



ANALISIS UMUR MINYAK TERHADAP TEMPERATUR TRANSFORMATOR 150KV AKIBAT PENURUNAN TEGANGAN TEMBUS PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GAS (PLTG) 2.1 PT PLN (PERSERO) UNIT PELAKSANA PEMBANGKITAN BELAWAN

OIL AGE ANALYSIS OF 150KV TRANSFORMER TEMPERATURE DUE TO REDUCING BREAKDOWN VOLTAGE IN GAS POWER PLANT (PLTG) 2.1 PT PLN (PERSERO) IMPLEMENTATION OF BELAWAN POWER PLANT

Indra Roza¹⁾, Agus Almi Nasution²⁾ & Heri Setiawan³⁾

1) Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Harapan Medan, Indonesia

2) Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Harapan Medan, Indonesia

3) Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Harapan Medan, Indonesia

Diterima: Agustus 2019; Disetujui: Agustus 2019; Dipublikasi: Agustus 2019

*Corresponding Email: indraroza.ir@gmail.com

Abstrak

Pemakaian pada kondisi pembebanan yang sangat besar secara terus menerus, maka pada transformator akan menimbulkan panas pada daerah/bagian internal dari transformator atau bisa disebut sebagai temperatur hot-spot yang bila dibiarkan akan menyebabkan degradasi pada isolasi transformator. Dengan temperatur yang besar dapat menyebabkan transformator menjadi panas dan bisa mengurangi keandalan kerja dari transformator. Semakin tinggi temperatur minyak transformator maka kemampuan dielektrik minyak akan semakin menurun. Bahan dielektrik pada peralatan tegangan dibutuhkan untuk memisahkan penghantar listrik yang bertegangan sehingga antar penghantar yang bertegangan tersebut tidak terjadi hubung singkat yang dapat menyebabkan lompatan api atau percikan. Salah satu peralatan tegangan tinggi yang digunakan dalam sistem tenaga listrik transformator tenaga dengan bahan dielektrik yaitu minyak trafo yang berfungsi untuk memisahkan penghantar yang bertegangan dan pendingin. Minyak trafo termasuk jenis bahan dielektrik cair berupa minyak. Mempunyai kerapatan 1000 kali lebih besar daripada dielektrik gas sehingga kekuatan dielektriknya / kemampuan tegangan tembusnya lebih tinggi dari pada dielektrik gas. Hasil pengujian tegangan tembus pada temperatur kritis (90°C) minyak baru main Transformator GT 2.1 sebesar 62.19 kV, Minyak 1 tahun sebesar 61.55 kV, Minyak 2 tahun sebesar 59.23 kV, dan Minyak 5 tahun sebesar 58.23 kV. Histori logsheet dari main transformator GT 2.1 temperatur minyak transformator berada diantara 80°C s/d 90°C, berarti minyak baru main transformator GT 2.1 dan minyak 1 tahun masih layak digunakan. Sedangkan minyak 2 tahun dan 5 tahun memiliki tegangan tembus juga masih dapat dikatakan layak pakai tetapi masuk kedalam kategori minyak *second* layak pakai. Hasil yang didapatkan dari penelitian ke 4 variabel minyak tersebut masih dikatakan layak pakai berdasarkan kategorinya menurut IEC 60296-2003 dan IEC 60422-2005.

Kata Kunci: Umur minyak, Temperatur, Transformator, Tegangan Tembus

Abstract

Use in very large loading conditions continuously, then the transformer will cause heat in the area / internal parts of the transformer or can be called a hot-spot temperature which if left unchecked will cause degradation in the isolation of the transformer. With large temperatures can cause the transformer to heat up and can reduce the working reliability of the transformer. The higher the temperature of the transformer oil, the dielectric ability of the oil will decrease. The dielectric material in the voltage equipment is needed to separate the conductor of electrical voltage so that between the conductor of the voltage does not occur short circuit which can cause a fire jump or spark. One of the high voltage equipment used in electric power systems is power transformers with dielectric material, namely transformer oil which serves to separate the conductor and the cooler. Transformer oil is a type of liquid dielectric material in the form of oil. has a density of 1000 times greater than the gas dielectric so that the strength of the dielectric / breakdown voltage capability is higher than the gas dielectric. The results of testing the breakdown voltage at critical temperatures (90 ° C) of new oil playing Transformer GT 2.1 amounted to 62.19 kV, 1 year oil at 61.55 kV, 2 years oil at 59.23 kV, and 5 years oil at 58.23 kV. The logsheet history of the main GT 2.1 transformer oil temperature of the transformer oil is between 80 ° C to 90 ° C, meaning the new main oil is playing GT 2.1 transformer and 1 year oil is still suitable for use. While oil 2 years and 5 years has a breakdown voltage also can still be said to be suitable for use but it is included in the category of second oil suitable for use. The results obtained from the study of the 4 oil variables are still said to be suitable for use based on their categories according to IEC 60296-2003 and IEC 60422-2005.

