



Analisis Pengujian Rutin dan Spesial pada Transformator Distribusi 5 MVA 20 kV/6,3 kV

AMIR GHAZAN GIFARI , WALUYO

Program Studi Teknik Elektro (Institut Teknologi Nasional Bandung)
Email : amirghazanakatsuki@itenas.ac.id

ABSTRAK

Keandalan transformator distribusi ditingkatkan secara signifikan oleh suatu rencana pengujian yang ditulis dengan baik, yang harus mencakup spesifikasi untuk pengujian transformator. Pada sebuah transformator distribusi yang baru saja di produksi, pengujian dilakukan untuk mengetahui keandalan dari transformator distribusi tersebut apakah sudah sesuai dengan standard keandalan yang ada atau belum. Pengujian dilakukan dengan 2 metode yaitu pengujian Rutin Tes dan Pengujian Special Tes yang dilakukan dalam keadaan transformator on line dan off line. Dari hasil pengujian didapat : nilai isolasi transformator LV=1110 M Ω dan HV=4660 M Ω , Nilai TTR di atas $\pm 0,5\%$, Nilai tahanan dalam kawat trafo 0,583 Ω , Total rugi-rugi 49.011,2 W, keadaan gas pada oli masih dalam batas standard IEEE, isolasi kapasitansi dan faktor tan δ harus dilakukan pengujian kembali hingga nilai sesuai dengan standard IEEE, dan struktur transformator tidak ada yang bergeser atau berubah posisi dilihat dari SFRA tes. Menurut semua pengujian yang telah dilakukan meliputi Rutin Tes dan Spesial Tes, maka dapat di simpulkan Transformator layak digunakan.

Kata kunci: *Transformator, Spesial Tes, Rutin Tes, Isolasi, Tahanan Kawat*

ABSTRACT

The reliability of the distribution transformer is significantly enhanced by a well-written test plan, which should include specifications for the transformer testing. In a distribution transformer that has just been produced, tests are carried out to determine the reliability of the distribution transformer whether it is in accordance with existing reliability standards or not. The test is carried out by two methods, namely the Routine Test and the Special Test which are carried out in an on-line and off-line transformer. From the test results obtained: the value of transformer insulation LV = 1110 M Ω and HV = 4660 M Ω , the TTR value is above $\pm 0.5\%$, the value of resistance in the transformer wire is 0.583 Ω , the total losses are 49.011.2 W, the gas state in the oil is still Within the limits of the IEEE standard, the isolation capacitance and tan factor δ must be tested again until the value is in accordance with the IEEE standard, and no transformer structure has shifted or changed position seen from the SFRA test. According to all the tests that have been carried out including the Routine Test and the Special Test, it can be concluded that the transformer is suitable for use.

Keywords: *Transformers, Special Test, Routine Test, Isolation, Resistance Wire*

1. PENDAHULUAN

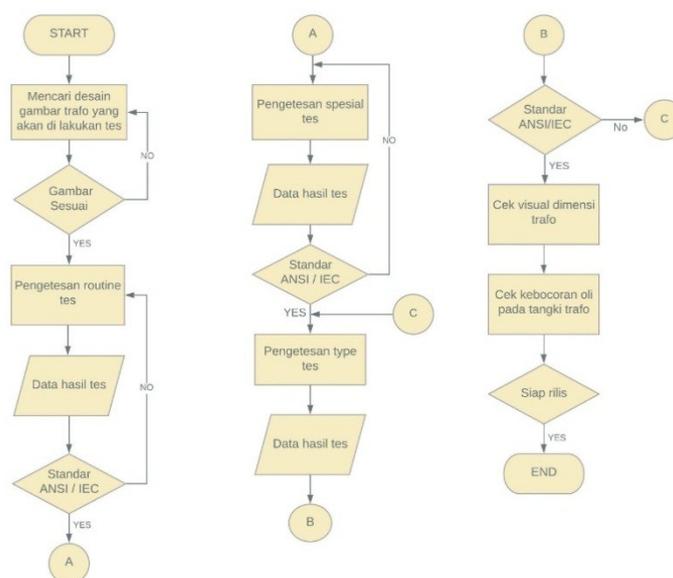
Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaannya dalam sistem tenaga memungkinkan dipilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh. Trafo Distribusi atau Distribution Transformer digunakan untuk mendistribusikan energi listrik dari pembangkit listrik ke daerah perumahan ataupun lokasi industri. Pada dasarnya, Trafo Distribusi ini mendistribusikan energi listrik pada tegangan rendah yang kurang dari 33 kilo Volt untuk keperluan rumah tangga ataupun industri yang berada dalam kisaran tegangan 220V hingga 380V (Winders, 2002).

