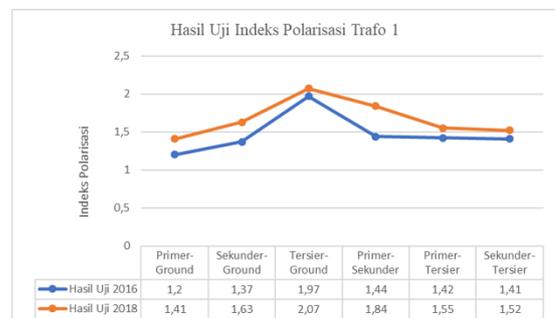
R_1 = Nilai tahanan isolasi pengujian selama 1 menit (Ω).

Tabel 3.1 Data nilai indeks polarisasi pada Trafo 1

No.	Aktifitas	Hasil Uji Sebelumnya (2016)		Hasil Uji Saat Ini (2018)	
		IP	Keterangan	IP	Keterangan
1.	Primer-Ground	1,20	Dipertanyakan	1,41	Baik
2.	Sekunder-Ground	1,37	Baik	1,63	Baik
3.	Tersier-Ground	1,97	Baik	2,07	Sangat Baik
4.	Primer-Sekunder	1,44	Baik	1,84	Baik
5.	Primer-Tersier	1,42	Baik	1,55	Baik
6.	Sekunder-Tersier	1,41	Baik	1,52	Baik

Tabel 3.2 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 3.1 Grafik hasil pengujian indeks polarisasi pada Trafo 1

Dari hasil uji dan hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa kondisi belitan isolasi pada Trafo 1 dalam keadaan baik. Ini karena nilai indeks polarisasi pada tahun 2016 dan tahun 2018 rata-rata masih baik dan dalam standart yang diizinkan yaitu 1,25-2 (baik). Namun terdapat beberapa bagian yang mengalami kondisi di bawah standart yaitu pada hasil uji tahun 2016 pada

bagian Primer-Ground. Nilai indeks polarisasi pada bagian Primer-Ground hanya sebesar 1,2 dan termasuk dalam kondisi yang dipertanyakan (1,1-1,25) sehingga diperlukan tindakan lanjut untuk memperbaiki nilai indeks polarisasinya. Dan ada beberapa hal yang dapat mempengaruhi besarnya nilai indeks polarisasi pada isolai transformator yaitu air dan gelembung udara. Air dan gelembung udara pada transformator dapat menyebabkan terjadinya hubung singkat dan penurunan kualitas isolasi transformator. Sehingga kondisi pada bagian dalam transformator harus benar-benar kering. Selain itu sifat dari kertas isolasi belitan pada transformator sangat mudah menyerap air sehingga memang pada belitan transformator kondisinya harus kering dan tidak terdapat air ataupun gelembung udara. Berdasarkan grafik hasil uji indeks polarisasi pun terdapat peningkatan nilai indeks polarisasi pada tahun 2018. Pada bagian Primer-Groundnya pun nilai indeks polarisasinya sudah sebesar 1,41 yang dimana nilai tersebut sudah diatas standart yang dizinkan yaitu 1,25-2 (baik). Ini berarti pihak dari PLN sudah melakukan perbaikan pada isolasi belitan transformatornya. Umumnya perbaikan yang dilakukan adalah dengan cara divacuum pada bagian dalam transformator sehingga tidak terdapat lagi air dan gelembung udaranya.

3.2. Tange Delta

Pengujian tange delta merupakan pengukuran kerugian dielektrik untuk mengetahui kualitas

isolasi belitan dengan mengukur arus bocor kapasitif. Trafo yang akan diuji dianggap sebagai kapasitor murni. Dan jika kapasitor murni diberi tegangan AC sinusoidal maka arusnya akan mendahului tegangan 90°. Karena kehilangan daya dielektrik, sudut arus mendahului tegangan tidak lagi 90°. Faktor daya dari kapasitor adalah $\cos \phi$. Dan ϕ adalah sudut fasa dari kapasitor. Sudut kehilangan daya (loss angle) adalah $\delta = 90^\circ - \phi$. Sehingga faktor dissipasi bisa ditulis sebagai $\tan \delta$. Dalam kapasitor sempurna, $\phi = 90^\circ$ sehingga $\delta = 0$. Karenanya kehilangan daya dalam kapasitor sempurna adalah nol (IEC 61620) .