Keywords: *oil age, temperature, transformer, breakdown voltage*

How to Cite: Roza, I, Nasution, A, A, Setiawan, H. (2019). Analisis umur minyak terhadap temperatur transformator 150kv akibat penurunan tegangan tembus pada pembangkit listrik tenaga gas. *JESCE (Journal of Electrical and System Control Engineering)*. 3 (1): 1-12

PENDAHULUAN

Di dalam suatu Sistem Tenaga Listrik, aliran dayadari suatu Pembangkit Tenaga Listrik menuju suatu saluran transmisi tegangan tinggi dan pada akhirnya di distribusikan menuju para konsumen, suatu device atau peralatan yang memegang peranan yang sangat penting dalam kelancaran sistem tersebut adalah Transformator. Transformator berfungsi untuk meningkatkan tegangan yang dihasilkan oleh pembangkit dan mengalirkannya melalui saluran transmisi dan nantinya tegangan ini akan diturunkan untuk selanjutnya didistribusikan ke pelanggan yang ada. Sebagai penghubung antara pembangkit dan saluran transmisi digunakan transformator Pembangkit dan penghubung antara saluran transmisi dengan konsumen, digunakan Transformator Distribusi.

Sistem transmisi dan distribusi seperti ini sangat bergantung pada kemampuan dan efektifitas dari transformator itu sendiri. Kemampuan yang tidak optimal dari suatu transformator, akan menyebabkan aliran daya yang dikirimkan menuju beban juga akan semakin berkurang dan pada akhirnya tidak sesuai dengan permintaan beban. Beberapa waktu yang lalu, terjadi

kasus yang menyebabkan beberapa *Interbus Transformer* (IBT) atau transformator daya yang ada di Gardu Induk di daerah Sumatera meledak.

Setelah diselidiki oleh para ahli, penyebab utama yang mengakibatkan transformator ini meledak adalah akibat dari pembebanan yang sangat besar pada transformator yang mengakibatkan *Interbus Transformer* (IBT) atau Transformator Daya bekerja pada titik tertingginya selama beberapa waktu secara terus menerus. Hal ini tentu saja berakibat buruk pada kondisi dan karakteristik dari transformator dan isolasinya sendiri.

Akibat pemakaian pada kondisi pembebanan yang sangat besar secara terus menerus, maka pada transformator tersebut akan timbul panas pada daerah/bagian internal dari transformator atau bisa disebut sebagai temperatur hot-spot yang bila dibiarkan akan menyebabkan degradasi pada isolasi transformator tersebut, terutama isolasi cair yang berupa minyak dan biasa disebut sebagai minyak transformator. Temperatur yang besar dapat menyebabkan transformator menjadi panas dan bisa mengurangi keandalan kerja dari transformator tersebut. Keberadaan isolasi sangat

penting karena selain berfungsi sebagai pemisah antara inti transformator tersebut, isolasi ini berfungsi juga sebagai pendingin transformator sehingga mampu meminimalisir panas yang timbul pada transformator tersebut.

Karena minyak transformator tersebut berada dalam keadaan panas selama beberapa waktu, maka minyak tersebut akan mendidih dan menghasilkan uap- uap air pada bagian langit-langit dari transformator ini. Nantinya, uap-uap air yang timbul tadi akan jatuh kedalam minyak transformator dan akan mengendap pada isolasi antar inti dan juga pada bagian inti itu sendiri. Hal ini tentu saja akan menyebabkan tegangan tembus dari minyak transformator akan semakin berkurang karena minyak tersebut sudah tidak murni lagi.