Keandalan transformator distribusi ditingkatkan secara signifikan oleh suatu rencana pengujian yang ditulis dengan baik, yang harus mencakup spesifikasi untuk pengujian transformator. Mengembangkan rencana pengujian dengan spesifikasi pengujian yang efektif adalah upaya bersama antara produsen dan pengguna transformator (Harlow, 2007). Pada sebuah trafo distribusi yang baru saja di produksi, pengujian dilakukan untuk mengetahui keandalan dari trafo distribusi tersebut apakah sudah sesuai dengan standard keandalan yang ada atau belum.

Untuk itu sebuah Trafo baru akan dianalisis apakah trafo tersebut layak atau tidak untuk beroperasi dan siap rilis dengan beberapa pengujian yaitu : Routine Test, Special Test, dan Type Test. Dengan dilakukannya analisis pengujian pada trafo baru 5 MVA 20 kV to 6,3 kV maka akan mengetahui keadaan dan karakteristik dari trafo distribusi tersebut, kesesuaian dengan spesifikasi pengguna trafo, verifikasi perhitungan desain, kepatuhan dengan standard industri yang berlaku, apakah sudah sesuai dengan standard keandalan dan kelayakan Nasional dan Internasional seperti SPLN, IEEE, IEC, dan DLT.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Gambar 1 merupakan diagram alur dari pengujian sebuah transformator pada industri transformator yang meliputi *Routine Test* dan *Special Test*.



Gambar 1. Flowchart Metoda Pelaksanaan Pengujian Transformator

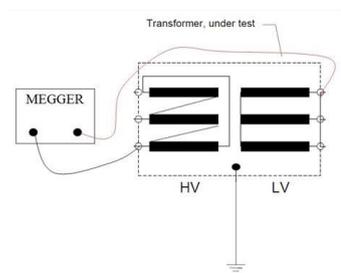
Dalam pengujian transformator distribusi baru khususnya dalam transformator 5 MVA 20 kV/6,3 kV, ada beberapa tahap yang sebaiknya dilakukan berurutan sebelum transformator di uji dengan tegangan tinggi dan beberapa tes sebelum dapat di rilis kepada konsumen.

2.1 Pengetesan Routine Test Pada Trafo

Setelah mendapatkan desain transformator maka langkah selanjutnya adalah memulai pengetesan terhadap transformator yang sesuai dengan gambar transformator. Routine test berisi beberapa test yang wajib dilakukan oleh setiap transformator yang akan rilis, berikut beberapa routine test dari transformator kapasitas 5 MVA yang penulis analisis disusun berdasarkan langkah pengetesannya :

a) Tes Tahanan Isolasi (*Insulation Resistance Test*)

Gambar 2 merupakan rangkaian pengujian pada Tahanan Isolasi menggunakan alat ukur bernama Megger MIT 520/2. Pengukuran dilakukan dengan mengukur tahanan antara kumparan sisi HV dengan kumparan sisi LV.



