

# STUDI RUGI-RUGI DIELETRIK TRANSFORMATOR DAYA

Oleh:

Janter Napitupulu <sup>1)</sup>

Pintor Rumapea <sup>2)</sup>

Immanuel Munthe <sup>3)</sup>

Universitas Darma Agung, Medan <sup>1)</sup>

PT. Aulia Rizky Engineering <sup>2)</sup>

Akademi Teknologi Industri Immanuel <sup>3)</sup>

E-mail :

[jnapitupulu96@gmail.com](mailto:jnapitupulu96@gmail.com) <sup>1)</sup>

[pintoruma@gmail.com](mailto:pintoruma@gmail.com) <sup>2)</sup>

[Immanuelmunthe813@gmail.com](mailto:Immanuelmunthe813@gmail.com) <sup>3)</sup>

## ABSTRACT

*Transformer is a simple electric magnetic device to convert alternating current voltage from one level to another. In general, a transformer consists of a core, which is made of plated iron, and two coils, namely, the primary coil and the secondary coil. High voltage testing is carried out to test the quality of the insulation and the insulation ability of the equipment to meet the specifications that have been set for the equipment. The insulation quality of the equipment determines the safe operation of the electric power system. Types of high-voltage measurement and testing are classified according to the test method consisting of routine test and type test. The results show that the measurement of insulation resistance obtained  $R \geq 0.013 \text{ MOhm}$ , then the insulation resistance is declared to have passed the test (good); from the measurement of the high voltage frequency, it is obtained that the voltage exceeds the given test voltage, then the transformer is declared to have passed the test (good); from the breakdown voltage measurement of transformer oil, obtained breakdown voltage  $> 60 \text{ KV}$ , then the transformer oil is declared to have passed the test (good), with a standard deviation of  $0.7 \text{ kV}$ ; and from the measurement of  $T_g$  obtained with a test voltage that varies, and the value of  $T_g$  is constant, the resulting dielectric losses are even greater*

**Keywords:** *Tan , Isolation.*

## ABSTRAK

Transformator merupakan suatu alat magnet elektrik yang sederhana untuk mengubah tegangan arus bolak-balik dari satu tingkat ke tingkat yang lain. Pada umumnya transformator terdiri atas sebuah inti, yang terbuat dari besi berlapis, dan dua buah kumparan yaitu, kumparan primer dan kumparan sekunder. Pengujian tegangan tinggi dilakukan untuk menguji kualitas isolasi dan kemampuan isolasi peralatan memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan untuk peralatan tersebut. Kualitas isolasi peralatan menentukan keamanan operasi sistem tenaga listrik. Jenis pengukuran dan pengujian tegangan tinggi diklasifikasikan menurut metode pengujian yang terdiri dari uji rutin dan uji jenis. Hasil menunjukkan bahwa pengukuran tahanan isolasi diperoleh  $R \geq 0,013 \text{ MOhm}$  , maka tahanan isolasi dinyatakan lulus uji ( baik ); dari pengukuran frekuensi tegangan tinggi diperoleh tegangan yang

melebihi tegangan uji yang diberikan, maka trafo dinyatakan lulus uji ( baik ); dari pengukuran tegangan tembus minyak trafo, diperoleh tegangan tembus  $> 60$  KV, maka minyak trafo dinyatakan lulus uji ( baik ), dengan deviasi standar  $0,7$  kV; dan dari pengukuran  $Tg \delta$  diperoleh dengan tegangan uji yang berubah-ubah, dan nilai  $Tg \delta$  yang konstan, maka rugi-rugi dielektrik yang dihasilkan pun semakin besar.

**Kata Kunci: Tan  $\delta$ , Isolasi.**

## 1. PENDAHULUAN

Kegagalan isolasi peralatan sistem tenaga listrik akan menimbulkan kerugian yang besar, karena kegagalan ini mengakibatkan adanya pengeluaran uang untuk biaya penggantian peralatan yang rusak dan mengakibatkan penjualan energi terganggu. Oleh karena itu kualitas isolasi peralatan perlu diuji untuk menjamin bahwa peralatan dapat bekerja pada tegangan keadaan normal. Di samping itu, isolasi peralatan perlu diuji untuk melihat kemampuannya memikul tegangan lebih, sebab tegangan lebih dapat terjadi pada tegangan listrik karena terjadinya hubung singkat 1 fasa ke tanah, atau karena adanya sambaran petir pada komponen sistem maupun karena adanya proses hubung singkat pada rangkaian sistem.