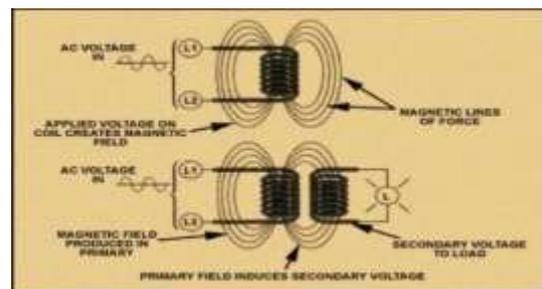
LANDASAN TEORI

Transformator daya adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya. Dalam operasi penyaluran tenaga listrik dari pembangkit ke pelanggan maka transformator merupakan peralatan yang sangat penting dari suatu pembangkit, transmisi dan distribusi. Dalam kondisi ini suatu transformator diharapkan dapat

beroperasi secara maksimal dan kontinu dengan aman. Mengingat kerja keras dari suatu transformator seperti itu sehingga diperlukan pemeliharaan sebaik mungkin.

Prinsip Kerja Transformator

Trafo menggunakan prinsip elektromagnetik yaitu hukum ampere dan induksi faraday, dimana perubahan arus atau medan listrik dapat membangkitkan medan magnet dan perubahan medan magnet / fluks medan magnet dapat membangkitkan tegangan induksi.



Gambar 1. Prinsip Hukum elektromagnetik.

Konstruksi Utama dan Auxilliary Transformator

Transformator terdiri dari Bagian-bagian :

1. Inti Besi (*Electromagnetic Circuit*)

Inti besi transformator digunakan sebagai media jalannya fluks yang timbul akibat induksi arus bolak balik pada kumparan yang mengelilingi inti besi sehingga dapat menginduksi kembali ke kumparan yang lain.

2. Belitan

Belitan terdiri dari batang tembaga berisolasi yang mengelilingi inti besi, dimana saat arus bolak balik mengalir pada belitan tembaga (kumparan primer) tersebut, inti besi akan terinduksi dan menimbulkan flux magnetik.

3. Bushing

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

4. Minyak dan Kertas Isolasi Transformator (*Dielectric*)

Minyak Isolasi Transformator berfungsi sebagai media isolasi, pendingin dan pelindung belitan dari oksidasi. Isolasi kertas merupakan bagian dari sistem isolasi trafo. Isolasi kertas berfungsi sebagai media dielektrik, menyediakan kekuatan mekanik dan *spacing*.

5. Konservator

Konservator digunakan untuk menampung minyak pada saat transformator mengalami kenaikan temperature.

Peralatan Bantu Transformator :

1. Sistem Pendingin

Temperatur pada transformator yang sedang beroperasi akan dipengaruhi oleh kualitas tegangan jaringan, *losses* pada trafo itu sendiri dan temperatur lingkungan. Temperatur operasi yang tinggi akan mengakibatkan rusaknya isolasi kertas pada transformator sehingga diperlukan sistem pendinginan yang efektif. Komponen- komponen pada system pendingin transformator diantaranya adalah sebagai berikut:

- Radiator

Radiator adalah sirip-sirip yang bergelombang dan dilalui minyak transformator, yang berfungsi untuk memperluas permukaan kontak dengan udara sehingga pendinginan bisa lebih cepat.

- Kipas Pendingin

Fan atau kipas pendingin dipasang pada radiator untuk mempercepat proses pendinginan minyak transformator didalam radiator.

- Pompa Sirkulasi

Pompa sirkulasi minyak transformator biasanya terletak di header bawah radiator. Pompa tersebut menyedot minyak dari radiator, kemudian minyak dialirkan ke bagian bawah tangki transformator.

- *Oil Flow Indicator*

Oil Flow indicator transformator biasanya dilengkapi untuk sistem pendingin transformator yang menggunakan pompa sirkulasi minyak.

- Sistem Kontrol Pendingin

Pada transformator yang menggunakan pendinginan paksa (*fan*, pompa), biasanya dilengkapi dengan *box* sistem kontrol untuk mengatur operasi sistem pendingin tersebut.

