

Analisis Pengaruh Temperatur Terhadap Kekuatan Dielektrik Minyak Transformator

Mexsy Regatra¹, Usman A. Gani², Managam Rajagukguk³

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak^{1,2,3}

Abstrak

Penelitian ini adalah untuk mengamati tentang tegangan tembus yang terjadi pada kekuatan dielektrik minyak trafo, mengetahui kenaikan dan penurunan temperatur terhadap kekuatan dielektrik minyak trafo dan untuk mengetahui pengaruh minyak lama yang telah diseparasi dan minyak baru terhadap kekuatan dielektrik minyak trafo. Dalam penelitian kali ini menggunakan standar IEC 60156 yang digunakan oleh PT.PLN Pontianak dengan elektroda *Mushroom*. Mekanisme yang akan diteliti dari isolasi minyak tersebut hanya memvariasikan lama kerja operasi dari minyak tersebut dan perubahan suhunya yang akan mempengaruhi kekuatan dielektrik minyak transformator. Bahwa minyak baru, minyak beroperasi 10.370 jam dan minyak beroperasi 29.420 jam yang sudah diseparasi ketika kondisi suhu ruang saat pengujian minyak tranformator pada tiap-tiap jam operasi cenderung linier turun dari minyak baru sampai minyak yang beroperasi 29.420 jam, ini menandakan semakin lama minyak transformator digunakan untuk beroperasi maka akan mengurangi kualitas tegangan tembusnya. Untuk minyak baru kuat medan tembus sebesar 164,21 kV/cm, sedangkan untuk minyak beroperasi 10.370 sebesar 148,68 kV/cm dan minyak beroperasi 29.420 sebesar 90,56 kV/cm. Ketika suhu sekitar 40 °C maka kuat medan tembus pada minyak baru sebesar 109,12 kV/cm, untuk minyak beroperasi 10.370 jam yang sudah diseparasi sebesar 93,76 kV/cm, untuk minyak beroperasi 29.420 jam yang sudah diseparasi sebesar 84,84 kV/cm. Ketika minyak transformator dipanaskan dengan suhu sekitar 50 °C, kuat medan tembus minyak baru sebesar 100,52 kV/cm, untuk minyak beroperasi 10.370 jam yang sudah diseparasi sebesar 91,4 kV/cm, untuk minyak beroperasi 29.420 jam yang sudah diseparasi sebesar 82,64 kV/cm.

Kata kunci: *Minyak Transformator, Jam Operasi, NYNAS, Kuat Medan Tembus, Tegangan Tembus*

Abstract

[Title: Analysis of the effect of temperature on the dielectric strength of transformer oil] This research is to observe the breakdown stress that occurs in the dielectric strength of transformer oil, know the increase and decrease in temperature on the dielectric strength of transformer oil and to determine the effect of old oil that has been separated and new oil on the dielectric strength of transformer oil. In this study using standard IEC 60156 used by PT.PLN Pontianak with Mushroom electrodes. The mechanism to be examined from the insulating oil will only vary the operating time of the oil and the temperature changes which will affect the dielectric strength of the transformer oil. That new oil, oil operates in 10.370 hour dan oil operates 29.420 hour which has been separated when the room temperature conditions when testing transformer oil at each operating hour tend to be linear down from the new oil until oil operates in 29.420 hour, This indicates that the longer the transformer oil is used to operate it will reduce the quality of the breakdown voltage. For new oil, the penetration field strength is equal to 164,21 kV/cm, whereas for oil operates in 10.370 is equal to 148,68 kV/cm and oil operates in 29.420 is equal to 90,56 kV/cm. When temperature in 40 °C then the penetrating field strength of the new oil is equal to 109,12 kV/cm, for oil operates 10.370 hour which has been separated is equal to 93,76 kV/cm, for oil operates 29.420 hour which has been separated is equal to 84,84 kV/cm. When transformator oil heated with temperatue around 50 °C, the new oil penetration field strength of 100,52 kV/cm, for oil operates 10.370 hour which has been separated is equal to 91,4 kV/cm, for oil operates 29.420 hour which has been separated is equal to 82,64 kV/cm.