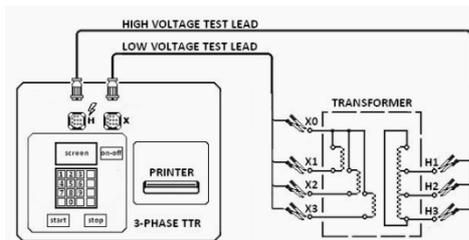
Gambar 2. Rangkaian Pengujian Tes Tahanan Isolasi

(UGMMagatrika, 2016)

Memberikan tegangan dc dan merepresentasikan kondisi isolasi dengan satuan Mega ohm. Tahanan isolasi yang diukur merupakan fungsi dari arus bocor yang menembus melewati isolasi atau melalui jalur bocor pada permukaan eksternal. Pengujian tahanan isolasi ini dapat dipengaruhi suhu, kelembaban, dan jalur bocor pada permukaan eksternal seperti kotoran pada bushing atau isolator.

b) Tes Rasio Tegangan dan Perpindahan Fasa [TTR (*Turn Test Ratio*)]

Gambar 3 merupakan rangkaian pengujian Rasio tegangan dan perpindahan fasa dimana cable H untuk mengukur rasio di sisi Primer dan cable X untuk mengukur rasio di sisi sekunder.



Gambar 3. Rangkaian Pengujian Tes Rasio Tegangan dan Perpindahan Fasa

(Csanyi, 2014)

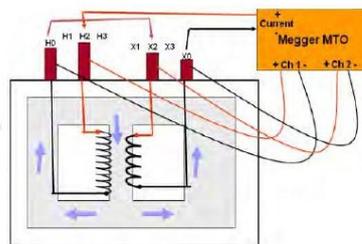
Mengukur perbandingan belitan antara sisi HV dan LV menggunakan alat megger TTR310. Dengan menghubungkan sisi positive alat dengan sisi HV dan sisi negative terhadap sisi LV dan menghubungkan sisi ground alat terhadap ground. Berikut rumus untuk mengetahui perbandingan pada test TTR :

- $1U,1V/2N,2U = \frac{V_p/\sqrt{3}}{V_s}$
- $1V,1W/2N,2V = \frac{V_p/\sqrt{3}}{V_s}$
- $1W,1U/2N,2W = \frac{V_p/\sqrt{3}}{V_s}$

Setelah hasil diketahui langkah selanjutnya adalah membandingkannya, Trafo dinyatakan lolos uji TTR jika nilai uji dan perhitungan sama dengan batas $\pm 0,5 \%$.

c) Tes Tahanan Belitan (*Winding Resistance*)

Gambar 4 dibawah merupakan rangkaian pengujian Tahanan Belitan dimana pada Ch1 untuk mengukur sisi HV dan Ch2 mengukur sisi LV. Pada setiap probe + dihubungkan dengan sisi HV dan LV, sementara probe - dihubungkan dengan ground.



Gambar 4. Rangkaian Pengujian Tahanan Belitan

(Indradjaja, 2018)

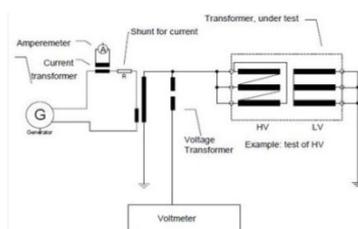
Memberi tegangan bolak – balik satu fase yang besarnya 220 V pada antar fasanya dan fasa terhadap ground. Nilai yang muncul dalam satuan ohm. Pengukuran dilakukan pada sisi HV dan LV secara bergantian. Tahanan belitan yang diukur merupakan nilai tahanan pada kumparan yang akan menimbulkan panas bila kumparan dialiri arus listrik. Setelah diuji langkah selanjutnya adalah mencari nilai max dan min dari nilai untuk batas aman, berikut perhitungannya:

- $\Sigma R = \frac{(1U,1V)+(1V,1W)+(1W,1U)}{3}$
- $\text{Max (+3\%)} = \frac{3}{100} \times \Sigma R$ $\text{Min (-3\%)} = \frac{3}{100} \times \Sigma R$

d) Tes Tegangan Terapan (*Applied – Voltage Test*)

Gambar 5 menggambarkan sebuah rangkaian pengujian Tegangan Terapan dimana dalam pengujianya diperlukan Trafo CT, PT, dan Generator.

