

---

**ANALISA MINYAK TRANSFORMATOR PADA TRANSFORMATOR TIGA FASA  
DI PT X**

**Badaruddin, Fery Agung Firdianto**  
Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik  
Universitas Mercu Buana Jakarta  
Email: bsulle@gmail.com

**ABSTRAK** - *Tangen delta merupakan metoda diagnostik secara elektrik untuk mengetahui kondisi isolasi. Salah satu isolasi yang perlu diketahui adalah minyak transformator yang merupakan isolasi cair. Pada sebuah transformator, isolasi merupakan bagian penting yang harus diketahui sejak awal sebagai referensi untuk mengetahui umur dari isolasi tersebut.*

*Pada penelitian ini, untuk memastikan atau mengetahui pengaruh minyak transformator terhadap pengujian tangen delta. Pengujian dilakukan terhadap minyak transformator yang belum dilakukan filtering dan sesudah dilakukan filtering. Alat yang akan digunakan untuk pengujian tangen delta adalah Megger Delta 2000. Dari alat ini terdapat beberapa mode yang digunakan untuk pengujiannya yaitu GST, GSTg, dan UST.*

*Kata kunci : Transformator, Tangen Delta, Isolasi Cair*

**ABSTRACT** - *The tangent delta is a diagnostic method to determine the condition of electrical insulation. One to note is that the isolation transformer oil which is a liquid insulation. In a transformer, insulation is an important part that must be known from the beginning as a reference to determine the age of the insulation.*

*In this study, to confirm or determine the effect of the transformer oil testing tangent delta. Tests conducted on the transformer oil that has not been done filtering and after filtering. The tools will be used for testing the tangent delta is Megger Delta 2000. Of these tools there are several modes that are used for the test that is GST, GSTg, and UST.*

**Keywords:** *Transformer, Tangen Delta, Liquid Insulation*

**PENDAHULUAN**

Dalam penyaluran energi listrik terdapat mesin listrik yang memiliki peran sangat vital, yaitu transformator. Transformator adalah mesin listrik yang dapat mentransformasikan energi listrik dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya melalui gandengan magnet berdasarkan prinsip induksi magnet. Secara umum transformator digunakan untuk mengubah energi listrik dari satu level tegangan ke level tegangan yang lain.

Salah satu bagian paling kritis pada transformator adalah isolasi trafo tersebut dan salah satu isolasi

tersebut adalah minyak transformator. Kondisi isolasi minyak trafo juga belum tentu baik, karena dalam minyak trafo tersebut banyak kotoran dan kandungan air yang terlalu banyak. Bila dalam kondisi tersebut minyak trafo dimasukkan ke dalam trafo dan dioperasikan, maka akan terjadi kegagalan isolasi dan penuaan isolasi trafo yang disebabkan minyak trafo yang buruk.

Untuk mengetahui keadaan tersebut dari awal, maka perlu dilakukan pengujian. Pengujian itu dinamakan tangen delta. Tujuannya untuk mengetahui bahwa kondisi isolasi minyak trafo baik.

## LANDASAN TEORI

### Prinsip Kerja Transformator

Transformator adalah suatu peralatan listrik elektromagnetik statis yang berfungsi untuk memindahkan / mengubah energi listrik dari satu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya, dengan frekuensi yang sama dan perbandingan transformasi tertentu. Transformator menggunakan prinsip hukum induksi Faraday dan hukum Lorentz dalam menyalurkan daya, dimana apabila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, maka akan mengalir arus dalam kumparan primer menimbulkan perubahan fluks magnetik dalam inti besi.

### Bagian Utama Transformator dan Fungsinya

#### 1. Inti Besi (*Core*)

Inti besi (*core*) berfungsi untuk mempermudah jalan *fluks*, yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Dibuat dari lempengan-lempengan besi tipis yang diisolasi oleh *silicon*, untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh arus pusar atau *eddy current*.

#### 2. Belitan

Belitan atau *winding* terdiri dari tembaga ataupun aluminium berisolasi yang mengelilingi inti besi, dimana saat arus bolak-balik mengalir pada belitan tersebut, inti besi akan terinduksi dan menimbulkan *fluks* magnetik.

#### 3. *Bushing*

Hubungan antara kumparan transformator ke jaringan luar melalui terminal yaitu *bushing*, yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator, yang sekaligus berfungsi sebagai penyekat antara konduktor tersebut dengan tangki transformator.