Keywords: *Transformer Oil, Hours of Operation, NYNAS, Penetrating Field Strength, Breakdown Voltage*

1. Latar Belakang

Tegangan tembus merupakan suatu indikator penting dalam menentukan baik dan buruknya kualitas suatu isolator. Ada beberapa hal yang berpengaruh terhadap penurunan nilai tegangan tembus dari kualitas isolasi minyak transformator, beberapa diantaranya merupakan kenaikan temperatur dan umur minyak transformator tersebut. Kenaikan temperatur minyak terjadi akibat transformator tersebut dipakai dalam kondisi beban yang tinggi secara terus menerus sedangkan umur minyak transformator sendiri dihitung berdasarkan lamanya minyak tersebut dipakai di dalam transformator tersebut. Dalam melakukan pengujian, pengaruh dari kenaikan temperatur dan lama kerja operasi minyak transformator perlu diteliti agar kegagalan minyak transformator pada saat sedang bekerja diketahui dengan adanya degradasi (penurunan) dari tegangan tembus minyak transformator sebagai salah satu indikator baik dan buruknya isolasi minyak suatu transformator daya.

*) Mexsy Regatra

E-mail: mexsyregatra@gmail.com

Pengujian tegangan tembus di PT. PLN persero Siantan saat ini dilakukan hanya pada kondisi ruang saja, di mana hasil tersebut dijadikan sebagai parameter dilakukannya pergantian minyak transformator secara menyeluruh.

2. Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

A. Penelitian Terkait

Penelitian tentang tegangan tembus pada minyak transformator telah dilakukan dalam beberapa tahun terakhir. Parameter atau standarisasi alat yang menjadi objek penelitian tegangan tembus minyak transformator memiliki variasi yang berbeda. Adapun beberapa penelitian sejenis yang telah ada sebelumnya yang menjadi referensi penelitian ini adalah:

1. *Analisis Pengaruh Kenaikan Temperatur Dan Umur Minyak Transformator Terhadap Degradasi Tegangan Tembus Minyak Transformator* oleh Iwa Garniwa dan Jonatahan Frit.

Penelitian oleh Iwa Garniwa dan Jonatahan Frit (2007) yang di dalamnya menyatakan bahwa objek yang akan diuji adalah minyak transformator dari suatu Transformator Daya. Minyak yang akan diuji merupakan minyak diala baru dan minyak diala lama yang sudah terpakai selama beberapa waktu yang digunakan di dalam tangki Transformator daya tersebut. Minyak transformator

tersebut akan dipanaskan sesuai dengan keadaan temperatur *hotspot* berdasarkan literatur. Pengujian ini dilakukan dengan memvariasikan temperatur sesuai dengan range dari temperatur *hotspot* yang diharapkan. Dalam hal ini dari suhu 80°C - 120°C, dengan kenaikan 20°C tiap pengujian) sampai pada temperatur maksimumnya. Temperatur ini berasal dari penelitian yang dilakukan oleh Till Sybel dan Christian Schobert dengan judul "*Transformer Monitoring according to IEC 60354*" yang diterbitkan pada tahun 2007.

2. *Analisis Mekanisme Kegagalan Isolasi Pada Minyak Trafo Menggunakan Elektroda Berpolaritas Berbeda Pada Jarum-Bidang* oleh Hanung Sayogi.

Penelitian ini menghasilkan bahwa Elektroda yang digunakan dalam pengujian terbuat dari kuningan, perunggu atau *stainless steel*. Panjang celah antara kedua elektroda adalah 2,5 mm ± 0,05 mm. Tegangan uji dinaikkan dari nol dengan laju 2,0 kV/s ± 0,2 kV/s hingga terjadi tembus. Pada elektroda jarum sebagai fasa, elektroda jarum mendapat muatan positif maka memancarkan sedikit elektron karena pengaruh bentuk tegangan sinusoidal, kemudian elektroda jarum berubah menjadi bermuatan negatif maka jarum akan mengeluarkan banyak elektron dan berulang sampai membentuk kegagalan pada minyak trafo. Jika elektroda bidang sebagai fasa maka elektroda bidang mendapat muatan positif. Seperti elektroda jarum (fasa) maka elektroda bidang (fasa) juga terpengaruh tegangan sinusoidal maka elektroda bidang berubah menjadi bermuatan negatif karena elektroda bidang memiliki kerapatan yang rendah maka elektroda bidang sulit melepaskan elektron. Faktor yang mempengaruhi selisih nilai tegangan tembus pada minyak trafo dengan polaritas yang berbeda (jarum-fasa) dan (bidang-fasa) elektron yang dibebaskan pada elektroda jarum-fasa lebih banyak dibandingkan bidang-fasa, karena elektron mudah bergerak pada elektroda yang mempunyai permukaan elektroda runcing atau tidak rata (rapat muatan tinggi).