Pengujian suatu peralatan sistem tenaga listrik tergantung pada kerja peralatan dan jenis tegangan lebih yang mungkin dipikul peralatan tersebut. Jenis tegangan yang mungkin diujikan dalam suatu peralatan adalah tegangan tinggi searah, tegangan tinggi bolak-balik atau tegangan impuls. Pada umumnya peralatan sistem tenaga listrik diuji dengan tegangan tinggi bolak-balik dan impuls. Pengujian dengan tegangan tinggi searah dilakukan hanya pada peralatan yang mempunyai kapasitansi yang besar, misalnya kapasitor.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 1. Umum

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain melalui suatu gandingan magnet dan berdasarkan prinsip induksi – elektromagnet tanpa mengubah frekuensinya.

Pada umumnya transformator terdiri dari sebuah inti, yang terbuat dari besi berlapis, dan dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Biasanya kumparan terbuat dari kawat tembaga yang dibelit seputar ”kaki” inti transformator. Secara umum dapat dibedakan dua jenis transformator menurut konstruksinya, yaitu tipe inti dan tipe cangkang. Pada tipe inti terdapat dua kaki dan masing-masing kaki dibelit oleh satu kumparan. Sedangkan tipe cangkang mempunyai tiga buah kaki, dan hanya kaki yang tengah-tengah dibelit oleh kedua kumparan. Kedua kumparan ini saling bergabung secara magnetik melalui inti.

### 2. Keadaan Tanpa Beban

Bila tegangan bolak-balik,  $V_1$  dihubungkan ke kumparan primer, primer akan bekerja sebagai sebuah kumparan murni. Suatu gaya gerak listrik (ggl) balik,  $E_1$  dihasilkan, yang mana tegangan ini berlawanan dan sama dengan tegangan sumber,  $V_1$ . Arus kecil mengalir di dalam primer,  $I_1$  dan cukup untuk mempertahankan fluksi di dalam inti, penurunan tegangan di dalam kumparan primer yang disebabkan tersebut sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Fluksi bolak-balik juga mencakup kumparan sekunder, dengan demikian akan menyebabkan  $E_2$  terinduksi pada kumparan sekunder.

### 3. Keadaan Berbeban

Apabila kumparan skunder dihubungkan dengan beban  $Z_L$ ,  $I_2$  mengalir pada kumparan sekunder, dimana  $I_2 = \frac{V_2}{Z_L}$  dengan  $\theta_2 =$  factor kerja beban.

Efek  $I_2$  akan menimbulkan gaya gerak magnet (ggm)  $N_2 I_2$  yang cenderung melawan fluksi ( $\phi$ ) bersama yang dibangkitkan oleh primer yang telah ada akibat arus pemagnetan  $I_M$ . Agar fluksi bersama tidak berubah nilainya, pada kumparan primer harus mengalir arus  $I_2$  yang dibangkitkan oleh arus beban  $I_2$ .

### 4. Nilai Nominal Daya, Tegangan, Frekuensi

Normalisasi umum untuk daya nominal pada frekuensi 50 Hz dalam kVA menurut VDE adalah :

- Untuk transformator tiga fasa ( dalam kVA ) :  
10, 20, 30, 50, 75, 100, 125, 160, 200, 250, 325, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, 4000, 5000, 6300, 8000, 10000.
- Untuk transformator satu fasa ( dalam kVA ) :  
1, 2, 3, 5, 7, 13, 20, 35, 50, 70.

Normalisasi umum untuk frekuensi adalah 50 Hz. Di Amerika serikat adalah 60 Hz. Sedangkan di Jepang dipakai baik 50 Hz maupun 60 Hz.

Normalisasi tegangan menurut VDE adalah :

- Untuk tegangan rendah ( dalam V ) : 125, 220, 380, dan 500.
- Untuk tegangan tinggi ( dalam kV ) : 3, 5, 6, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 110, 220, dan 380.