Analisis Pengujian Trafo Distribusi Spesial Test dan Routine Test Pada Trafo 5 MVA 20 kV/6,3 kV



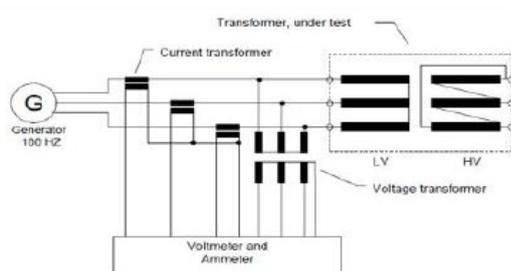
Gambar 5. Rangkaian Pengujian Tes Tengan Terapan

(UGMMagatrika, 2016)

Memberi tegangan bolak-balik satu fase yang besarnya sesuai dengan karakteristik *Lightning Impuls (LI)* trafo itu sendiri selama 60 detik. Tegangan uji yang diberikan sebisa mungkin mendekati gelombang sinus dan dari setiap frekuensi yang sesuai tidak kurang dari 80% dari frekuensi standar (50 Hz).

e) Tes Tegangan Terinduksi (*Induced – Voltage Test*)

Gambar 6 dibawah ini merupakan rangkaian pengujian Tegangan Terinduksi dimana menggunakan trafo instrument untuk membantu pengukurannya dimana PT di pasang paralel dengan trafo dan CT di pasang seri dengan trafo.



Gambar 6. Rangkaian Pengujian Tegangan Terinduksi

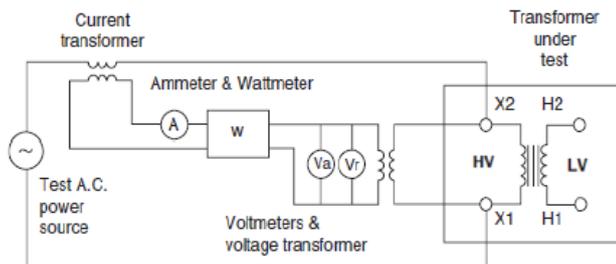
(UGMMagatrika, 2016)

Memberikan tegangan suplai dua kali tegangan nominal pada sisi LV transformator dan sisi lainnya dibiarkan terbuka (Open Circuit). Untuk mengatasi kejenuhan pada inti besi (*core*) maka frekuensi yang digunakan harus dinaikkan sesuai dengan kebutuhan, lama pengujian bergantung pada besarnya frekuensi pengujian. Untuk durasi pengujian dapat dicari menggunakan perhitungan:

- Durasi pengujian = $120 \times \frac{(Hz) \text{Trafo Test}}{(Hz) \text{Generator}}$

f) Tes Tanpa Beban dan Arus Eksitasi (*No Load Loss and Current Test*)

Gambar 7 menunjukkan sebuah rangkaian pengujian tanpa beban dan arus eksitasi. Pada rangkaian pengujian dibawah dapat dilihat jika pengujian dibantu oleh trafo CT dan PT sebagai alat bantu instrumentasinya dengan bagian LV di open circuit karena pengujian tidak menggunakan beban.



Gambar 7. Rangkaian Pengujian Tanpa Beban dan Arus Eksitasi

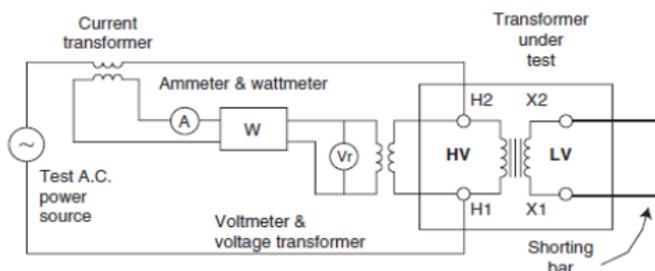
(Csanyi, 2014)