#### 4. Tangki dan Radiator

Tangki transformator berfungsi sebagai tempat diletakkannya belitan dan tempat minyak transformator, tangki transformator terhubung dengan radiator. Radiator merupakan sirip-sirip yang berada mengelilingi transformator, dan berfungsi untuk media pendingin pada trafo, dengan konstruksi yang berupa sirip-sirip dapat meradiasikan panas yang terdapat pada minyak trafo dan untuk menyalurkan panas dari minyak trafo ke udara.

### Definisi dan Fungsi Minyak Transformator

Minyak transformator adalah cairan yang dihasilkan dari proses pemurnian minyak mentah. Selain itu minyak ini juga berasal dari bahan – bahan organik, misalnya minyak piranol dan silicon.

Minyak transformator merupakan salah satu bahan isolasi cair yang digunakan sebagai isolasi dan pendingin pada transformator. Sebagian bahan isolasi minyak harus memiliki kemampuan untuk menahan tegangan tembus, sedangkan sebagai pendingin minyak transformator harus mampu meredam panas yang ditimbulkan.

### Standar Minyak Transformator

Dalam menyalurkan perannya sebagai pendingin, kekentalan minyak transformator tidak boleh terlalu tinggi agar mudah bersirkulasi dan kekentalan relatif minyak transformator tidak boleh lebih dari 4,2 pada suhu 20°C dan 1,8 dan 1,85 dan maksimum 2 pada suhu 50°C. Adapun persyaratan yang harus dipenuhi oleh minyak transformator adalah sebagai berikut:

#### 1. Kejernihan

Kejernihan minyak isolasi tidak boleh mengandung suspensi atau endapan (sedimen).

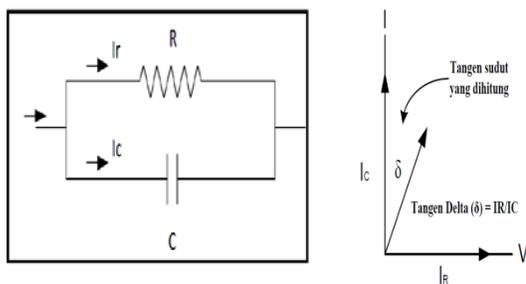
2. Massa Jenis  
Massa jenis dibatasi agar air dapat terpisah dari minyak isolasi dan tidak melayang.
3. Viskositas kinematika  
Viskositas memegang peranan penting dalam pendinginan, yaitu untuk menentukan kelas minyak transformtor.
4. Titik nyala  
Titik nyala yang rendah menunjukkan adanya kontaminasi zat gabar yang mudah terbakar.
5. Titik tuang  
Titik tuang dipakai untuk mengidentifikasi dan menentukan jenis peralatan yang akan menggunakan minyak isolasi.
6. Angka kenetralan  
Angka kenetralan merupakan angka yang menunjukkan penyusutan asam minyak dan dapat mendeteksi kontaminasi minyak, menunjukkan kecenderungan perubahan kimia atau indikasi perubahan kimia dalam bahan tambahan.
7. Korosi belerang  
Korosi belerang kemungkinan dihasilkan dari adanya belerang bebas atau senyawa belerang yang tidak stabil dalam minyak isolasi.
8. Tegangan tembus  
Tegangan tembus yang terlalu rendah menunjukkan adanya kontaminasi seperti air, kotoran atau partikel konduktif dalam minyak.
9. Kandungan air  
Kandungan air dalam isolasi menyebabkan menurunnya tegangan tembus dan tahanan jenis minyak isolasi akan mempercepat kerusakan kertas pengisolasi.

### **Pengujian Tangen Delta Transformator**

Tangen delta adalah metoda diagnostik secara elektrik untuk mengetahui kondisi isolasi. Jika isolasi bebas dari cacat/defect, maka isolasi tersebut akan bersifat kapasitif sempurna seperti halnya sebuah isolator yang berada diantara dua elektroda pada sebuah kapasitor.

Pada kapasitor sempurna, tegangan dan arus fasa bergeser  $90^\circ$  dan arus yang melewati isolasi merupakan kapasitif. Jika ada kontaminasi pada isolasi contohnya kelembaban dalam transformator terlalu tinggi (*moisture*), maka nilai tahanan dari isolasi berkurang dan berdampak kepada tingginya arus resistif yang melewati isolasi tersebut, sehingga sudut arus mendahului tegangan tidak lagi  $90^\circ$  tapi akan bergeser kurang dari  $90^\circ$ . Besarnya selisih pergeseran dari  $90^\circ$  merepresentasikan tingkat kontaminasi pada isolasi.