## 3. METODE PELAKSANAAN

### 1. Umum

Transformator daya atau biasa disebut juga transformator tenaga adalah suatu peralatan listrik yang berfungsi untuk menyalurkan daya/tenaga listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya (mentransformasikan tegangan). Dalam operasinya umumnya, trafo-trafo daya ditanahkan pada titik netralnya sesuai dengan kebutuhan untuk sistem pengamanan atau proteksi, sebagai contoh transformator 150 kV/70 kV ditanahkan secara langsung di sisi netral 150 kV, dan transformator 70 kV/20 kV ditanahkan dengan tahanan di sisi netral 20 kV-nya. Transformator yang telah diproduksi terlebih dahulu diuji melalui pengujian sesuai standar yang telah ditetapkan.

### 2. Pengujian Transformator Daya

Banyaknya jenis pengujian yang dilakukan tergantung kepada jenis peralatan. Jenis pengujian yang umum dilakukan terhadap trafo daya adalah :

1. Pengujian ketahanan AC frekuensi rendah
2. Pengujian impuls
3. Pengukuran  $\tan \delta$
4. Pengukuran tahanan isolasi
5. Pengujian minyak trafo

#### 2.1. Pengujian Ketahanan AC Frekuensi Rendah

Pengujian ini dilakukan untuk menguji ketahanan isolasi kumparan memikul tegangan lebih AC, sebab saat trafo beroperasi mungkin memikul tegangan tegangan lebih AC. Tegangan pengujian dan waktu pengujian tergantung pada tempat pengujian. Tegangan pengujian di pabrik dilakukan selama 1 menit, sedangkan pengujian di lapangan dilakukan selama 10 menit.

Tabel-1. Tegangan Pengujian Ketahanan Trafo  
Di pabrik ( Standar IEC )

Tegangan Efektif Tertinggi ( kV )	Tegangan Pengujian 1 Menit ( kV )
≤ 1,1	3
3,6	10
7,2	20
12	28
17,5	38
24	50
36	70
72	95

Tabel-2. Tegangan Pengujian Ketahanan Trafo  
Di Lapangan 10 menit ( Standar IEC )

Tegangan Kerja maksimum (volt)	Tegangan Pengujian (volt)
$V \leq 7000$	0,5 V – 500 V
$7000 < V \leq 50000$	1,25 V – 11 kV
$V \leq 50000$	1,1 V – 63 kV

Pengujian dilakukan terhadap dielektrik yang mengisolir kumparan dengan tanah dan dielektrik yang mengisolir kumparan tegangan tinggi dengan kumparan tegangan rendah.

## 2.2. Pengujian Tegangan Impuls

Pengujian impuls adalah pengujian dengan memberi tegangan lebih sesaat bentuk gelombang tertentu.

Pengujian impuls ini dimaksudkan untuk mengetahui kemampuan dielektrik dari sistem isolasi trafo terhadap surja petir. Pengujian impuls terdiri dari pengujian impuls penuh dan impuls terpotong. Pengujian impuls terpotong perlu dilakukan karena adakalanya trafo daya mengalami tegangan lebih impuls terpotong. Hal ini terjadi jika tegangan lebih surja petir merambat menuju trafo dan dalam perjalanannya terjadi lewat denyar pada isolator transmisi atau pada bushing trafo. Peristiwa ini mengakibatkan tegangan tiba-tiba menjadi nol. Sehingga tegangan yang sampai ke kumparan trafo berupa impuls terpotong.

## 2.3. Pengukuran Rugi-rugi dielektrik ( $Tg \delta$ )

Jika terminal a-b dihubungkan ke sumber tegangan bolak-balik, maka arus pada tiap komponen adalah sebagai berikut :

$$I_R = \frac{V}{R_e}$$

$$I_C = \omega C_e V$$

$$P_d = \frac{\omega C_e V}{\cos \delta} V \sin \delta = \omega C_e V^2 Tg \delta$$

Rugi-rugi dielektrik menimbulkan panas yang dapat menaikkan temperatur dielektrik dan pada akhirnya dapat mempercepat penuaan dielektrik. Rugi-rugi dielektrik juga

tergantung kepada  $T_g$  , yang disebut faktor rugi-rugi dielektrik. Faktor rugi-rugi dielektrik tergantung kepada jenis bahan dielektrik. Jika  $T_g$  besar, maka rugi-rugi dielektrik makin besar.