Sisi sekunder di open circuit dan sisi primer di inject tegangan nominal. Pada trafo yang kami uji menggunakan trafo bantu untuk menaikkan tegangan dari generator uji. Untuk menghitung nilai rugi – rugi tanpa beban dapat dicari menggunakan perhitungan :

- $FM = CT \times PT$
- $WM = FM \times W$ (Daya rata – rata pada alat ukur)
- $I_o \% 30^\circ = \frac{\text{Load Losses} \times 100 \%}{P}$

g) Tes Rugi-Rugi dan Impedansi-Tegangan (*Short Circuit Impedance and Load Loss*)

Gambar 8 menunjukan sebuah rangkaian pengujian rugi – rugi dan impedansi tegangan dimana pada rangkaian pengujian dibawah dapat dilihat jika pengujian dibantu oleh trafo CT dan PT sebagai alat bantu instrumentasinya dengan bagian LV di short circuit karena pengujian menggunakan beban.



Gambar 8. Rangkaian Pengujian Rugi – Rugi dan Impedansi Tegangan

(Csanyi, 2014)

Sisi LV di short circuit dan sisi HV disuplai arus nominal. Dan di catat tegangan yang muncul dan watt yang muncul. Untuk pengukurannya menggunakan trafo bantu berupa trafo CT dan trafo PT. Untuk menghitung nilai rugi – rugi berbeban dapat dicari menggunakan perhitungan:

- $FM = CT \times PT$
- $WM = FM \times W$ (Daya rata – rata pada alat ukur)

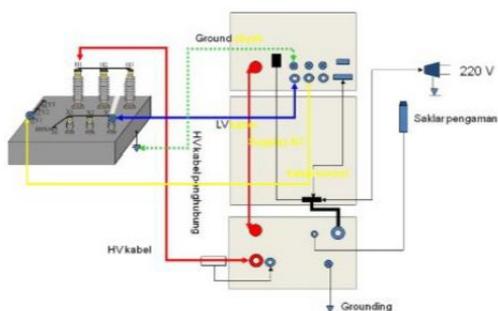
2.2 Pengetesan Spesial Test Pada Trafo

Setelah melakukan Routine Test, maka selanjutnya trafo akan dilakukan pengetesan special test. Spesial test ini dilakukan dengan kesepakatan antara customer dan perusahaan karena

tes ini adalah tes yang lebih khusus dan memerlukan biaya yang cukup besar. Spesial tes yang dilakukan pada trafo kapasitas 5 MVA yang kami analisis ini yaitu :

a) Isolasi Kapasitansi dan Faktor Disipasi ($\tan \delta$) (*Dissipation Factor $\tan \delta$ and Capacitance*)

Gambar 9 dibawah adalah sebuah rangkaian pengujian $\tan \delta$ dimana kabel merah merupakan kabel HV dan kabel biru merupakan kabel LV, serta kabel kuning dihubungkan dengan ground.



Gambar 9. Rangkaian Pengujian Isolasi Kapasitansi dan Faktor Disipasi
(Setyowibowo, 2018)

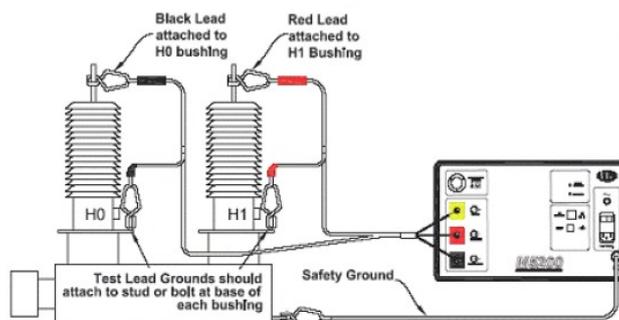
Sisi LV dan HV di hubung singkat menggunakan bare konduktor atau kabel lurus. Sambungkan kabel grounding ke peralatan. Untuk sumber alat uji menggunakan tegangan 1 fasa 220 V. Tekan menu pengukuran sesuai dengan konfigurasi pada trafo yang akan di uji (GST, UST, atau GST No Guard). Tekan HV On dan putar potensio HV sesuai dengan tegangan yang di inginkan. Setelah tegangan sesuai dengan yang di inginkan, tekan tombol measure.

