

KARAKTERISTIK TRANSFORMATOR

Jhonson Siburian

Dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Darma Agung
Jl.Dr.TD. Pardede No.21 Medan

ABSTRAK

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.

Keywords: *Transformator, pengujian tegangan*

1. PENDAHULUAN

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 gandengan 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.

1.1. 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.

$$\phi = \phi_{maks} \sin \omega t$$

Fluksi bolak-balik ini akan menghasilkan tegangan induksi e_1 (Hukum Farraday)

$$e_1 = - N_1 \frac{d\phi}{dt}$$

$$e_1 = - N_1 \frac{d(\phi_{maks} \sin Wt)}{dt} = - N_1$$

$W\phi_{maks} \cos Wt$ (tertinggal 90° dari ϕ)

Harga efektifnya

$$E_1 = \frac{N_1 2\pi f \phi_{maks}}{\sqrt{2}} = 4,44 N_1 f \phi_{maks}$$

Pada rangkaian sekunder, fluks (ϕ) bersama tadi menimbulkan

$$e_1 = - N_1 \frac{d\phi}{dt}$$

$$e_1 = - N_2 w \phi_m \cos wt$$

$$E_2 = 4,44 N_2 f \phi_{maks}$$

Sehingga $\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$

Dengan mengabaikan rugi tahanan dan adanya fluksi bocor.

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = a$$

Dimana : a = perbandingan tranformasi

1.2. 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 (ϕ) 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 , sehingga keseluruhan arus yang mengalir pada kumparan primer menjadi :

$$I_1 = I_0 + I_2$$

Bila rugi besi diabaikan (I_c diabaikan) maka $I_0 = I_M$

$$I_1 = I_M + I_2$$

Untuk menjaga agar fluksi tetap tidak berubah sebesar ggm yang dihasilkan oleh arus pemagnetan I_M saja, berlaku hubungan :

$$N_1 I_M = N_1 I_1 - N_2 I_2$$

$$N_1 I_M = N_1 (I_M + I_2) - N_2 I_2$$

Hingga,

$$N_1 I_2 = N_2 I_2$$

Karena nilai I_M dianggap kecil, maka $I_2 = I_1$

Jadi,

$$N_1 I_1 = N_2 I_2 \text{ atau}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

1.3 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.

2. PERANGKAT TRANSFORMATOR

Transformator terdiri atas beberapa bagian yang mempunyai fungsi masing-masing:

1. Inti Besi
2. Kumparan Trafo
3. Kumparan tertier
4. Minyak trafo
5. Bushing
6. Tangki dan Konsevator

2.1 Inti Besi

Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi, yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Dibuat dari lempengan-lempengan atau plat-plat tipis dari campuran besi khusus yang berisi sedikit silikon. Laminasi-laminasi saling terisolasi, untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh "Eddy Current", dan dijepit secara kuat agar tidak terjadi getaran-getaran.

2.2 Kumparan Trafo

Beberapa lilitan kawat berisolasi membentuk suatu kumparan. Kumparan tersebut diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap kumparan lain dengan isolasi padat, seperti karton, pertinax dan lain-lain.

Umumnya pada trafo terdapat kumparan primer dan skunder. Bila kumparan primer dihubungkan dengan tegangan atau arus bolak-balik maka pada kumparan tersebut timbul fluksi yang menginduksikan tegangan, bila pada rangkaian skunder diberi beban maka akan mengalir arus pada kumparan sebagai alat transformasi tegangan dan arus.

2.3 Minyak Trafo

Sebagian besar trafo daya, kumparan-kumparan dan intinya direndam dalam minyak trafo, terutama trafo-trafo daya berkapasitas besar, karena minyak trafo mempunyai sifat sebagai media pemindah panas dan sebagai isolasi (daya tegangan tembus tinggi) sehingga berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi.

Untuk itu minyak trafo harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- Memiliki kekuatan isolasi yang tinggi.
- Penyalur panas yang baik dan memiliki berat jenis yang kecil, sehingga partikel-partikel dalam

minyak dapat mengendap dengan cepat.

- Memiliki viskositas yang rendah agar lebih mudah bersirkulasi sehingga pendingin menjadi lebih baik.
- Memiliki titik nyala yang tinggi, tidak mudah menguap yang dapat membahayakan.
- Tidak merusak bahan isolasi yang padat.
- Memiliki sifat kimia yang stabil.
- Tidak bereaksi secara kimiawi dengan logam dan bahan isolasi.

2.4 Bushing

Hubungan antara kumparan trafo ke jaringan luar melalui sebuah bushing, yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator, yang sekali berfungsi sebagai penyekat antara konduktor dengan tangki trafo.

2.5 Tangki dan Konservator

Pada umumnya bagian-bagian dari trafo yang terendam minyak trafo berada (ditempatkan) dalam tangki. Untuk menampung pemuai minyak trafo, tangki dilengkapi dengan konservator. Konservator senantiasa berisi sebagian minyak, guna menjamin bahwa tangki transformator berisi minyak penuh dan juga membantu menghindari absorpsi kelembaban dari atmosfer oleh minyak tangki.