Dibawah ini merupakan gambar rangkaian ekuivalen dari sebuah isolasi dan diagram phasor arus kapasitansi dan arus resistif dari sebuah isolasi. Dengan mengukur nilai  $I_R / I_C$  dapat diperkirakan kualitas dari isolasi. Pada isolasi yang sempurna, sudut akan mendekati nol. Meningkatnya sudut mengindikasikan meningkatnya arus resistif yang melewati isolasi yang berarti kontaminasi. Semakin besar sudut semakin buruk kondisi isolasi.



pengujian tangen delta

### Mode Pengukuran yang Dipakai Pada Pengujian Tangen Delta

1. *Mode GST (Grounded Speciment Test)*  
Yaitu kapasitansi obyek yang diuji dengan *ground*. Misalnya menguji antara sisi sekunder terhadap *ground* ataupun antara sisi primer terhadap *ground*.
2. *Mode GSTg (Grounded Speciment Test Guard)*  
Yaitu kapasitansi obyek yang diuji terhadap *ground* dan membatasi kapasitansi obyek lain (*guard*) yang mempengaruhi kapasitansi obyek uji.
3. *Mode UST (Ungrounded Speciment Test)*  
Yaitu kapasitansi antara dua obyek yang sama sekali tidak terhubung dengan *ground*. Misalnya antara pengujian antara sisi primer dan sekunder.
4. *Hot Collar*  
Mode pengukuran untuk mengetahui lokasi keretakan pada *porcelain*, pemburukan atau kontaminasi pada permukaan *bushing*.

### Mekanisme Kegagalan Isolasi pada Minyak Transformator

Berikut ini beberapa faktor yang mempengaruhi mekanisme kegagalan yaitu:

#### 1. Partikel

Partikel debu atau serat selulosa dari sekeliling dielektrik padat selalu tertinggal dalam cairan

#### 2. Air

Air yang dimaksud adalah berbeda dengan partikel yang lembab. Air sendiri akan ada dalam minyak yang sedang beroperasi/dipakai. Namun demikian pada kondisi operasi normal, peralatan cenderung untuk membatasi kelembaban hingga nilainya kurang dari 10%.

#### 3. Gelembung

Medan yang ada dalam gelembung melebihi kekuatan uap yang menghasilkan lebih banyak uap dan gelembung sehingga membentuk jembatan pada seluruh celah yang menyebabkan terjadinya pelepasan secara sempurna.

### 2.3 Pemurnian minyak transformator

Beberapa metode pemurnian minyak transformator sebagai berikut :

#### 1. Mendidihkan

Dalam proses ini minyak dipanaskan hingga titik didih air air yang ada dalam minyak akan menguap karena titik didih minyak lebih tinggi dari pada titik didih air.

#### 2. Alat Sentrifugal

Dengan cara diputar dengan cepat dalam alat sentrifugal. Kotoran akan tertekan ke sisi bejana oleh gaya sentrifugal, sedangkan minyak yang bersih akan tetap berada ditengah bejana.

#### 3. Penyaringan

Dengan metode ini minyak disaring melalui kertas penyaring sehingga kotoran tidak dapat melalui pori – pori penyaring yang kecil.

#### 4. Regenerasi

Regenerasi merupakan alternatif terakhir bila metode-metode diatas tidak dapat mengurangi penuaan pada minyak.

#### METODE DAN STANDAR PENGUJIAN TANGEN DELTA Standar Pengujian Tangen Delta Transformator

Saat ini penulis belum menemukan panduan dan prosedur pengujian untuk pengujian tangen delta khusus minyak transformatornya saja, maka dari itu metode yang digunakan yaitu menggunakan mangkuk tes BDV (*Breakdown Voltage*). Dimana penulis mengasumsikan mangkuk tersebut seperti minyak dalam transformator, yaitu ada dua buah elektroda yang berjarak 2,5mm sebagai jarak minimal antara bagian bertegangan dengan bagian tidak bertegangan. Jarak tersebut sesuai dengan standar *IEC 60422* dan *IEC 156* tentang pengujian *breakdown voltage* untuk tegangan pengenal 50kV. Sementara untuk bahan mangkuknya terbuat dari resin yang biasanya dibuat untuk isolasi pada jenis transformator kering atau *dry type transformer*.