b) Analisis Gas Terlarut Pada Minyak Transformator Oleh Chromatografi Gas { DGA Test (*Dissolved Gas Analysis Of Transformer Oils by Gas Chromatography*) }

Dengan mengambil sampel oli trafo untuk dilakukan tes uji lab apakah oli yang digunakan mengandung beberapa gas yang terlarut bersamaan dengan oli . Jika oli yang diuji di Lab tersebut mengandung gas yang berlebihan tadi, maka oli harus dilakukan penyaringan ulang hingga nilai gas dan zat yang terlarut sesuai dengan batasan yang ditentukan standart IEC.

c) Analisis Sweep Respon Frekuensi { SFRA Test (*Sweep Frequency Response Analysis*) }

Gambar 10 menunjukan rangkaian pengujian Sweep Respon Frekuensi atau di singkat SFRA. Pada gambar kita bisa lihat yang diuji adalah sisi H1 terhadap H0 atau ground.



Gambar 10. Rangkaian Pengujian SFRA Test

(Tirta, 2011)

Mengukur sinyal tegangan keluaran dari suatu ujung kumparan transformator yang kemudian dibandingkan dengan sinyal masukan yang diinjeksi ke ujung kumparan lainnya dengan frekuensi yang bervariasi, sehingga hasil pengukuran SFRA berupa fungsi alih dari respon frekuensi transformator tersebut.

2.3 Mengecek Visual Dimensi Dari Trafo

Pengecekan secara visual bertujuan untuk pengecekan final untuk bentuk trafo dan aksesoris trafo seperti bushing, relay buchold, tangki reservator, termometer, ISD (*Integrated Safety Device*), tangga, name plate, dan drain valve.

2.4 Pengecekan Kebocoran Oli

Pengecekan bertujuan untuk mengetahui apakah ada oli yang merembes dari body transformator atau dari sambungan – sambungan pipa dan pada sirip – sirip pendingin transformator.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1 ditunjukkan hasil dari pengujian yang telah dilakukan meliputi Routine Tes dan Spesial Tes. Pada tabel kita dapat melihat apakah trafo sudah layak untuk digunakan oleh customer atau masih harus dilakukan beberapa pengujian hingga trafo tersebut dapat dikatakan layak.

Tabel 1. Hasil Pengujian Routine Tes dan Spesial Tes

No	Pengujian	Jenis Test	Kondisi Trafo Saat Pengujian	Layak	Tidak Layak	Pembahasan
1	Tahanan Isolasi (<i>Insulation Resistance Test</i>)	Routine Test	Off Line	✓		Layak karena telah memenuhi syarat minimal yaitu 32 M Ω pada sisi LV dan 135 M Ω pada sisi HV. (Std, 2000)
2	Rasio Tegangan dan Perpindahan Fasa (<i>Turn Ratio Test</i>)	Routine Test	Off Line	✓		Layak karena telah memenuhi syarat $\pm 0,5\%$ dari hasil rata – rata pengujian dan sesuai dengan perhitungan manual. (Std, 2000)
3	Tahanan Belitan (<i>Winding Resistance</i>)	Routine Test	Off Line	✓		Layak karena telah memenuhi syarat $\pm 3\%$ dari nilai rata-rata hambatan dalam antar fasa. (Std, 2000)
4	Tegangan Terapan (<i>Applied – Voltage Test</i>)	Routine Test	On Line	✓		Layak karena arus stabil dan tidak terlihat gejala arus bocor. Pengujian dilakukan selama 1 menit sesuai standard (IEEE Std C57.12.90-1999, 1999) (Std, 2000)
5	Tegangan Terinduksi (<i>Induced – Voltage Test</i>)	Routine Test	On Line	✓		Layak karena tidak adanya gejala arus bocor ketika di inject tegangan sebesar 2 kali tegangan nominal pada sisi LV sesuai dengan standard (IEEE Std C57.12.90-1999, 1999) (Std, 2000)
6	Tanpa Beban dan Arus Eksitasi (<i>No</i>	Routine Test	On Line	✓		Layak karena nilai arus eksitasi $I_o\%$ antara pengukuran dan perhitungan