#### 2.4. Pengukuran Tahanan Isolasi

Pengukuran tahanan isolasi dilakukan pada awal pengujian dimaksudkan untuk mengetahui secara dini kondisi isolasi trafo. Untuk menghindari kegagalan yang fatal dan pengujian selanjutnya, pengukuran dilakukan antara :

- Sisi HV – LV
- Sisi HV – Ground
- Sisi LV – Ground

Tahanan isolasi trafo yang baik adalah :

$$R \geq \frac{V}{(S + 1000)} \text{ Mohm}$$

dimana :

V = Tegangan nominal (volt)

S = Kapasitas trafo (kVA)

#### 2.5. Pengukuran Tegangan Tembus Minyak Trafo

Isolasi trafo daya yang terbesar volumenya adalah minyak trafo. Di samping sebagai isolasi, minyak juga berperan sebagai media pendingin. Oleh karena adanya pengotoran dan reaksi kimia yang terjadi pada minyak, maka komposisi minyak dapat berubah sehingga kekuatan dielektriknya juga berubah. Itu sebabnya perlu pengujian rutin terhadap minyak trafo, khususnya pengujian tegangan tembus. Jika hasil pengujian yang diperoleh sama dengan atau lebih besar dari 60 kV, maka kualitas minyak dinyatakan baik.

#### 2.6. Evaluasi Hasil Pengukuran Dan Pengujian

Hasil dari suatu pengukuran dengan metode tertentu dapat diramalkan berdasarkan data yang diperoleh dengan menggunakan analisa statistik. Simpangan baku atau deviasi standar ( root-mean-square ) merupakan cara yang sangat ampuh untuk menganalisis kesalahan-kesalahan acak secara statistik. Simpangan baku dari jumlah data terbatas didefinisikan sebagai akar dari penjumlahan semua penyimpanan ( deviasi ) setelah dikuadratkan dibagi dengan banyaknya pembacaan.

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 1. Umum

Kualitas isolasi peralatan menentukan kehandalan dan operasi sistem tenaga listrik. Pengujian peralatan sistem tenaga listrik dilakukan untuk menguji kualitas dan kemampuan isolasi peralatan memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan untuk peralatan tersebut. Tegangan pengujian harus lebih tinggi dari tegangan operasi normal tetap dalam waktu yang terbatas, dan diperiksa apakah isolasi peralatan mampu memikul tegangan tersebut. Jika pengujian diperkirakan sampai merusak objek uji, maka pengujian dilakukan terhadap sampel. Mengingat harga peralatan, ada kalanya pengujian dilakukan terhadap sampel. Dalam hal ini tegangan pengujian ditetapkan sedemikian tetapi dapat menyakinkan bahwa tingkat isolasi peralatan cukup baik.

Dari sisi konsumen, pengujian dilakukan untuk membuktikan bahwa isolasi peralatan memenuhi spesifikasi yang dijanjikan produsen. Sedangkan dari sisi produsen, pengujian dilakukan untuk memeriksa hasil rancangan baru dan menentukan kekuatan peralatan yang dirancang.

Pengujian dapat diklasifikasikan dengan beberapa cara. Menurut jenis tegangan yang diujikan terdiri dari pengujian searah, pengujian bolak-balik, dan pengujian impuls.

Klasifikasi menurut metode pengujian terdiri dari pengujian rutin, pengujian jenis dan pengujian khusus.

## 2. Metode Pengukuran dan Pengujian Transformator Daya

Spesifikasi transformator daya :

3 phasa – 50 Hz – 30 MVA – 20 / 150 kV  
ONAN / ONAF / - UNINDO Thn 1988  
Type TTUS 150 / 3000  
Standar IEC – 76/ 1976 No Seri : A861539-01  
Impedansi : 12,49 % , Current : 115,1 / 866 Amp  
Oil : Shell Diala – B

### 2.1. Pengukuran Tahanan Isolasi

Pengujian tahanan isolasi dilakukan pada awal pengujian, untuk mengetahui secara dini kondisi isolasi trafo, dan menghindari kegagalan yang fatal pada pengujian selanjutnya.

Tahanan isolasi trafo diukur dengan metode pengukuran tidak langsung. Dalam hal ini diukur tahanan isolasi antara kumparan primer dengan ground, antara primer dengan skunder, antara skunder dengan ground.