Berdasarkan standar *ANSI C 57.12.90* interpretasi hasil uji tangen delta sebagai berikut:

- Kurang dari 0,5 = *Good*
- > 0,5 tetapi < 0,7 = *Deteriorated*
- > 0,7 tetapi < 1,0 = *Investigate*
- Lebih dari 1,0 = *Bad*

Untuk standar nilai hasil dari pengujian tangen delta hanya standar *ANSI* yang membahasnya sementara standar PLN ataupun standar lain seperti *IEC* tidak mencantumkan mengenai pengujian tangen delta.

#### Alat – alat Untuk Pengujian

Peralatan yang digunakan untuk pengujian adalah:

1. Minyak transformator Appar TU 60 sebelum purifikasi dan sesudah purifikasi.
2. Alat uji tangen delta Megger Delta 2000.



**Gambar 2** Megger Delta 2000

3. Mangkuk BDV



**Gambar 3** Mangkuk BDV

4. Kabel *ground*.

#### Prosedur Pengambilan Sampel Minyak Transformator

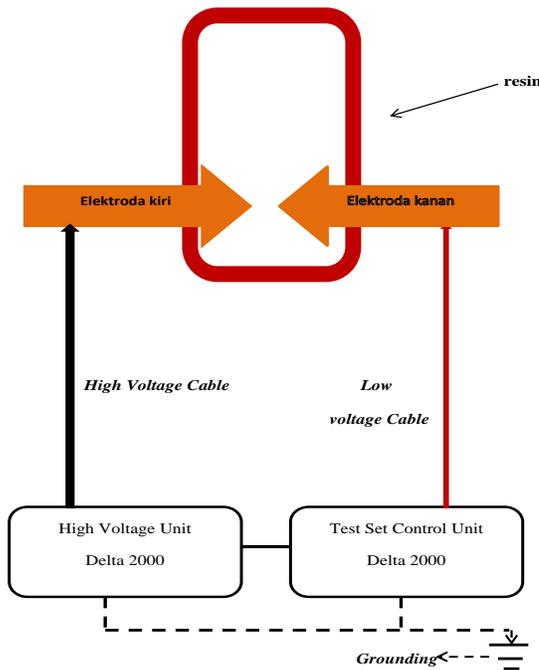
Pada prinsipnya untuk pengambilan sampel minyak trafo jangan sampai ada gelembung pada minyak tersebut. Karena bila ada gelembung, saat pengujian nanti akan terjadi *flash over* tegangan dan hasil pengujian tidak valid.

**Prosedur Pengujian Tangen Delta**

Berikut ini dijelaskan langkah – langkah pelaksanaan pengujian tangen delta dengan salah satu alat uji yaitu Megger Delta 2000 :

1. Pasang kabel *grounding* ke peralatan dan pastikan sistem *grounding* telah benar. Dan koneksikan seperti gambar diagram pengujian.

5. Tekan kedua tombol *interlock* kemudian pilih “*High Voltage ON*” untuk memulai pengujian.
6. Putar kekanan potensio “*High Voltage Control*” hingga tegangan terbaca 10kV pada layar kemudian pilih “*Measurment*”.
7. Tunggu beberapa saat hingga hasil tertera pada layar.
8. Catat hasil pengujian yang meliputi daya, arus, tegangan,  $\tan \delta$ , dan kapasitansi.



**Gambar 4** Diagram Pengujian Tangen Delta Minyak Transformator

2. Nyalakan tombol “*POWER*” ke posisi “*ON*”.
3. Periksa lampu “*OPEN GROUND*” pada peralatan apakah masih menyala, yang berarti sistem *ground* pada peralatan ataupun pada transformator perlu di cek ulang.
4. Setelah lampu “*OPEN GROUND*” padam, tekan menu sesuai dengan konfigurasi pada *speciment* yang akan diuji (GST no Guard) kemudian pilih “*New Test*”