3. *Analisis Pengaruh Keadaan Suhu Terhadap Tegangan Tembus AC Dan DC Pada Minyak Transformator* oleh Sugeng Nur Singgih dan Hamzah Berahim.

Penelitian ini melakukan Pengujian tegangan gagal bahan dilakukan dengan variasi suhu, sehingga pada percobaan ini suhu bahan yang diuji berbeda beda mulai dari suhu 50 °C hingga suhu 90 °C dengan kenaikan 20 °C. Proses pemanasan dilakukan diluar tabung penguji dengan

menggunakan alat *heater*. Suhu bahan selalu dipantau dengan menggunakan thermometer, sehingga saat pengetesan suhu bahan turun maka dilakukan proses pemanasan kembali. Tetapi apabila suhu bahan terlalu tinggi, maka bahan ditunggu beberapa saat hingga suhunya sama dengan yang ditentukan. Pengujian dengan menggunakan tegangan tinggi AC, proses terjadinya tegangan tembus terjadi secara spontan ketika bahan minyak sudah tidak dapat lagi untuk menahan tegangan yang melewatinya. Pengujian dengan menggunakan tegangan tinggi DC terjadinya tegangan tembus melalui proses lecutan yang berulang kali sampai akhirnya minyak tidak dapat lagi menahan tegangan yang melewati. Minyak transformator bekas pengujian dengan tegangan tinggi DC akan mengalami kerusakan yang lebih buruk dari pada bekas pengujian tegangan tinggi AC, peristiwa tersebut terjadi karena pada pengujian dengan menggunakan tegangan tinggi DC proses terjadinya tegangan tembus terjadi melalui beberapa kali lecutan sehingga akan menimbulkan lebih banyak karbon yang menyebabkan minyak menjadi berwarna hitam. Hal tersebut terjadi pada pengujian untuk minyak transformator baru dan bekas.

B. Teori kegagalan isolasi cair

1. Teori kegagalan elektronik

Teori ini merupakan perluasan dari teori kegagalan pada gas, artinya proses kegagalan yang terjadi dalam dielektrik cair karena adanya banjir elektron (*electron avalanche*).

Menurut Schottky arus yang timbul mempunyai kerapatan sebesar:

$$J = J_t \cdot e^{\frac{4,4\sqrt{E}}{T}} \text{ (A/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (1)$$

$$J_t = AT^2 \cdot e^{\frac{\Phi}{KT}} \dots\dots\dots (2)$$

Dengan:

$$E = M \cdot E_a$$

J = kerapatan arus konduksi

J_t = kerapatan arus termionik

E_a = kuat medan yang diterapkan

M = faktor ketidakrataan permukaan

= 10 untuk permukaan halus

2. Teori kegagalan bola cair

Jika suatu zat isolasi mengandung sebuah bola cair dari jenis cairan lain, maka dapat terjadi kegagalan akibat ketakstabilan bola cair tersebut dalam medan listrik. Medan listrik akan menyebabkan tetesan bola

cair yang tertahan di dalam minyak yang memanjang searah medan dan pada medan yang kritis tetesan ini menjadi tidak stabil.

$$E_2 = \frac{\epsilon_1 \cdot E}{\epsilon_1 - (\epsilon_1 - \epsilon_2)} \text{ dimana } G = \frac{1}{\gamma^2 - 1} \left\{ \frac{\gamma \cdot \cosh \phi^{-1} \gamma}{(\gamma^2 - 1)^{1/2}} \right\} \dots (3)$$

$$\gamma = \frac{R_2}{R_1} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana:

ε₁ = permitivitas zat cair isolasi

ε₂ = permitivitas zat cair

C. Dielektrik Cair

Kekuatan dielektrik merupakan ukuran kemampuan suatu material untuk bisa menahan tegangan tinggi tanpa berakibat terjadinya kegagalan dielektrik. Kekuatan dielektrik cair tergantung pada sifat atom dan molekul cairan itu sendiri, material dari elektroda, suhu, jenis tegangan yang diberikan, gas yang terdapat dalam cairan, dan sebagainya yang dapat merubah sifat molekul cairan.