Analisis Pengujian Trafo Distribusi Spesial Test dan Routine Test Pada Trafo
5 MVA 20 kV/6,3 kV

	<i>Load Loss and Current Test</i>)					bernilai sama, nilai No Load Loss masih dalam batas toleransi $\pm 15\%$ berdasarkan standard (IEEE Std C57.12.90-1999, 1999) (Std, 2000)
7	Rugi – Rugi dan Impedansi Tegangan (<i>Short Circuit Impedance and Load Loss</i>)	Routine Test	On Line	✓		Layak karena nilai impedansi tegangan $V_z\%$ antara pengukuran dan perhitungan bernilai hampir sama, nilai Load Loss masih dalam batas toleransi $\pm 15\%$ berdasarkan standard (IEEE Std C57.12.90-1999, 1999) (Std, 2000)
8	Isolasi Kapasitansi dan Faktor Disipasi ($\tan \delta$)	Spesial Test	Off Line		✓	Tidak layak karena nilai dissipation factor pada test mode GSTg-R masih di atas 0,5 dimana sesuai standard (IEEE Std C57.12.90-1999, 1999) (Piscataway Patent No. C57.12.90-1992, 1992) (Std, 2000) trafo yang baik memiliki nilai dissipation $< 0,5$. Maka harus dilakukan pengulangan pengukuran pada trafo agar mendapatkan nilai di bawah 0,5.
9	Gas Terlarut pada Minyak Transformator (<i>Dissolved Gas Analysis</i>)	Spesial Test	Off Line	✓		Layak karena kandungan gas terlarut masih berada pada condition 1 (Aman) sesuai standard (IEEE Std C57.12.90-1999, 1999) (Piscataway Patent No. C57.12.90-1992, 1992) (Std, 2000)
10	Sweep Respon Frekuensi (<i>SFRA (Sweep Frequency Response Analysis)</i>)	Spesial Test	Off Line	✓		Layak karena nilai RLF dan RMF di atas standard dari (Republic of China Patent No. DL/T 911-2004 (DL/T911-2004), 2004)

Menurut semua pengujian yang telah dilakukan meliputi Routine Test dan Spesial Test, maka dapat di simpulkan Trafo layak dijual atau layak digunakan karena telah memenuhi standard yang ditetapkan yaitu standard IEEE C57.12.00.2000 dan DL/T.911 - 2004 dengan catatan melakukan pengujian Isolasi Kapasitansi dan Faktor Disipasi ($\tan \delta$) kembali hingga nilai sesuai dengan standard IEEE.

4. KESIMPULAN

1. Untuk suatu pengujian transformator memiliki waktu uji yang berbeda – beda sesuai dengan standard masing2 dari pengujian. Untuk pengujian tes tahanan isolasi, tes tahanan belitan, tes rasio tegangan dan perpindahan fasa, tes tegangan terapan, tes tanpa beban dan arus eksitasi, tes rugi – rugi dan impedansi tegangan memiliki waktu uji +- 1 menit atau 60 s. Sedangkan pengujian Tegangan Terinduksi durasi pengujian sesuai dengan rumus (6) yang pada pengujian ini selama 30 s.
2. Jika dibandingkan dengan standard yang telah ditetapkan oleh perusahaan yang mengacu pada IEEE C57.12.00.2000 maka pengujian telah menunjukkan hasil yang sesuai dengan nilai standard yang ada.
3. Untuk pengujian winding resistance nilai tahanan rata – rata yang didapat 0,583 Ω . Nilai batasan sesuai dengan standard IEEE yaitu +3% dari 0,583 Ω dengan nilai 0,6004 Ω dan -3% dari 0,583 Ω dengan nilai 0,5656 Ω . Dapat disimpulkan jika dilihat dari

tahanan belitan per fasa tidak ada nilai di atas atau di bawah nilai batasan, maka tahanan kawat dikatakan normal.