2. Indikator-Indikator Pada Transformator

Ada beberapa indikator-indikator yang dimonitor dalam suatu transformator sebagai berikut:

- Indikator Temperatur

Indikator temperatur berfungsi untuk mengetahui temperatur operasi dan indikasi ketidaknormalan. Temperatur operasi pada trafo digunakan *rele thermal*.

- Indikator Level Minyak

Minyak transformator merupakan elemen penting karena menjadi media pendingin sekaligus media isolasi untuk *winding*. Sehingga monitor level minyak sangat penting karena dapat mempengaruhi performance transformator dalam pengoperasiannya.

3. Proteksi Transformator

- *Relay Bucholz*

Pada saat trafo mengalami gangguan *internal* yang berdampak kepada suhu yang sangat tinggi dan pergerakan mekanis didalam trafo, maka akan timbul tekanan aliran minyak yang besar dan pembentukan gelembung gas yang mudah terbakar. Tekanan atau gelembung gas tersebut akan naik ke konservator melalui pipa penghubung dan *relay bucholz*. Tekanan minyak maupun gelembung gas ini akan di deteksi oleh *relay bucholz* sebagai indikasi telah terjadinya gangguan *internal*.

- *Relay Jansen*

Relay jansen adalah relay yang digunakan untuk mengamankan trafo dari gangguan di dalam *tap changer* (OLTC) yang menimbulkan gas. Relay Jansen memanfaatkan tekanan minyak dan gas yang terbentuk sebagai indikasi adanya ketidaknormalan / gangguan. *Relay* ini dipasang pada pipa yang menuju konservator.

- *Relay Sudden Pressure*

Pressure Relay ini didesain sebagai titik terlemah saat tekanan didalam trafo muncul akibat gangguan. Dengan menyediakan titik terlemah maka tekanan akan tersalurkan melalui *Pressure Relay* dan tidak akan

merusak bagian lainnya pada *maintank*.

- **Relay Temperatur**

Untuk mengetahui temperatur operasi dan indikasi ketidaknormalan temperatur operasi pada trafo digunakan *relay thermal*.

Minyak Transformator

Minyak isolasi pada transformator berfungsi sebagai media isolasi, pendingin dan pelindung belitan dari oksidasi. Minyak isolasi transformator merupakan minyak mineral yang secara umum terbagi menjadi tiga jenis, yaitu parafinik, naphthanik dan aromatik. Antara ketiga jenis minyak dasar tersebut tidak boleh dilakukan pencampuran karena memiliki sifat fisik maupun kimia yang berbeda. Minyak transformator dapat dilihat pada gambar 1.2.



Gambar 2. Minyak Isolasi Transformator

Didalam standar IEC 60422 telah dicantumkan parameter-parameter minyak isolasi dengan batasan- batasan minimum untuk minyak isolasi yang baru

dimasukan kedalam peralatan sebelum energize.

Tabel 1. Batasan nilai parameter minyak isolasi yang baru dimasukan kedalam peralatan sebelum dilakukan proses energize

Property	Highest voltage for equipment kV ¹		
	<72,5	72,5 to 170	>170
Appearance	Clear, free from sediment and suspended matter		
Colour (on scale given in ISO 2049)	Max. 2.0	Max. 2.0	Max. 2.0
Breakdown voltage (kV)	>55	>60	>60
Water content (mg/kg) ²	20 ³	<10	<10
Acidity (mg KOH/g)	Max. 0.03	Max. 0.03	Max. 0.03
Dielectric dissipation factor at 90°C and 40 Hz to 60 Hz	Max. 0.015	Max. 0.015	Max. 0.015
Resistivity at 90°C (GΩm)	Min. 60	Min. 60	Min. 60
Oxidation stability	As specified in IEC 60295		
Interfacial tension (mN/m)	Min. 35	Min. 35	Min. 35
Total PCB content (mg/kg)	Not detectable (< 2 total)		

Fungsi Minyak Transformator

Minyak transformator memiliki beberapa fungsi yaitu :

1. Insulator yaitu mengisolasi kumparan di dalam transformator supaya tidak terjadi lompatan bunga api (hubungan pendek) akibat tegangan tinggi.
2. Pendingin yaitu dengan cara menyerap panas yang terjadi pada belitan, inti maupun pada bagian-bagian transformator yang lainnya yang mengakibatkan panas. Panas

pada transformator terjadi antara lain karena adanya rugi-rugi transformator (rugi-rugi tembaga dan rugi-rugi inti), arus bocor, pembebanan lebih, dan gangguan-gangguan seperti surja dan hubung singkat.