D. Sifat Isolasi Cair

1. Sifat fisik

Dalam pemakaian minyak transformator, baik secara kontinyu ataupun terus menerus, akan mengalami kontak atau terhubung langsung dengan bahan-bahan logam seperti tembaga atau besi dari suatu belitan dan inti transformator yang dapat mengalami korosi. Kejernihan pada suatu minyak transformator sangat diperlukan dalam sifat dielektrik cair, dengan penjernihan salah satunya dilakukan uji korosi belerang untuk melihat kemungkinan adanya korosif minyak sebagai akibat adanya belerang bebas atau senyawa belerang lainnya dalam minyak yang dapat merusak sampel minyak sehingga menurunkan sisi tegangan tembusnya, beberapa faktor yang mempengaruhi sifat fisik minyak transformator adalah

- a. Kejernihan
- b. Massa jenis
- c. Viskositas kinematik
- d. Titik nyala
- e. Titik tuang
- f. Angka kenetralan

2. Sifat kimia

Minyak isolasi mineral adalah minyak isolasi yang bahan dasarnya berasal dari minyak bumi yang diproses dengan cara destilasi. Minyak isolasi hasil destilasi ini harus mengalami beberapa proses lagi agar diperoleh tahanan isolasi yang tinggi, stabilitas panas yang baik, mempunyai karakteristik panas yang stabil, dan memenuhi syarat – syarat teknis yang lain.

Minyak isolasi mineral banyak digunakan pada transformator daya, kabel, pemutus daya (CB), dan kapasitor.

- a. Senyawa hidrokarbon
- b. Senyawa non hidrokarbon

3. Sifat elektrik

Sebuah minyak dalam sebuah sistem transformator dengan pemakaian selama sistem beroperasi, dapat membuat temperatur yang berubah ubah sesuai kondisi beban kelistrikan yang terjadi sehingga dapat menyebabkan tegangan tembus yang rendah. Terkadang minyak transformator yang telah terkontaminasi dapat diseparasi disebuah separator untuk dimurnikan lalu didapat tegangan tembus yang tinggi setelahnya.

- a. Tegangan tembus
- b. Resistivitas
- c. Faktor kegagalan dielektrik
- d. Permittivitas

E. Pengaruh Temperatur Terhadap Karakteristik Minyak Transformator

Pada peralatan yang menggunakan isolasinya berupa isolasi minyak, maka panas akan dialirkan secara konveksi. Proses aliran panas secara konveksi (N) dapat dihitung dengan:

$$N = ((K^3 AC) / \eta)^n \dots\dots\dots (5)$$

Dimana:

- N = Aliran panas konveksi (W)
- K = Konduktivitas termal (W/m°C)
- A = Koefisien pemuai (1/°C)
- η = Viskositas kinematik (kg/s.m)
- C = panas per satuan volume (J/m³)
- n = konstanta (0,25~0,33)

F. Minyak Transformator

Sebagian besar dari transformator tenaga memiliki kumparan-kumparan yang intinya direndam dalam minyak transformator, terutama pada transformator-transformator tenaga yang berkapasitas besar, karena minyak transformator mempunyai sifat sebagai media pemindah panas disirkulasi dan juga berfungsi pula sebagai isolasi yang memiliki tegangan tembus tinggi sehingga berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi.

