

Pengujian Trafo Eksitasi Pusat Listrik Tenaga Air PB. Soedirman

Setyana Ian P.¹, Suharyanto², Harnoko St.²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, FT UGM

²Dosen Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, FT UGM

Abstrak

Sistem penguatan medan pada generator ada berbagai cara. Sedangkan penguatan yang digunakan pada PLTA PB. Soedirman menggunakan sistem penguatan statis yang awalnya bersumber dari baterai 110 Vdc sebagai *field flashing* ketika putaran mesin mencapai 90% dari putaran nominal (n nominal adalah 230,8 rpm), selanjutnya penguatan diambil alih oleh trafo eksitasi. Trafo eksitasi adalah trafo *step down* yang digunakan untuk menurunkan tegangan 13,8 kV menjadi 335 V. Tegangan tersebut digunakan sebagai penguatan pada generator. Kerusakan trafo eksitasi menyebabkan Unit pada PLTA PB. Soedirman tidak dapat beroperasi. Oleh karena itu, perlu adanya beberapa pengujian trafo untuk mengetahui keadaan trafo eksitasi. Analisis dan evaluasi hasil pengujian trafo digunakan untuk mengetahui kondisi trafo eksitasi.

Kata kunci : Penguatan Medan, Trafo Eksitasi, Pengujian Trafo

1. Pendahuluan

Generator adalah peralatan listrik untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Generator AC dijalankan dengan cara membangkitkan medan magnet generator tersebut dengan arus DC. [1]

Sistem eksitasi (penguatan) yang terdapat di PLTA PB. Soedirman adalah sistem eksitasi penguatan sendiri dengan prinsip kerja AC *excitation* dimana arus penguatan rotor generator didapat dari generator itu sendiri dan disearahkan melalui *rectifier* dan langsung dialirkan ke rotor generator melalui sikat arang.[2]

Sedangkan penguatan yang digunakan pada PLTA PB. Soedirman menggunakan sistem penguatan statis yang awalnya bersumber dari baterai 110 Vdc sebagai *field flashing* ketika putaran mesin mencapai 90% dari putaran nominal (n nominal adalah 230,8 rpm), selanjutnya penguatan diambil alih oleh trafo eksitasi yang terpasang secara paralel dengan *output* tegangan generator.

Transformator adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya (mentransformasikan tegangan).[3]

Dry Transformer atau Trafo tipe kering berbeda dengan oil transformer atau trafo minyak. Perbedaannya terletak pada system pendinginan inti dan kumparan. *Dry transformer* tidak memerlukan cairan seperti minyak atau cairan lain untuk mendinginkan inti dan kumparannya. Sistem pendinginannya hanya pada

ventilasi/celah diantara belitannya sehingga memungkinkan udara mengalir dan mendinginkan inti dan kumparan.[4]

Fungsi utama dari trafo eksitasi adalah sebagai penguatan medan magnet pada saat generator beroperasi. Sesuai *sequence start operation* step 7, kerusakan dari trafo eksitasi dapat menyebabkan gagal start pada mesin pembangkit. Proteksi untuk trafo eksitasi sendiri meliputi fuse pada feeder 13,8 kV serta *Over Current Relay* (OCR).

Pada tanggal 3 Februari 2010 pukul 22:30 terjadi gangguan/*trip* pada unit 3 dengan indikasi yang muncul "*Low Supply Voltage*". dengan dilakukan pencarian gangguan ditemukan bahwa *fuse High Voltage* 13,8 kV arah trafo eksitasi putus yang disebabkan oleh kerusakan pada trafo eksitasi (belitan terbakar) dan pada saat itu thermometer menunjukkan suhu 117 °C dan suhu dalam ruang panel terukur 46,5 °C.