3. Melindungi komponen-komponen di dalam transformator terhadap korosi dan oksidasi.

Syarat Minyak Transformator

Syarat- syarat minyak transformator layak untuk digunakan yaitu :

1. Kekuatan isolasi harus tinggi, yaitu untuk minyak baru dan belum difilter adalah >30 kv/2,5 mm.
2. Penyalur panas yang baik, berat jenis kecil, sehingga partikel-partikel dalam minyak dapat mengendap secara cepat.
3. *Viscositas* yang rendah agar mudah bersirkulasi dan kemampuan pendinginan menjadi lebih baik.
4. Titik nyala yang tinggi, tidak mudah menguap yang dapat membahayakan.
5. Tidak merusak bahan isolasi padat.
6. Minyak transformator harus bersih, tidak boleh mengandung suspensi, endapan atau sedimen.
7. Tidak mengandung uap air, adanya air dalam minyak isolasi akan

menurunkan tegangan tembus dan tahanan jenis minyak isolasi serta akan mempercepat kerusakan kertas pengisolasi.

8. Tidak mengandung karbon, adanya gas terlarut dan gas dalam minyak isolasi dapat digunakan untuk mengetahui kondisi transformator dalam operasi. Adanya gas seperti *hydrogen* (H_2), *metana* (CH_4), *Etana* (C_2H_6), *Etilen* (C_2H_4) menunjukkan dekomposisi minyak isolasi pada kondisi operasi, sedangkan adanya karbondioksida (CO_2) dan karbon monoksida (CO) menunjukkan kerusakan pada bahan isolasi.
9. Angka kenetralan (*Neutralization*), maksimum 0,5 mg KOH/g. Angka kenetralan merupakan angka yang menunjukkan angka penyusun asam minyak isolasi dan dapat mendeteksi kontaminasi minyak, menunjukkan kecenderungan perubahan kimia atau cacat. Angka kenetralan dapat menjadi petunjuk umum untuk menentukan apakah minyak sudah harus diganti atau cukup diolah (*purify / filtering / treatment*).

Untuk itu pemantauan dan pemeliharaan kualitas minyak adalah

sangat penting untuk menjamin keandalan operasi peralatan listrik khususnya transformator, dan para ahli yang berwenang telah menetapkan petunjuk dalam bentuk standar uji dan spesifikasi teknik seperti *IEC, ASTM, BS* dll. Minyak transformator baru (*Unused mineral insulating oil*) *IEC 60296-2003*. Minyak transformator pakai (*Mineral oil in service*) *SPLN 49-1:1982 IEC 422:1982* diperbahurui menjadi *IEC 422:1989*. Spesifikasi dan metode pengujian minyak yang digunakan untuk minyak isolasi transformer adalah menggunakan standar *IEC Publ 296*. Untuk standarisasi Minyak isolasi brau dan pakai dapat dilihat pada gambar 3 & 4 dibawah ini.

STANDART HASILPEMERIKSAAN MINYAK TRAF0 BATASAN MINYAK ISOLASI BARU (IEC 60296-2003)		
BATASAN MINYAK ISOLASI BARU (IEC 60296-2003)		
No.	Parameter uji	Batasan
1.	Fungsi	
1.1	Viskositas pada 40 °C	Max. 12 cSt
1.2	Titiktuang	Max. - 40 °C
1.3	Kadar air	Max. 30 mg/kg
1.4	Tegangan tumbus : - Sebelum treatment : Setelah treatment	Min. 30 kV Min. 60 kV

Gambar 4. Standarisasi Untuk Minyak Isolasi pakai

Sample Minyak Transformator

Dalam pengujian ini, digunakan 4 variabel sample yaitu minyak baru (minyak transformator GT2.1), minyak berumur 1 tahun, minyak berumur 2 tahun, dan minyak berumur 5 tahun.