3. Metodologi Penelitian

A. Alat yang digunakan

1. Megger OTS60PB dielektrik breakdown testing

Alat Megger OTS60PB ini merupakan alat portable yang dapat digunakan melalui supply baterai 12 V maupun sumber 220 V langsung, apabila terjadi suatu pengosongan pada baterai dapat di charge ulang sehingga alat ini dapat digunakan kapan pun dan dimanapun. Alat ini digunakan untuk menguji kekuatan dielektrik minyak transformator menggunakan tegangan tembus dengan tegangan maksimal yang dapat dibangkitkan sebesar 60 kV dengan kenaikan 2 kV/s dan tingkat keakuratan sebesar ±5% saat pengujian berlangsung



Gambar 1. Megger OTS60PB dielektrik breakdown testing

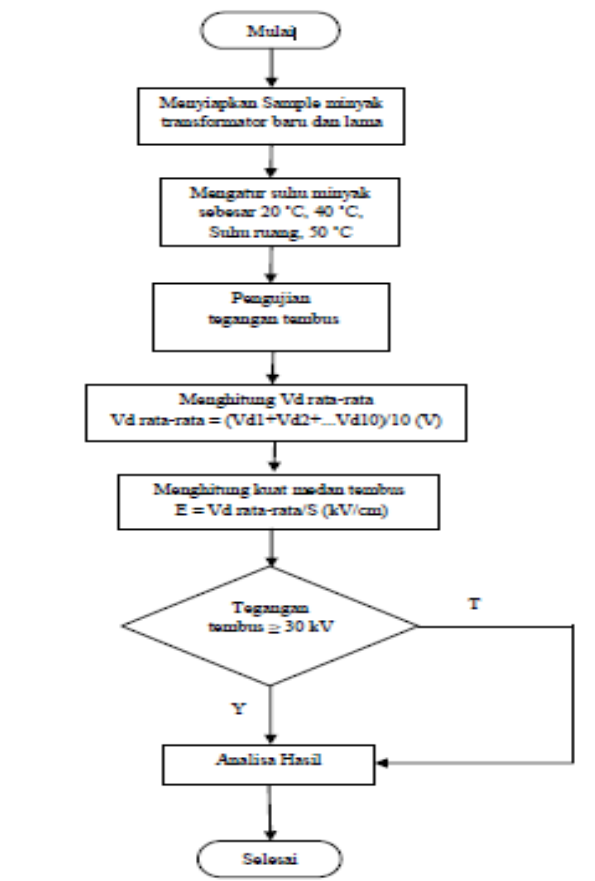
2. Separator minyak transformator

Fungsi dari separator minyak transformator ini yaitu memisahkan kandungan air pada suatu minyak transformator, apabila suatu minyak transformator memiliki kandungan air maka akan menurunkan kekuatan dielektrik minyak tersebut



Gambar 2. Separator minyak transformator

B. Diagram Alir

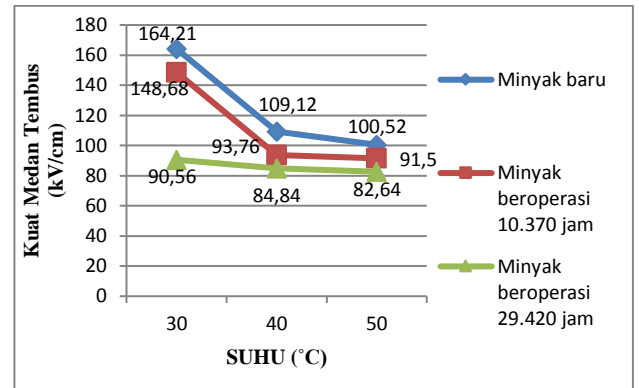


Gambar 3. Diagram alir penelitian

4. Hasil Pengujian

1. Analisa Hasil Perhitungan Kuat Medan Tembus Minyak Transformator Berdasarkan Jam Beroperasi dan Suhu

Dari hasil pengujian pada minyak baru, minyak beroperasi 10.370 jam dan minyak beroperasi 29.420 jam merk Nynas dilakukan separasi atau pemurnian terlebih dahulu agar menjadi pembanding kepada minyak transformator yang baru dalam segi kelayakan kekuatan dielektrik yang mampu mengisolasi dengan baik sebuah transformator. Karena jika minyak yang telah beroperasi 10.370 jam dan 29.420 jam tidak dilakukan separasi maka minyak tersebut tidak bisa dibandingkan kualitasnya dengan minyak baru, lalu didapat lah grafik antara pemakaian minyak terhadap suhu.