#### 1. Prosedur Pengukuran

- Menyiapkan peralatan uji untuk mengukur tahanan isolasi antara kumparan primer dengan ground, kumparan primer dengan skunder, dan kumparan skunder dengan ground.
- Menaikkan tegangan keluaran penyearah sampai 1 kV. Kemudian mencatat hasil pengukuran setelah 10 menit. Menurunkan tegangan keluaran penyearah sampai nol.
- Membumikan terminal 1 untuk membuang muatan sisa. Mengulangi kembali prosedur di atas, sehingga memperoleh hasil pengukuran, yaitu tahanan isolasi antara kumparan primer dengan ground, kumparan primer dengan skunder, dan kumparan skunder dengan ground.

#### 2. Data Test Tahanan Isolasi

- Temperatur pengujian ( t ) = 28<sup>0</sup> C
- Alat test : Megger 5000 Volt Kyoritsu

Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan diperoleh data sebagai berikut :

- Sisi LV – Ground : 30 MOhm
- Sisi LV – HV : 30 MOhm
- Sisi HV – Ground : 25 MOhm

#### 3. Analisis Data Tahanan Isolasi

Untuk menentukan tahanan isolasi trafo baik atau tidak adalah

$$R = \frac{V^2}{(S+1000)}$$

$$R = \frac{(20 \cdot 10^3)^2}{(30 \cdot 10^3 + 1000)} = 0,013 \text{ MOhm}$$

Dari perhitungan tahanan isolasi diperoleh  $R \geq 0,013 \text{ MOhm}$ , maka tahanan isolasi trafo dapat dinyatakan lulus uji.

### 2.2. Pengujian Tegangan Tembus Minyak Trafo

#### 1. Prosedur Pengukuran

- Minyak dituang ke dalam bejana dengan hati-hati agar tidak menimbulkan gelembung udara dalam minyak. Kemudian dibiarkan selama 10 menit untuk menghilangkan gelembung udara yang mungkin masih terjadi saat pengisian minyak ke dalam bejana.
- Selanjutnya tegangan elektroda dinaikkan secara bertahap, 2 kV/detik, sampai minyak tembus listrik. Kemudian minyak di sela elektroda diaduk dengan suatu tangkai tipis dan bersih untuk menghilangkan gelembung udara yang timbul saat terjadi tembus listrik.

- c. Selang dua menit prosedur di atas di ulang kembali sampai diperoleh lima hasil pengukuran yang menimbulkan minyak tembus listrik.

**2. Data Test Tegangan Tembus Minyak Trafo**

- a. Temperatur pengujian ( t ) : 30<sup>0</sup>
- b. Jarak sela ( S ) : 2.5 mm
- c. Diameter elektroda ( D ) : 36 mm

Tabel-3. Data Pengukuran Tegangan Tembus Minyak Trafo

Waktu ( menit )	Tegangan Tembus (kV ) X <sub>i</sub>	X <sub>i</sub> <sup>2</sup>
5	67	4489
5	66	4356
5	66	4356
5	65	4225
5	66	4356
	∑ x <sub>i</sub> = 330	∑ x <sub>i</sub> <sup>2</sup> = 21782

**2.3. Analisis Data Tegangan Tembus Minyak Trafo**

Nilai rata-rata tegangan tembus minyak trafo adalah :

$$\bar{x} = (67 + 66 + 66 + 65 + 66)/5 = 66 \text{ kV}$$

Nilai rata-rata yang diperoleh ternyata lebih besar dari 60 kV, maka kualitas minyak trafo dinyatakan baik.

Deviasi standar dari tegangan tembus minyak trafo adalah

$$\sigma^2 = \frac{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}{n(n-1)}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}{n(n-1)}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{5 \times 21782 - (330)^2}{5(5-1)}} = \sqrt{\frac{108910 - 108900}{20}} = 0,7 \text{ kV}$$

Dengan deviasi standar sebesar 0,7 kV, maka tegangan tembus mempunyai nilai (harga) penyimpangan / kesalahan yang terletak di antara 0,7 kV.

**2.4. Pengukuran Rugi- rugi Dielektrik ( Tg δ)**

Pengukuran ini diperlukan untuk mengetahui kualitas bahan isolasi pada suatu saat sehingga kegagalan yang mungkin akan terjadi dapat diketahui sebelumnya. Rugi dielektrik pada tegangan bolak-balik diakibatkan oleh rugi polarisasi dan rugi konduksi dari ion. Besar dan sifat-sifat ini merupakan ukuran kualitas isolasi. Alat ukur yang digunakan adalah jembatan Schering seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2. Benda uji dipresentasikan sebagai resistor R<sub>x</sub> yang paralel dengan kondensator C<sub>x</sub>. Prinsip kerjanya sama dengan kerja jembatan Wheatstone, hanya sumber tegangannya bukan batere tetapi tegangan ac. Pengukuran dilakukan selama 2 menit dengan tegangan konstan. Hasil pengukuran adalah harga rata-rata pengukuran awal dan akhir.