STANDART HASILPEMERIKSAAN MINYAK TRAF0 BATASAN MINYAK ISOLASI PAKAI (IEC 60422:2005)						
BATASAN MINYAK ISOLASI PAKAI (IEC 60422:2005)						
No.	Parameter	Metoda	Batasan IEC 60422:2005			
			Jenis trafo (a)	Baik	Cukup	Buruk
1.	Tegangan tembus, (kV/ 2,5 mm)	IEC 156	O, A	> 60	50 - 60	< 50
			B	> 50	40 - 50	< 40
			C	> 40	30 - 40	< 30

Gambar 3. Standarisasi Minyak Isolasi Baru



Gambar 5.



Gambar 6.



Gambar 7.



Gambar 8.

keterangan :

Gambar 5. = Sample Minyak Baru

Gambar 6. = Sample Minyak 1 Tahun

Gambar 7. =Sample Minyak 2 Tahun

Gambar 8. Sample Minyak 5 Tahun

METODOLOGI PENELITIAN

Pada pengujian ini objek yang akan diuji adalah minyak transformator dari suatu Transformator Daya. Minyak yang akan diuji merupakan minyak Shell Diala yang baru dan minyak Shell Diala lama yang sudah terpakai selama beberapa waktu yang digunakan di dalam tangki Transformator tersebut. Minyak transformator tersebut akan dipanaskan sesuai dengan keadaan temperatur hotspot berdasarkan literatur.

Prosedur Pengujian

Adapun yang menjadi prosedur dalam pengujian kali ini adalah sebagai berikut: Tempatkan bahan uji di dalam bejana uji, Perubahan suhu akan diberikan pada minyak yang hendak diuji sesuai dengan data temperatur hotspot, Untuk melakukan pemanasan bahan uji pada bejana uji, dapat digunakan heater atau pemanas lain dan untuk mengukur suhunya digunakan thermometer. Pengujian tegangan tembus dengan eralatan Uji di Laboratorium Tegangan Tinggi, Langkah tersebut akan

dilakukan sebanyak 6 kali untuk 4 jenis minyak Shell Diala yang berbeda. Sehingga total pengujiannya adalah sebanyak 24 kali pengujian.

Alat dan Bahan

1. Satu set peralatan tegangan tembus (termasuk vessel yang terdiri dari elektroda dan stirer).
2. Sample minyak transformator



Gambar 9. Alat Penguji Tegangan Tembus Type Portatest A2

HASIL ANALISA

Tabel 2. Hasil pengujian tegangan tembus

Temperature (°C)	Tegangan Tembus (KV)			
	Minyak Baru	Minyak 1 Tahun	Minyak 2 Tahun	Minyak 5 Tahun
45	70.46	69.15	68.65	66.85
50	69.56	68.45	67.24	65.14
55	68.68	67.95	66.55	64.48
60	67.51	67.08	65.19	63.56
65	66.33	66.42	64.62	62.74
70	65.65	65.24	63.44	61.85
75	64.41	64.56	62.57	61.01
80	63.02	63.12	61.32	60.52
85	62.51	62.78	60.59	59.75
90	62.19	61.55	59.23	58.23
95	61.44	59.94	58.77	57.56
100	60.89	58.66	58.01	56.21
Rata - Rata	65.22	64.51	63.01	61.49

Dari tabel 2, jika digambarkan kedalam bentuk grafik maka akan terlihat seperti gambar 10.



Gambar 10. Hasil pengujian tegangan tembus

Dari hasil penelitian diatas, terlihat hasil yang sangat berbeda pada setiap sample minyak transformator. Hasil tegangan tembus pada temperature kritis (90°C) minyak baru main Transformator GT 2.1 sebesar 62.19 kV, Minyak 1 tahun sebesar 61.55 kV, Minyak 2 tahun sebesar 59.23 kV, dan Minyak 5 tahun sebesar 58.23 kV. Histori logsheet dari main transformator GT 2.1 temperatur minyak transformator berada diantara 80°C s/d 90°C, berarti minyak baru main transformator GT 2.1 dan minyak 1 tahun masih layak digunakan (mengacu pada IEC 60296 – 2003). Sedangkan minyak 2 tahun dan 5 tahun memiliki tegangan tembus juga masih dapat dikatakan layak pakai tetapi masuk kedalam kategori minyak *second* layak pakai (mengacu pada IEC 60422 – 2005).