2. Metodologi Penelitian

2.1. Obyek Penelitian

PLTA PB Soedirman mempunyai Trafo Eksitasi dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tipe Transformer	:	Dry-type
Rating Capacity	:	630 KVA
Rating Voltage	:	13.8/0.335 KV
Frequency	:	50 Hz
Insulation class	:	F/F
Cooling method	:	AN

2.2. Pengujian Trafo

Pengujian atau pengetesan trafo dapat menentukan diagnosa perbaikan atau *repair*. Secara umum urutan pengujian trafo adalah :

1. Uji tahanan isolasi
 2. Indeks Polarisasi (PI)
 3. Pengujian rasio belitan
 4. Pengujian tahanan dc (R_{DC})
 5. Pengujian Tan delta
- Pengujian Tahanan Isolasi dan Indeks Polarisasi

Pengukuran tahanan isolasi dilakukan pada awal pengujian dimaksudkan untuk mengetahui secara dini kondisi isolasi trafo dan untuk menghindari kegagalan dan pengujian trafo selanjutnya. Proses pengukuran dengan suatu alat ukur *Insulation Tester* (megger) untuk memperoleh hasil (nilai/besaran) tahanan isolasi belitan/kumparan trafo antara bagian yang diberi tegangan (fasa) terhadap badan (*case*) maupun antara belitan primer, sekunder dan tersier (bila ada).[5]

Harga tahanan isolasi digunakan untuk kriteria kering tidaknya trafo, juga untuk mengetahui apakah ada bagian-bagian yang terhubung singkat. Sedangkan Indeks Polarisasi (IP) adalah pengukuran tahanan isolasi pada menit ke-10 dibanding tahanan isolasi menit ke-1, parameter ini seharusnya diatas nilai standar minimum.[6]

- Pengujian Rasio Belitan Trafo

Untuk mengetahui rasio atau perbandingan sebenarnya dari alat yang berfungsi untuk mentransformasikan besaran listrik. Rasio yang didapatkan akan dibandingkan dengan nilai awal (nilai desain-nya, *factory report* atau *site test report*) dengan nilai pengujian terakhir. Sehingga dapat diketahui rasio dari alat tersebut masih sesuai atau tidak.

Idealnya transformator mempunyai daya input sama dengan daya outputnya, dalam persamaan :

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{1}{K} \quad (2.1)$$

dimana: E_1, E_2 = Tegangan Primer dan Tegangan Sekunder

N_1, N_2 = Belitan Primer dan Belitan Sekunder

I_1, I_2 = Arus Primer dan Arus Sekunder

K = konstanta atau ratio transformator

- Pengujian Tahanan DC (R_{DC})

Pengujian tahanan dalam atau *coil resistance test* adalah pengujian untuk mengetahui kesetidaktimbangan antar fasa/kutup, kesesuaian antara nilai tahanan dalam lilitan yang diukur, pengukuran sebelumnya dan dengan nilai pada *nameplate*. Jika terjadi masalah, trafo seharusnya diperiksa untuk mencari penyebab ketidaksesuaian tersebut. Masalah yang timbul

biasanya adalah hubung singkat diantara lilitan baik antara fasa yang sama atau berbeda, dan lepas atau rusaknya koneksi lilitan.

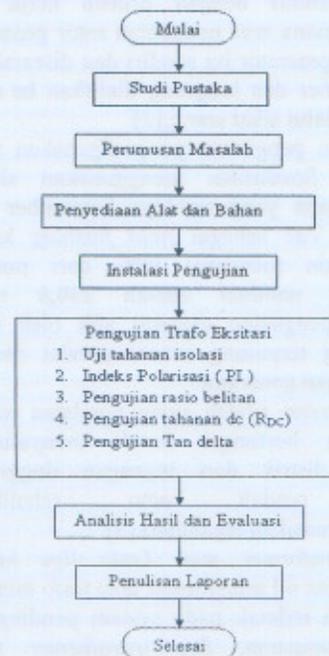
Peralatan yang digunakan untuk mengukur tahanan dalam adalah *Winding Resistance Meter*. *Winding Resistance Meter* dapat mengukur resistansi secara akurat dengan range dari 1 mikro ohm sampai ratusan ohm, alat ini dapat digunakan untuk mengukur resistansi lilitan motor, lilitan trafo atau pengujian resistansi rendah yang lain.

- Pengujian Tan Delta

Sistim isolasi mesin listrik secara alamiah akan mengalami penurunan sesuai dengan usianya, namun demikian percepatan penurunannya sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain: gesekan, *thermal stresses*, *mechanical stresses*, kantong udara didalam isolasi, kualitas lapisan semi *conductive* pada isolasi, dll.