Untuk perhitungan tange delta dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

Keterangan :

Tan δ = Tangen Delta (%)

P = Losses Daya (W)

V = Tegangan (V)

ω = $2\pi f$

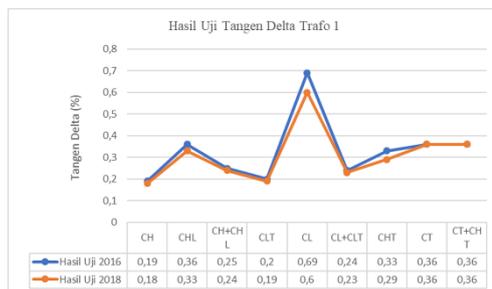
C = Kapasitansi (F)

Tabel 3.3 Data nilai tange delta pada Trafo 1

Pengujian	Hasil Uji Sebelumnya (2016)		Hasil Uji Saat Ini (2018)	
	Tangen Delta	Keterangan	Tangen Delta	Keterangan
Inject HV: Primer				
CHL	0,19%	Bagus	0,18%	Bagus
CH	0,36%	Bagus	0,33%	Bagus
CH+CHL	0,25%	Bagus	0,24%	Bagus
Inject HV: Sekunder				
CLT	0,20%	Bagus	0,19%	Bagus
CL	0,69%	Mengalami Penurunan	0,60%	Mengalami Penurunan
CL+CLT	0,24%	Bagus	0,23%	Bagus
Inject HV: Tersier				
CHT	0,33%	Bagus	0,29%	Bagus
CT	0,36%	Bagus	0,36%	Bagus
CT+CHT	0,36%	Bagus	0,36%	Bagus

Tabel 3.4 Klasifikasi kondisi hasil uji tangean delta

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



Gambar 3.2 Grafik hasil pengujian tangean delta pada Trafo 1

Dari hasil uji dan hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa kondisi kualitas belitan isolasi pada Trafo 1 dalam keadaan baik. Ini karena nilai tangean delta pada tahun 2016 dan tahun 2018 rata-rata masih baik dan dalam standart yang diizinkan yaitu kurang dari 0,5%(bagus). Namun terdapat beberapa bagian yang mengalami penurunan kualitas yaitu pada hasil uji tahun 2016 pada bagian CL. Dimana nilai tangean delta pada bagian CL sebesar 0,69% dan nilai tersebut termasuk dalam kondisi mengalami penurunan (sama dengan atau lebih dari 0,5%-0,7%) sehingga perlu tindak lanjut untuk memperbaiki nilai tangean deltanya. Namun nilai tangean delta tersebut tidak terlalu berpengaruh pada sistem kerja transformator karena nilainya yg masih jauh dengan kondisi tangean delta yang buruk. Namun berdasarkan grafik hasil uji tangean delta terdapat penurunan nilai tangean

delta pada hasil uji tahun 2018 disemua bagian kapasitansi. Hal ini berarti pihak PLN sudah memperbaikinya sehingga kondisi isolasi transformatornya semakin baik. Karena semakin kecil nilai tangean deltanya maka akan semakin baik kondisi isolasi transformatornya begitu juga dengan sebaliknya. Walaupun perubahan nilai tangean deltanya tidak terlalu signifikan tetapi hal tersebut sudah cukup untuk meningkatkan kondisi isolasi pada transformator.

3.3. 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. Dan salah satu parameter yang dapat menunjukkan baik buruknya kondisi isolasi suatu bahan adalah dengan tegangan tembusnya. Tegangan tembus pada minyak isolasi sendiri merupakan sebuah kemampuan pada bahan isolasi untuk menahan hantaran listrik, lalu jika isolasi tersebut terkena hantaran listrik yang melebihi batas dan berlangsung lama maka isolasi tersebut akan dapat menghantarkan listrik atau gagal melaksanakan fungsinya sebagai isolator. Sementara untuk nilai tegangan tembus dari minyak isolasi akan berbanding lurus dengan kekuatan dielektrik dari minyak isolasi tersebut, jadi jika terjadi kenaikan pada nilai tegangan tembus maka kekuatan dielektrik pada minyak

isolasi juga akan meningkat (IEC 60422).