**1. Prosedur Pengukuran**

- a. Minyak isolasi dimasukkan ke dalam bejana ukur sampai elektroda ukur terbenam dalam minyak. Bejana ditutup agar minyak tidak dikotori partikel-partikel debu. Kira-

- b. kira 10 menit kemudian pengukuran dilakukan dengan menaikkan tegangan skunder trafo uji secara bertahap hingga tegangan mencapai 10 kV.
- c. Pada setiap tahap tegangan pengukuran dilakukan selama 2 menit sekali. Nilai kapasitansi ( C ) dan Tg δ dicatat pada saat awal dan akhir tegangan yang diterapkan.
- d. Setelah pengukuran mencapai 10 kV, tegangan diturunkan serta bertahap dan pengukuran secara bertahap dan pengukuran dilakukan kembali seperti saat tegangan dinaikkan.

**2. Data Test Pengukuran Tg δ**

- Frekuensi : 50 Hz
- Jarak sela ( d ) : 2,5 mm

Tabel-4. Data Pengukuran Tg δ

Teg Uji (kV)	Kapasitas ( nF )				Tg δ ( % )			
	Awal		Akhir		Awal		Akhir	
	$x_i$	$x_i^2$	$x_i$	$x_i^2$	$x_i$	$x_i^2$	$x_i$	$x_i^2$
1	1,15	1,3225	1,06	1,1236	4,8	23,04	4,8	23,04
2	1,06	1,1236	1,06	1,1236	4,8	23,04	4,8	23,04
3	1,06	1,1236	1,06	1,1236	4,8	23,04	4,8	23,04
4	1,06	1,1236	1,07	1,1449	4,8	23,04	4,8	23,04
5	1,07	1,1449	1,06	1,1236	4,8	23,04	4,8	23,04
6	1,06	1,1236	1,06	1,1236	4,8	23,04	4,8	23,04
7	1,06	1,1236	1,06	1,1236	4,8	23,04	4,8	23,04
	$\Sigma =$ 7,52	$\Sigma =$ 8,0854	$\Sigma =$ 7,43	$\Sigma =$ 7,8865	$\Sigma =$ 33,6	$\Sigma =$ 161	$\Sigma =$ 33,6	$\Sigma =$ 161,28

**2.5. Analisis Data Pengukuran Tg δ**

Rugi-rugi dielektrik dari suatu isolasi dengan kapasitansi C pada frekuensi jaringan ω dapat dihitung dengan menggunakan factor disipasi ( Tg δ ) :

$$P_{diel} = V^2 \omega C Tg \delta$$

dimana :

$$\omega = 2\pi f = 2 \times 3,14 \times 50 = 314 \text{ Hz}$$

Rata-rata pengukuran awal kapasitansi :

$$\bar{X} = \frac{1,15+1,06+1,06+1,06+1,07+1,06+1,06}{7} = \frac{7,52}{7} = 1,07 \text{ nF}$$

Dengan deviasi standar 0,03 nF, maka penyimpangan / kesalahan kapasitansi awal terletak diantara 0,03 nF.

Rata-rata pengukuran akhir kapasitansi :

$$\bar{X} = \frac{1,06+1,06+1,06+1,07+1,06+1,06+1,06}{7} = \frac{7,43}{7} = 1,06 \text{ nF}$$



Deviasi standar kapasitansi akhir :

$$\sigma = \sqrt{\frac{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}{n(n-1)}}$$

$$\sigma_{akhir} = \sqrt{\frac{7 \times 7,8865 - (7,43)^2}{7(7-1)}} = \sqrt{\frac{55,2055 - 54,2049}{42}} = 0,15 \text{ nF}$$

Dengan deviasi standar 0,15 nF maka penyimpangan / kesalahan kapasitansi akhir terletak di antara 0,15 nF.