Maksud dari pengujian isolasi Tan delta adalah untuk mengetahui proses kelemahan yang terjadi, supaya kegagalan dalam operasi dapat dihindarkan. Kegagalan (*failure*) yang terjadi pada peralatan tegangan tinggi yang sedang dipakai dalam operasi sehari hari disebabkan karena isolasinya memburuk (*deterioration*) atau karena terjadi kegagalan (*breakdown*) pada bagian bagiannya. Melemahnya isolasi ini disebabkan karena panas, kelembaban, kerusakan mekanis, korosi kimiawi, korona, tegangan lebih dan lain-lain.

2.3. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2.1 Diaram Alir Penelitian

3. Analisis Data dan Pembahasan

3.1. Analisis Data Pengujian Setelah Terjadi Gangguan

3.1.2. Pengukuran Tahanan Isolasi Trafo Eksitasi

Peralatan uji : Merk MEGGER , Type S1-1052/2

Tabel 3.1 Hasil Pengukuran Tahanan Isolasi

Durasi	HV-LV (injeksi 1000 vdc)		
	Fasa U	Fasa V	Fasa W
1 Menit	504 GΩ	656 GΩ	660 GΩ
10 Menit	595 GΩ	1314 GΩ	1540 GΩ

Berdasarkan IEEE Std C57.94-1982 --- IEEE recommended practice for installation, application, operation and maintenance of dry adalah :

Untuk nilai tahanan isolasi direkomendasikan dari produsen, jika tidak tersedia maka nilai minimum tahanan isolasi yang dapat digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 3.2 Harga minimum tahanan isolasi

Winding kV class	Insulation Resistance (MΩ)
1.2	600
2.5	1000
5.0	1500
8.7	2000
15.0	3000

Jika menurut tabel 3.2 ,maka hasil pengukuran tahanan isolasi pada trafo menunjukkan hasil yang baik dimana untuk trafo bertegangan 13,8 kV maka IR minimal di antara 2000 – 3000 MΩ untuk 1 menit. Hasil pengukuran tahanan isolasi sudah diatas dari nilai minimal tahanan isolasi yang diijinkan.

Dari pengukuran tahanan isolasi pada tabel 3.1, maka dapat dihitung besarnya Indeks Polarisasi (IP) :

$$IP = \frac{\text{Pengukuran } R_{1s} \text{ 10 menit}}{\text{Pengukuran } R_{1s} \text{ 1 menit}} \quad (3.1)$$

- Pada Fasa U

$$IP = \frac{595}{504} = 1,18$$
- Pada Fasa V

$$IP = \frac{1314}{656} = 2,00$$
- Pada Fasa W

$$IP = \frac{1540}{660} = 2,33$$

= 2,33

Dari hasil perhitungan indeks polarisasi IP menunjukkan bahwa pada fasa U (fasa R) mempunyai nilai 1,18 yaitu kondisi dipertanyakan, sedangkan untuk fasa V (fasa S) dan fasa W (fasa T) mempunyai nilai IP yang menunjukkan kondisi yang baik yaitu 2,00 dan 2,31.

Tabel 3.3 Batasan Indeks Polarisasi (IP)

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

Dari hasil di atas dapat diindikasikan bahwa pada belitan di fasa U (fasa R) mempunyai tahanan isolasi yang baik pada menit pertama, sedangkan pada pengukuran menit ke 10 menunjukkan kenaikan nilai tahanan isolasi yang tidak begitu baik. Itu terlihat dari hasil pengukuran IP bahwa pada gulungan tersebut mempunyai IP yang rendah di bawah batas minimum.

3.1.2 Pengujian Rasio Belitan Trafo

Peralatan uji : - Slide Regulator 3 phasa

- Portable meter, Merk Yokogawa, Type WT-1600

Tabel 3.4 Pengukuran rasio belitan

PHASA	Injeksi Teg.pada HV	Teg. LV (Volt)	Rasio Trafo
	(Volt)		
U	20	0,39	88,82
V	20	0,43	80,56
W	20	0,43	80,56
U	40	0	0
V	37	0	0
W	44	0,7	108,87

Dari hasil pengujian pertama dengan menggunakan tegangan injeksi 20V pada sisi *high voltage* (HV) menghasilkan tegangan keluaran pada sisi *low voltage* (LV) yaitu masing-masing pada fasa R 0,39V, fasa S 0,42V dan fasa T 0,42V. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa rasio belitan tersebut dalam keadaan baik.