Dari grafik pada gambar 10 tersebut, dapat dilihat jika semakin tinggi temperatur dan semakin tua mur dari

minyak transformator, maka tegangan tembus dari minyak transformator akan semakin rendah. Selain itu dari grafik diatas juga dapat dibandingkan perbandingan tegangan tembus antara minyak-minyak yang diuji. Sesuai dengan yang telah disebutkan pada bagian dasar teori yang menyebutkan tentang sifat yang harus terdapat pada minyak transformator yang baik, dimana faktor kebocoran dielektrik yang rendah, maka hal ini sesuai dengan hasil pengujian yang telah dilakukan sebelumnya. Minyak transformator yang baru dipasang pada transformator akan bekerja sebagai isolasi dari transformator.

Transformator tersebut bekerja pada keadaan optimum secara terus menerus sehingga menyebabkan temperatur minyak dari transformator akan naik. Temperatur minyak yang tinggi ini akan menyebabkan molekul-molekul pada minyak tersebut akan pecah sehingga faktor kebocoran dielektriknya akan semakin tinggi. Warna dari minyak transformator yang pada kondisi baru masih berwarna kuning tadi akan berubah menjadi semakin coklat bahkan gelap. Seiring dengan pertambahan waktu, oksigen dari udara, kelembaban dari transformator, dan kandungan zat kimia lain seperti asam dan karbon dapat

menyebabkan kualitas minyak transformator tadi semakin buruk karena sebagian besar minyak akan mengalami reaksi kimia yang dapat menyebabkan susunan kimia daripada minyak transformator tersebut menjadi terurai. Selain itu semakin tua umur dari minyaktransformator tersebut, maka kotoran tadi akan semakin banyak sehingga minyak akan semakin terkontaminasi dan menyebabkan tegangan tembus dari transformator akan semakin rendah.

KESIMPULAN

1. Semakin tinggi temperatur minyak transformator maka kemampuan dielektrik minyak akan semakin menurun.
2. Hasil tegangan tembus pada temperatur kritis (90°C) minyak baru main Transformator GT 2.1 sebesar 62.19 kV, Minyak 1 tahun sebesar 61.55 kV, Minyak 2 tahun sebesar 59.23 kV, dan Minyak 5 tahun sebesar 58.23 kV.
3. Histori logsheet dari main transformator GT 2.1 temperatur minyak transformator berada diantara 80°C s/d 90°C, berarti minyak baru main transformator GT 2.1 dan minyak 1 tahun masih layak digunakan. Sedangkan minyak 2 tahun dan 5 tahun

memiliki tegangan tembus juga masih dapat dikatakan layak pakai tetapi masuk kedalam kategori minyak *second* layak pakai.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, A. *Teknik Tegangan Tinggi*, Pradnya Paramita, Jakarta, 2011
- Chapman, Stephen J. *Electric Machinery and Power System Fundamentals*. Mc Graw Hill. New York, 2012.
- Garniwa, Iwa dan Rudy Setiabudy. *Pengujian Minyak Transformator*. Laporan Penelitian.2012
- Heathcote, Martin J. CEng, FIEE. *The J&P Transformer Book*. Johnson & Phillips Ltd. Massachussets, 2012.
- Malik, N.H., Al-Arainy, A.A, and Qureshi, M.I., *Electrical Insulation in Power Systems*, Marcel Dekker, Inc., New York, 2014
- Mohammad R. Meshkatoddini. *Aging Study and Lifetime Estimation of Transformer Mineral Oil*. American J. of Engineering and Applied Sciences 1 (4): 384-388, 2012.
- Materi PLN Pendidikan dan Pelatihan *Pemeliharaan transformator Dasar* Udiklat Suaralaya, 2017
- Panduan Pemeliharaan Transformator Tenaga oleh PLN P3B, Medan, 2013
- Setiabudy, Rudy. *Material Teknik Listrik*. UI Press. Depok, 2016.
- Tajudin. *Analisis Kegagalan Minyak Transformator*. elektro Indonesia, Edisi 12 Maret 2011.
- Indra Roza, Pengaruh Kepadatan Polutan terhadap Tegangan Tembus Isolasi Minyak transformator, Juridikti jilid 5 April 2011