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)

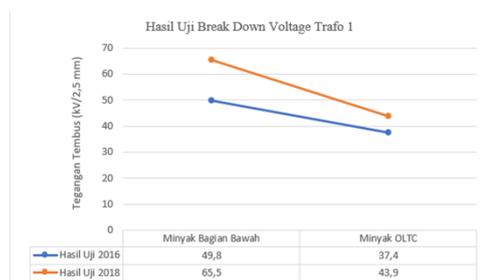
d = Jarak Sela (mm)

Tabel 3.5 Data nilai *break down voltage*

Minyak	Hasil Uji Sebelumnya (2016)		Hasil Uji Saat Ini (2018)	
	BDV	Keterangan	BDV	Keterangan
Minyak Bagian bawah	49,8 kV/2,5 mm	Bagus	65,5 kV/2,5 mm	Bagus
Minyak OLTC	37,4 kV/2,5 mm	Buruk	43,9 kV/2,5 mm	Bagus

Tabel 3.6 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 3.2 Grafik hasil pengujian *break down voltage* pada Trafo 1

Perhitungan pembayaran untuk beban AC dan lampu pada gedung E4 UMY selama satu tahun.

4. Kesimpulan

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

1. Berdasarkan penelitian tersebut dapat diketahui bahwa cara pengujian indeks polarisasi adalah dengan menggunakan alat high voltage insulation tester, dengan cara menghubungkan probe (+) ke bagian HV dan probe (-) ke bagian LV yang kemudian akan diberi tegangan uji selama 1 menit dan kemudian yang selanjutnya selam 10 menit. Setelah itu melakukan perbandingan antara hasil uji isolasi selama 1 menit dengan hasil uji isolasi selama 10 menit.
2. Berdasarkan penelitian tersebut dapat diketahui bahwa cara pengujian indeks polarisasi adalah dengan menggunakan alat insulation diagnostic system, dengan cara mengubungkan probe HVpower inject ke bagian HV dan probe input red dan input blue ke bagian LV atau netral yang kemudian akan diberi tegangan uji.
3. Berdasarkan penelitian tersebut dapat diketahui bahwa cara pengujian indeks polarisasi adalah dengan menggunakan alat laboratory oil dielectric strenght test set, dengan cara memasukan minyak isolasi kedalam alat uji dan pengujian akan dilakukan sebanyak 6 kali dengan memberikan tegangan uji secara bertahap.

4. Berdasarkan hasil uji dan perhitungan nilai indeks polarisasinya maka kondisi isolasi Trafo 1 masih dalam kondisi baik karena rata-rata nilai indeks polarisasinya masih dirating 1,25-2 dan hanya pada bagian Primer-Ground saja yang mengalami penurunan dengan indeks polarisasi sebesar 1,2.
5. Berdasarkan hasil uji dan perhitungan nilai tangen deltanya maka kondisi isolasi Trafo 1 masih dalam kondisi baik karena rata-rata nilai tangen deltanya masih kurang dari 0,5% dan hanya pada bagian CT saja yang mengalami kenaikan nilai tangen delta sebesar 0,69%.
6. Berdasarkan hasil uji dan perhitungan nilai break down voltage nya maka kondisi minyak isolasi Trafo 1 masih dalam kondisi baik karena rata-rata nilai break down voltage masih lebih dari 40kV/2,5mm. Tapi hanya pada bagian minyak OLTC saja yang mengalami pemburukan kualitas dengan nilai BDV nya sebesar 37,4kV/2,4mm .
7. Dari hasil uji tahanan isolasi pada Trafo dapat disimpulkan bahwa terjadi peningkatan kondisi isolasi transformator berdasarkan hasil perbandingan dari hasil uji tahun 2016 dengan hasil uji 2018. Hal ini terjadi karena adanya proses perbaikan pada isolasi transformator berupa purifikasi dan vacuum.

DAFTAR PUSTAKA

1. André P. Marques, dkk. (2017). *“Insulation Resistance of Power Transformers – Method for Optimized Analysis”*. IEEE International Conference on Dielectric Liquids (ICDL).
2. Fajarwati, Miranti. (2018). *“Analisis Hasil Pengujian Transformator III 150/20Kv 16MVA GI Jajar Dalam Keadaan Padam”*. Surakarta.
3. Koltunowicz, Tomasz. (2011). *“The Influence of Square Voltage Waveforms on Transformers Insulation Break Down Voltage”*. Italy.
4. Megger. (2010). *“DELTA 4000 12 kV Insulation Diagnostic System: Reference Manual Application Guide”*. USA
5. Mudjiono, Urip. (2012). *“Pengujian Tegangan Tembus Isolasi Minyak Transformator Fasilitas Gedung Rektorat Universitas Airlangga Surabaya”*. Surabaya.
6. Peter, Geno. (2011). *“A Review about Testing of Distribution Transformers”*. India.
7. 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.
8. Thomson, James A. (2007). *“IEEE Guide for Acceptance and Maintenance of Insulating Oil in Equipment”*. IEEE Power Engineering Society. USA.