Ketika pengujian dilakukan dengan tegangan injeksi pada HV sebesar 40V, ternyata pada fasa R dan S di sisi LV tidak didapat tegangan keluaran. Dari pengujian ini mulai timbul kecurigaan adanya masalah pada belitan trafo

terutama pada fasa R dan S. Setelah dilakukan pengecekan visual ternyata bagian di belitan R yang gosong dan mengeluarkan asap. Pengukuran menunjukkan hasil = **Phasa R – S ada masalah**

3.1.3 Pengukuran Tahanan Murni Trafo Eksitasi (R_{dc})

Peralatan uji : Portable double bridge, Merk Yokogawa - Electric Works, LTD

Tabel 3.5 Hasil pengukuran tahanan murni (R_{DC})

Sisi HV		Sisi LV	
Terminal	Ω	Terminal	Ω
U1 – Y1	6,6 Ω	u - Netral	1,01 Ω
U2 – Y2	6,4 Ω	-	-
V2 – Y2	102 Ω	v - Netral	1,01 Ω
W2 – Z2	102 Ω	w - Netral	1,02 Ω

Dari hasil pengukuran tahanan murni pada tabel 3.5, maka dapat diketahui bahwa pada belitan U di sisi HV mempunyai nilai tahanan murni yang sangat kecil jika dibandingkan dengan kedua belitan lainnya. Sedangkan pada sisi LV masing-masing belitan mempunyai nilai tahanan murni yang hamper sama yaitu belitan U 1,01Ω, belitan V 1,01Ω dan belitan W 1,02Ω. Ini menunjukkan bahwa pada belitan di sisi LV tidak terjadi gangguan ataupun *short circuit*.

Pengukuran pada sisi HV menunjukkan terjadinya perbedaan tahanan murni antar belitan, itu terjadi pada belitan U yang mempunyai tahanan murni sebesar 6,6Ω yang mempunyai nilai relative kecil dibanding dengan belitan V sebesar 102Ω dan belitan W sebesar 102Ω. Untuk menghindari kesalahan pembacaan ataupun faktor lain dalam pengukuran, maka pada belitan U dilakukan 2 kali pengukuran pada tap yang berbeda. Setelah dilakukan pengukuran ternyata menunjukkan hasil yang relatif sama kecilnya yaitu 6,4Ω. Sehingga setelah pengukuran tahanan murni dapat disimpulkan bahwa pada belitan U terjadi *short circuit* yang menyebabkan belitan tersebut terbakar dan mengeluarkan asap.

Pengukuran menunjukkan hasil = Phasa U sisi HV menunjukkan R yang kecil yang berarti terjadi *SHORT CIRCUIT* antar belitan pada satu fasa (*Turn to Turn*).

3.2 Analisis Data Pengujian Setelah Trafo Eksitasi di Belit Ulang (*rewinding*)

3.2.1 Pengukuran tahanan isolasi Trafo Eksitasi
Peralatan uji : Megger Merk Kyoritsu 3125

Tabel 3.6 Hasil Pengukuran Tahanan Isolasi Setelah Perbaikan

Durasi Waktu	Tegangan Injeksi			
	HV-LV (1000 Vdc)	HV – Ground (5000 Vdc)	LV – Ground (500 Vdc)	HV LV – Ground (1000 Vdc)
1 Menit	43700 MΩ	42000 MΩ	2680 MΩ	149 MΩ
10 Menit	80600 MΩ	79400 MΩ	2930 MΩ	209 MΩ

Dari pengukuran tahanan isolasi setelah perbaikan pada tabel 3.6, maka dapat dihitung besarnya Indeks Polarisasi (IP) :

- Pada Sisi HV - LV

$$IP = \frac{80600}{43700} = 1,84$$

- Pada Sisi HV - Ground

$$IP = \frac{79400}{42000} = 1,89$$

- Pada Sisi LV – Ground

$$IP = \frac{2930}{2680} = 1,09$$

- Pada Sisi HV LV - Ground

$$IP = \frac{209}{149} = 1,40$$

Dari hasil pengukuran tahanan isolasi maka dapat diperoleh hasil seperti pada tabel 3.6, selanjutnya hasil tersebut akan di evaluasi dengan beberapa standar yang direkomendasikan :