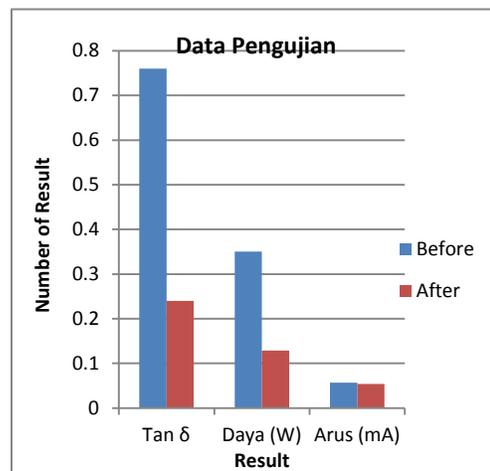
**BAB IV DATA DAN ANALISA**

**4.1 Data Pengujian Tangen Delta**

Pengujian dilakukan pada dua kondisi yaitu, pengujian saat kondisi minyak transformator sebelum dilakukan purifikasi dan kondisi minyak transformator setelah dilakukan purifikasi. Berikut ini adalah hasil pengujian tangen delta:

**Tabel 1** Hasil Pengujian Tangen Delta

Kondisi	Mode	Teg (kV)	Tan $\delta$	Daya (watt)	Arus (mA)	Kap (pF)
Sebelum	GST	10	0,76	0,35	0,057	18,49
Sesudah	GST	10	0,24	0,129	0.054	16,48



**Gambar 5** Diagram Batang Data Pengujian Minyak Transformator

Dari tabel diatas bila dihitung menggunakan rumus menjadi:

1. Kondisi sebelum purifikasi

$$0,35W = 10000V \times 0,057 \times 10^{-3}A \times \sin \delta$$

$$\sin \delta = \frac{0,35}{10000 \times 0,057 \times 10^{-3}}$$

$$\sin \delta = \frac{0,35}{0,57} = 0,614$$

$$\delta = \sin^{-1}0,614 = 37,88^\circ$$

Besarnya arus  $I_C$  dapat dihitung menjadi:

$$I_C = 0,057 \times \cos 37,88^\circ$$

$$I_C = 0,045 \text{ mA}$$

Besarnya arus  $I_R$  dapat dihitung menjadi:

$$I_R = \sqrt{I^2 - I_C^2}$$

$$I_R^2 = 0,057^2 - 0,045^2$$

$$I_R^2 = 0,003249 - 0,002025$$

$$I_R^2 = 0,001224$$

$$I_R = \sqrt{0,001224}$$

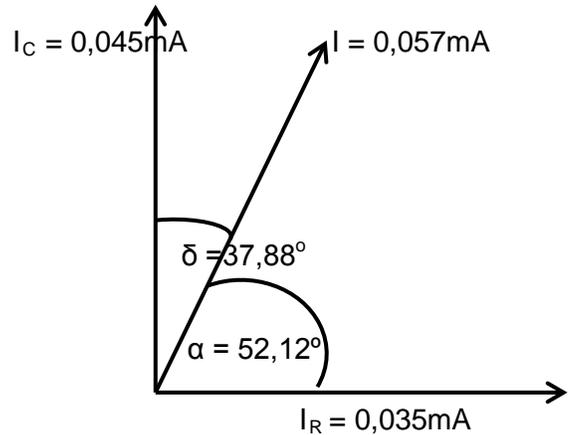
$$I_R = 0,035 \text{ mA}$$

Dengan diketahuinya besar arus  $I_C$  dan  $I_R$ , maka nilai tangen delta ( $\delta$ ) dapat dihitung menjadi:

$$\text{Tangen delta } (\delta) = \frac{0,035}{0,045} = 0,78$$

Setelah diketahui besarnya sudut  $\delta$ , arus  $I_C$ , dan arus  $I_R$  maka dapat digambarkan gambar fasornya sebagai berikut:

$$\text{Besarnya sudut } \alpha \text{ menjadi} = 90^\circ - \delta = 90^\circ - 37,88^\circ = 52,12^\circ$$



Gambar 6 Besar fasor sudut Alpha

2. Kondisi sesudah purifikasi  
 $0,129W = 10000V \times 0,054 \times 10^{-3}A \times \sin \delta$

$$\sin \delta = \frac{0,129}{10000 \times 0,054 \times 10^{-3}}$$

$$\sin \delta = \frac{0,129}{0,54} = 0,239$$

$$\delta = \sin^{-1}0,239 = 13,83^\circ$$

Besarnya arus  $I_C$  menjadi:

$$I_C = 0,054 \times \cos 13,83^\circ$$

$$I_C = 0,0524 \text{ mA}$$

Besarnya arus  $I_R$  dapat dihitung menjadi:

$$I_R = \sqrt{I^2 - I_C^2}$$

$$I_R^2 = 0,054^2 - 0,0524^2$$

$$I_R^2 = 0,002916 - 0,002746$$

$$I_R^2 = 0,00017$$

$$I_R = \sqrt{0,00017}$$

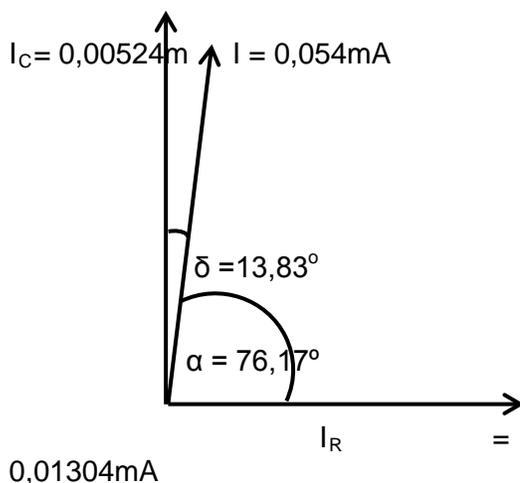
$$I_R = 0,01304 \text{ mA}$$

Dengan diketahuinya besar arus  $I_C$  dan  $I_R$ , maka nilai tangen delta ( $\delta$ ) dapat dihitung dari persamaan (2.15) menjadi:

$$\text{Tangen delta } (\delta) = \frac{0,01304}{0,0524} = 0,25$$

Setelah diketahui besarnya sudut  $\delta$ , arus  $I_C$ , dan arus  $I_R$  maka dapat digambarkan gambar fasornya sebagai berikut:

Besarnya sudut  $\alpha$  menjadi  $= 90^\circ - \delta = 90^\circ - 13,83^\circ = 76,17^\circ$



Gambar 7 Perubahan Besar fasor sudut Alpha

Dari perhitungan dan diagram fasor pengujian diatas dapat diambil kesimpulan, besarnya sudut tangen delta setelah dilakukan perbaikan dengan cara purifikasi mendapatkan hasil yang signifikan dengan semakin kecilnya sudut  $\delta$  dari  $37,88^\circ$  menjadi  $13,83^\circ$  yang dan sudut  $\alpha$  dari  $52,12^\circ$  menjadi  $76,17^\circ$ . Selain itu besarnya arus  $I_R$  dan  $I_C$  juga bertambah kecil. Hal ini tentu akan mengubah nilai tangen delta setelah dilakukan purifikasi pada minyak transformator dibandingkan sebelum dilakukan purifikasi.

**KESIMPULAN DAN SARAN**

**Kesimpulan**

1. Besarnya nilai tangen delta dapat dihitung secara rumus untuk memastikan hasil dari pengujian yang dilakukan.
2. Nilai tangen delta pada minyak tranformator ditentukan oleh besarnya arus  $I_C$  dan arus  $I_R$  yang ada dalam transformator yang menyebabkan pergeseran sudut  $\delta$  dan sudut  $\alpha$ .
3. Setelah dilakukan pengujian dan analisis secara perhitungan nilai tangen delta sebelum dan sesudah purifikasi nilai tangen delta perbedaannya terlalu jauh.
4. Selain itu, sebelum purifikasi sudut  $\delta$  mengecil dan sudut  $\alpha$  membesar

**Saran**

1. Pengujian tangen delta pada minyak transformator hendaknya dilakukan sebagai acuan / referensi untuk pengujian – pengujian selanjutnya, selain itu juga dapat jadi acuan untuk pengujian terhadap transformator yang digunakan.
2. Untuk mengetahui kondisi isolasi minyak transformator agar lebih sempurna dibutuhkan pengujian lainnya yaitu, DGA (*Dissolved Gas Analysis*) dan pengujian BDV(*Breakdown Voltage*)

**DAFTAR PUSTAKA**

Arismunandar 1990. *Teknik Tegangan Tinggi*: Pradnya Paramita, Jakarta

Danikas M.G 1990. *Breakdwon of Transformer Oil*: IEEE Electric Insulation Magazines Vol.6 No 5

Kind,Deter 1993. *Pengantar Teknik eksperimental tegangan tinggi*: ITB Bandung

L. Tobing, Bonggas. , 2003. *Peralatan Tegangan Tinggi*, Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama

IEEE Std. C57.12.80. 1978. *IEEE Standard Terminology for Power and Distribution Transformers*, New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc

*Materi training isolasi transformator.*  
PT. Trafoindo Prima Perkasa.