2.6 Peralatan Bantu

Peralatan bantu yang terdapat pada trafo daya terdiri dari :

1. Pendingin Trafo
2. Tap Changer (Perubah tap)
3. Alat Pernapasan
4. Indikator

3. 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 tg δ
4. Pengukuran tahanan isolasi
5. Pengujian minyak trafo

3.1 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.

3.2. 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.

3.3. Pengukuran Rugi-rugi dielektrik (Tg δ)

Rugi-rugi dielektrik dapat diperoleh melalui persamaan sebagai berikut :

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

Rugi-rugi dielektrik menimbulkan panas yang dapat menaikkan temperatur dielektrik dan pada akhirnya dapat mempercepat penuaan dielektrik. Rugi-rugi dielektrik juga tergantung kepada Tg , yang disebut faktor rugi-rugi dielektrik. Faktor rugi-rugi dielektrik tergantung kepada jenis bahan dielektrik. Jika Tg besar, maka rugi-rugi dielektrik makin besar.

3.4. 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)

3.5. 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.

4. PENGUKURAN DAN PENGUJIAN TRANSFORMATOR DAYA

4.1. 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

4.2 Pengukuran Tahanan Isolasi

4.2.1 Data Test Tahanan Isolasi

- Temperatur pengujian (t) = 28° 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

4.2.2 Analisis Data Tahanan Isolasi

Untuk menentukan tahanan isolasi trafo baik atau tidak dapat ditentukan dari,

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

$$R = \frac{(20.10^3)^2}{30.10^3 + 1000} = 0,013 \text{ Mohm}$$

Tahanan Trafo yang baik adalah :

$$R \geq \frac{V^2}{S + 1000} \text{ (MOhm)}$$

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

4.3 Pengujian Tegangan Tembus Minyak Trafo

4.3.1 Data Test Tegangan Tembus Minyak Trafo

- Temperatur pengujian (t) : 30°
- Jarak sela (S) : 2.5 mm
- Diameter elektroda (D) : 36 mm

Tabel 3 Data Pengukuran Tegangan Tembus Minyak Trafo

Waktu (menit)	Tegangan Tembus (kV) X_i	X_i^2
5	67	4489
5	66	4356
5	66	4356
5	65	4225
5	66	4356
	$\sum x_i = 330$	$\sum x_i^2 = 21782$

4.3.2 Analisis Data Tegangan Tembus Minyak Trafo

Dari Tabel 3 nilai rata-rata tegangan tembus minyak trafo adalah 66 KV
 Nilai rata-rata yang diperoleh ternyata lebih besar dari 60 kV, maka kualitas minyak trafo dinyatakan baik dengan 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.

4.4 Pengukuran Rugi- rugi Dielektrik (Tg δ)

4.4.1 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
	Σ=7,52	Σ=8,0854	Σ=7,43	Σ=7,8865	Σ=33,6	Σ=161	Σ=33,6	Σ=161,28

4.4.2 Analisis Data Pengukuran Tg δ

Rugi-rugi dielektrik dari suatu isolasi dengan kapasitas C pada frekuensi jaringan ω dapat dihitung dengan menggunakan factor disipasi (Tg δ) seperti persamaan 3.7 :

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

dimana :

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

Rata-rata pengukuran awal kapasitas :

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

Dengan deviasi

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

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

$$\sigma_{awal} = \sqrt{\frac{7 \times 8,0854 - (7,52)^2}{7(7-1)}} = \sqrt{\frac{56,5978 - 56,5504}{42}} = 0,03 \text{ nF}$$

Dengan deviasi standar 0,03 nF, maka penyimpanan / 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 :

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

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

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

Rata-rata pengukuran Tg δ awal dan Tg δ 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 δ awal dan Tg δ 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 Tgδ awal dan Tg δ akhir.

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

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

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

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

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

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

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

$$P_{die7} = (7.10^3)^2 \times 314 \times 1,07.10^{-9} \times 0,048 = 0,790 \text{ W}$$

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

4.5 Pengujian Frekuensi Tinggi

4.5.1 Data Test Frekuensi Tegangan tinggi

- Frekuensi : 350 Hz
- Waktu : 17 detik

Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

- Sisi TM : 30 kV
- Sisi TT : 225 kV

4.5.2 Analisis Frekuensi Tegangan Tinggi

Dari data dapat dilihat bahwa saat diberikan tegangan uji pada sisi TM (20

kV) dan sisi TT (150 kV) ternyata dihasilkan tegangan yang melebihi tegangan uji, maka dapat disimpulkan kondisi trafo baik atau lulus uji.

5. KESIMPULAN

1. Dari data dan analisis pengukuran tahanan isolasi diperoleh : $R \geq 0,013 \text{ MOhm}$, 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 $T_g \delta$ diperoleh dengan tegangan uji yang berubah-ubah, dan nilai $T_g \delta$ yang konstan, maka rugi-rugi dielektrik yang dihasilkan pun semakin besar.

DAFTAR PUSTAKA

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