Rata-rata pengukuran Tg  $\delta$  awal dan Tg  $\delta$  akhir :

$$\bar{X} = \frac{4,8+4,8+4,8+4,8+4,8+4,8+4,8}{7} = \frac{33,6}{7} = 4,8 \%$$

Karena Tg  $\delta$  awal dan Tg  $\delta$  akhir mempunyai nilai yang sama, maka deviasi standar yang diperoleh juga sama, yaitu :

$$\sigma = \sqrt{\frac{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}{n(n-1)}}$$

$$\sigma_{tg \delta} = \sqrt{\frac{7 \times 161,28 - (33,6)^2}{7(7-1)}} = \sqrt{\frac{1128,96 - 1128,96}{42}} = 0$$

Dengan deviasi standar nol maka tidak terjadi penyimpangan / kesalahan pada Tg  $\delta$  awal dan Tg  $\delta$  akhir.

$$P_{diel} = V^2 \omega C T g \delta$$

$$P_{diel1} = (1.10^3)^2 \times 314 \times 1,07.10^{-9} \times 0,048 = 0,016 \text{ W}$$

$$P_{diel2} = (2.10^3)^2 \times 314 \times 1,07.10^{-9} \times 0,048 = 0,0645 \text{ W}$$

$$P_{diel3} = (3.10^3)^2 \times 314 \times 1,07.10^{-9} \times 0,048 = 0,145 \text{ W}$$

$$P_{diel4} = (4.10^3)^2 \times 314 \times 1,07.10^{-9} \times 0,048 = 0,258 \text{ W}$$

$$P_{diel5} = (5.10^3)^2 \times 314 \times 1,07.10^{-9} \times 0,048 = 0,403 \text{ W}$$

$$P_{diel6} = (6.10^3)^2 \times 314 \times 1,07.10^{-9} \times 0,048 = 0,580 \text{ W}$$

$$P_{diel7} = (7.10^3)^2 \times 314 \times 1,07.10^{-9} \times 0,048 = 0,790 \text{ W}$$

Dari pengukuran Tg  $\delta$  diperoleh, dengan tegangan uji yang berubah-ubah, dan nilai Tg  $\delta$  yang konstan, maka rugi-rugi dielektrik yang dihasilkan pun semakin besar.

## 5. SIMPULAN

1. Dari data dan analisis pengukuran tahanan isolasi diperoleh :  
R  $\geq$  0,013 *MOhm* , maka tahanan isolasi dinyatakan lulus uji ( baik ).
2. Dari pengukuran frekuensi tegangan tinggi diperoleh tegangan yang melebihi tegangan uji yang diberikan, maka trafo dinyatakan lulus uji ( baik )
3. Dari pengukuran tegangan tembus minyak trafo, diperoleh tegangan tembus > 60 KV, maka minyak trafo dinyatakan lulus uji ( baik ), dengan deviasi standar 0,7 kV.
4. Dari pengukuran Tg  $\delta$  diperoleh dengan tegangan uji yang berubah-ubah, dan nilai Tg  $\delta$  yang konstan, maka rugi-rugi dielektrik yang dihasilkan pun semakin besar.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

[1] J Napitupulu, D Tinambunan, L Sitinjak, 2021. Studi Efisiensi Transformator Tiga Fasa Jurnal Teknologi Energi Uda: Jurnal Teknik Elektro 10 (1), 8-16

- [2] Arismunandar, Artono. **Teknik Tegangan Tinggi**. PT Pradnya Paramita, Jakarta, 1988
- [3] Abduh, Syamsir. **Dasar Pembangkitan dan Pengukuran Teknik Tegangan Tinggi**, Penerbit Salemba Teknika, 2001
- [4] Elgerd, Olle I. **Basic Electric Power Engineering**, Addison- Wesley Series Publishing, Inc, 1997.
- [5] Kadir, Abdul. **Transformator**, PT. Gramedia, Jakarta, 1989.
- [6] Kadir, Abdul. **Pembangkit Tenaga Listrik**, UI Press, Jakarta, 1990.
- [7] Kind, Dieter. **Praktikum Teknik Tegangan Tinggi di Laboratorium**, Penerbit ITB Bandung. 1993.
- [8] Sudjana, **Metoda Statistika**, Edisi ke 5, Penerbit Tarsito, Bandung 1992.
- [9] Tobing, Bonggas L. **Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi**, USU, Medan 1998.
- [10] Zuhail, **Dasar Tenaga Listrik**, Penerbit ITB Bandung, 1986.