4. Untuk pengujian No Load Loss dan Load Loss didapatkan hasil winding loss atau rugi kumparan pada suhu 30°C dengan nilai pada sisi LV sebesar 15.593,77 W dan pada sisi HV sebesar 17.906,85 W. Sedangkan pada suhu referensi 75°C didapatkan hasil sebesar 18.241,77 W pada sisi LV dan 20.946,53 W pada sisi HV. Jika di tital maka nilai Loss atau rugi yang didapat sebesar 33.500,62 W pada suhu 30°C dan 39.188,3 W pada suhu 75°C. Dapat disimpulkan bahwa suhu sangat mempengaruhi besar kecilnya rugi – rugi yang dihasilkan oleh kumparan transformator.
5. Menurut semua pengujian yang telah dilakukan meliputi Routine tes dan Spesial tes, maka dapat di simpulkan Trafo layak dijual dengan catatan melakukan pengujian isolasi kapasitansi dan faktor disipasi ($\tan \delta$) kembali hingga nilai sesuai dengan standard IEEE.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada PT. Trafindo Prima Perkasa yang telah memberikan sample data pengujian dan izin untuk melakukan pengujian transformator.

DAFTAR RUJUKAN

- Csanyi, Edvard. (2014, Januari 17). *How to Perform a Power Transformer Turn Ratio Test*. Retrieved from <https://electrical-engineering-portal.com>
- China, P. S. (2004). *Republic of China Patent No. DL/T 911-2004 (DL/T911-2004)*.
- Harlow, James H. Mehta, Shirish P. Henning, William R. (2007). *Electric Power Transformer Engineering*, Second Edition. United States Of America : CRC Press (Taylor and Francis Group).
- IEEE, Standard Test Code for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformer ; and *Guide for Short-Circuit Testing of Distribution and Power Transformer (ANSI)*, IEEE/ANSI Std. C57.12.90-1992, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Piscataway, NJ, 1992.
- IEEE Std. C57.12.00-2000. IEEE Standard General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 2000,pp. 44 – 48.
- IEEE Std. C57.12.90-1999. IEEE Standard Test Code for Liquid – Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 1999.
- Indradjaja, Benny. (2018). *Bab 3 Metode Penelitian*. Retrieved from <https://docplayer.info/95677157-Bab-iii-metode-penelitian.html>
- Setyowibowo, Arief. (2018). *Pengujian Tangen Delta Trafo dan Bushing Kasus Khusus Tangen Delta Negatif* . Retrieved from <https://docplayer.info/72995602-Pengujian-tangen-delta-trafo-dan-bushing-kasus-khusus-tangen-delta-negatif-oleh-arief-setyowibowo.html>

Analisis Pengujian Trafo Distribusi Spesial Test dan Routine Test Pada Trafo
5 MVA 20 kV/6,3 kV

- Tirta, Jaya. (2011). Pengukuran SFRA (*Sweep Frequency Response Analyzer*) Pada Transformator Daya. Retrieved from <http://catatan-team-jaya.blogspot.com/2014/10/pengukuran-sfra-sweep-frequency.html>
- UGMmagatrika. (2016, Oktober 15). Pengujian Isolasi Trafo. Retrieved from <https://ugmmagatrika.wordpress.com>
- Winders, John J. Willis H, Lee. (2002). Power Transformers Principles and Applications. United States Of America : Marcel Dekker, Inc.

Pertanyaan :

Kondisi minyak seperti apa yang dapat dikatakan baik?

Jawaban :

Minyak yang memiliki kondisi DGA sesuai nilai standar