Gambar 4. Grafik hasil perbandingan antara kuat medan tembus pada minyak baru, minyak beroperasi 10.370 jam dan minyak beroperasi 29.420 jam yang sudah diseparasi dengan suhu ruang, 40 °C, 50 °C

5. Penutup

A. Kesimpulan

1. Bahwa minyak baru, minyak beroperasi 10.370 jam dan minyak beroperasi 29.420 jam yang sudah diseparasi apabila semakin tinggi suhunya maka tegangan tembus akan menurun. Ini dikarenakan viskositas atau kekentalan suatu minyak transformator yang menurun akibat suatu panas. Sehingga elektron yang menuju pada suatu elektroda positif ke negatif cenderung kecil tegangan tembusnya.
2. Bahwa ketika kondisi suhu ruang saat pengujian minyak transformator pada tiap-tiap jam operasi cenderung linier turun dari minyak baru sampai minyak yang beroperasi 29.420 jam, ini menandakan semakin lama minyak transformator digunakan untuk beroperasi maka akan mengurangi kualitas tegangan tembusnya. Untuk minyak baru kuat medan tembus sebesar 164,21 kV/cm, sedangkan untuk minyak beroperasi 10.370 sebesar 148,68 kV/cm dan minyak beroperasi 29.420 sebesar 90,56 kV/cm.

B. Saran

1. Saat pengujian dilakukan, sebaiknya dapat memperbanyak sampel minyak dengan variasi jam operasi yang lebih banyak agar didapat keakuratan dalam menganalisa.
2. Separasi dapat menjadi suatu opsi dalam peningkatan kekuatan dielektrik minyak transformator, sehingga penggantian minyak dalam jumlah besar dapat di antisipasi.

6. Daftar Pustaka

- Iwa Garniwa dan Jonatahan Frit, 2011, *Analisis Pengaruh Kenaikan Temperatur dan Umur Minyak Transformator Terhadap Degradasi Tegangan Tembus Minyak Transformator* ; Depok; Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Hanung Sayogi, 2017, *Analisis Mekanisme Kegagalan Isolasi Pada Minyak Trafo Menggunakan Elektroda Berpolaritas Berbeda Pada Jarum-Bidang*; Semarang; Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Sugeng Nur Singgih dan Hamzah Berahim, 2009, *Analisis Pengaruh Keadaan Suhu Terhadap Tegangan Tembus AC dan DC Pada Minyak Transformator*; Yogyakarta; Fakultas Teknik Universitas Gajah mada.
- Wahyu Kunto Wibowo, Ir. Yuningtyastuti, dan Abdul Sakur, S.T. M.T, 2008, *Analisis Karakteristik Breakdown Voltage Pada Dielektrik Minyak Transformator Shell Diala B Pada Suhu 30 °C - 130 °C*; Semarang; Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Rendy Kamerlisa Putra dan Fri Murdiya, 2017, *Karakteristik Tegangan Tembus Arus Bolak Balik Pada Minyak Jarak Pagar (Jatropha Curcas) Sebagai Alternatif Isolasi Cair*; Pekanbaru; Fakultas Tenik Universitas Riau.
- Samuel Panggabean, 2008, *Pengaruh Suhu Terhadap Kekuatan Dielektrik Berbagai Minyak Isolasi Transformator (Gulf, Nynas, Shell Diala B, dan Total)*; Medan; Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
- Rahmadi Romi, 2000, *Studi Pengaruh Temperatur Dan Pengotoran Terhadap Tegangan Tembus Pada Minyak Transformator*; Pontianak; Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
- Repository.umy.ac.id “BAB II Isolasi Cair Transformator”



Biografi

Mexsy Regatra, menempuh pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura sejak tahun 2015. Memperoleh gelar Sarjana (S1) Teknik Elektro pada tahun 2020 dengan konsentrasi Teknik Tegangan Tinggi.

Mengetahui,
Pembimbing Utama

Dr. H. Usman A. Gani, S.T., M.T., IPM
NIP. 197002161995011001

Pembimbing Pembantu

Managam Rajarukguk, S.T., M.T., IPM
NIP. 197211162000031001