- Menurut VDE catalogue 228/4

Memberikan petunjuk bagi nilai untuk tahanan isolasi bahan adalah : 1 kV = 1 MΩ, artinya setiap trafo yang memiliki rating tegangan 1 kV memiliki nilai tahanan isolasi minimum sebesar 1 MΩ, sehingga pada trafo eksitasi yang mempunyai rating tegangan 13,8kV/335V maka nilai tahanan isolasi minimum yang harus di miliki adalah sebesar 13,8 MΩ. Dari pengujian terhadap tahanan isolasi tersebut didapatkan nilai tahanan isolasi yang jauh di atas 13,8kV (pada pengukuran 1 menit pertama) sehingga dapat disimpulkan bahwa tahanan isolasi belitan trafo dalam kondisi 'baik'.

Untuk nilai IP sudah tercantum pada tabel 3.3, berdasarkan tabel tersebut maka untuk hasil pengukuran IP mempunyai hasil yang bagus yaitu di atas 1,25, tetapi ada satu pengukuran pada sisi LV – Ground yang mempunyai IP yang cenderung rendah yaitu 1.09.

- Menurut standar pengujian IEEE 62-1995.

Untuk batas nilai tahanan isolasi menurut standar tersebut adalah :

1. Untuk Transformer dikategorikan new 1000 MΩ.
2. Untuk Transformer service aged 100 MΩ

Sehingga untuk trafo eksitasi yang masuk dalam kategori *service aged* harus mempunyai nilai tahanan isolasi minimal 100MΩ. Dari hasil pengukuran tersebut dapat disimpulkan bahwa trafo eksitasi masih dalam keadaan 'baik'.

Standar pengujian IEEE 62-1995, juga menyebutkan :

For small transformers the polarization index will be equal to 1 or slightly higher. Larger transformer may exhibit a polarization index of 1.1D1.3. In general, a high value of polarization index that the insulation system is in good condition. A polarization index of 1 indicates that immediate corrective action is required.

Berdasarkan dari pernyataan di atas maka dapat disimpulkan bahwasanya nilai Indeks

Sisi HV		Sisi LV	
Terminal	Ω	Terminal	Ω
R - S	2,9394	r - n	0,930
S - T	2,9691	s - n	0,838
T - R	3,0021	t - n	0,948

Polarisasi (IP) pada pengukuran HV – Ground, LV – Ground, HV – LV dan HV LV – Ground dengan nilai 1,85, 1,89, 1,09 dan 1,41 masih dalam standar yang diijinkan.

Kesimpulan dari pengukuran tersebut dapat dikatakan memenuhi standar, namun hasil tersebut tidaklah cukup baik karena nilai IP hanya berkisar 1, terutama pada sisi LV – Ground yang mempunyai nilai paling rendah yaitu 1,09. Penyebab dari rendahnya nilai IP tersebut dapat disebabkan karena pada waktu trafo selesai dibelit ulang (*rewinding*), pengangkutan dilakukan pada waktu hujan lebat sehingga mungkin trafo tersebut dalam keadaan lembab. Untuk menghasilkan nilai pengukuran yang baik seharusnya trafo dipanaskan terlebih dahulu menggunakan lampu ataupun heater.

3.2.2 Pengujian turn ratio belitan 13,8 kV / 335 V

Peralatan uji : TTR Vanguard ART-03

Tabel 3.7 Hasil Pengukuran rasio belitan

H (Volt)	Acuan		P h a s a	Aktual		Keterangan
	LV (Volt)	rasio		Rasio	Error	
13800	335	71.352	R	71.391	0.039	Baik
13800	335	71.3	S	71.386	0.034	Baik

13800	335	52				
		71.3	T	71.316	0.036	Baik
		52				

Dari hasil pengukuran rasio belitan didapat hasil seperti pada table 4.7, kemudian hasil tersebut akan disesuaikan dengan standar sebagai berikut :

- IEEE Std C57.12.01-1989, menyebutkan :

With rated voltage impressed on one winding of a transformer, all other rated voltages at no load shall be correct within 0.5% of the nameplate markings. Rated tap voltages shall correspond to the voltage of the nearest turn if the voltage per turn exceeds 0.5% of the desired voltage.[7]

Berdasarkan standart IEEE Std C57.12.01-1989, menyatakan bahwa toleransi untuk rasio belitan trafo tidak lebih dari 0,5%. Dari hasil pengukuran didapatkan rasio fasa R, fasa S dan fasa T sebesar 0,039, 0,034 dan 0,036 sehingga dapat dikatakan bahwa nilai rasio belitan trafo dalam keadaan baik.

3.2.3 Pengukuran tahanan murni Trafo Eksitasi (Rdc)

Peralatan uji : - Portable Transformer Resistance Meter
- WRM 40

Tabel 3.8 Hasil pengukuran tahanan murni (R_{dc})

- Menurut IEEE C.57.125-1991 "Guide for Failure Investigation, Documentation, and Analysis for Power Transformer and Shunt Reactor"

Dari hasil test terlihat hambatan antar fase seimbang. Pemeriksaan ditujukan untuk melihat apakah hambatan yang ada pada ketiga fase telah seimbang atau belum. Ketidakseimbangan hambatan akan menyebabkan besar arus tiap fase pada trafo menjadi tidak sama.

3.2.4 Pengukuran Tangen Delta

Peralatan uji : Capacitance & Dissipation / Power Factor Test Set,

Tabel 3.9 Hasil Pengukuran Tan Delta

Test	H V	
	TAN (%)	CAP (pF)
UST A-CHL	2,98	695,70
GSTg B-HL+CHG	2,64	802,26
GSTg A+B-CHG	3,99	807,00

Test	L V	
	TAN (%)	CAP (pF)
UST A-CLH	2,34	682,50
GSTg B-	6,57	1332,5

CLH+CLG		
GSTg A+B-CLG	9,60	1630,0

- Menurut IEEE Std. C57.12.00-2000 Standar General Requirements for Liquid Immersed Distribution, Power and Regulating Transformer.
- Menurut IEEE Std. C57.12.90-1999 Standart Test Code for Liquid Immersed Distribution, Power and Regulating Transformer.

Tabel 3.10 Standar untuk pengujian Tan Delta

Rating Power Faktor	Kondisi
< 0,5%	Baik
<0,5% - 0,7%	Deteriorasi
0,7% - 1,0%	Investigasi
>1,0%	Buruk

Dari hasil pengukuran pengujian, didapat bahwa nilai tan delta dalam keadaan yang buruk, jauh dari standar yang diijinkan. Namun karena alasan untuk kelangsungan pembangkitan dengan terpaksa trafo eksitasi dipasang kembali dengan catatan apabila mengganggu sistem (terjadi kinerja yang abnormal) maka diputuskan untuk mengadakan spare trafo eksitasi karena di PLTA PB. Soedirman tidak mempunyai spare trafo eksitasi.

4. Kesimpulan

Pengujian pada trafo eksitasi setelah terjadi gangguan adalah bertujuan untuk mencari dimana kerusakan dan keadaan trafo, sedangkan pengujian dan evaluasi setelah perbaikan bertujuan untuk melihat keadaan trafo dengan cara membandingkan hasil pengukuran tersebut dengan standar yang dianjurkan.

Pada pengujian setelah trafo eksitasi mengalami perbaikan (*rewinding*) hasil menunjukan nilai yang baik pada pengujian tahanan isolasi, Indeks Polarisasi (IP), rasio belitan dan tahanan dalam (R_{dc}). Namun pada hasil pengujian tan delta menunjukan hasil yang kurang memuaskan.

Dari kerusakan trafo eksitasi yang terjadi, dapat dianalisa penyebab terjadinya *breakdown* pada trafo terjadi karena faktor penuaan isolasi yang dipengaruhi oleh waktu dan suhu (pemanasan yang tinggi).

5. Referensi

- [1]. Marsudi, Djiteng, Pembangkit Energi Listrik, Erlangga, Jakarta : 2005
- [2]. Manual Handbook, *Station Manual 8 Generator Equipment* – ASEA
- [3]. Arismunandar, Artono. Prof. Dr, Teknik Tegangan Tinggi, Pradnya Paramitha, Jakarta, 2001
- [4]. <http://www.electricityforum.com/electrical-transformers/dry-type-transformers.html>
- [5]. Triana, Rita, Life assesment transformer PLTA Jelok – UBHAR, 2009.
- [6]. Forum Enjinerig Review, Pengujian Elektrik Trafo dan Interpretasinya - PLN P3B
- [7]. IEEE Std C57.12.01-1989 --- IEEE standard general requirements for dry-type distribution and power transformers