

ANALISIS MEKANISME KEGAGALAN ISOLASI PADA MINYAK TRAFU MENGUNAKAN ELEKTRODA BERPOLARITAS BERBEDA PADA JARUM – BIDANG

HANUNG SAYOGI
L2F302486

TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG

ABSTRAK

Trafo merupakan peralatan penting dalam sistim tenaga karena itu trafo harus dijaga jangan sampai terjadi kerusakan dan untuk mencegah terjadinya kerusakan pada trafo, minyak trafo ambil peranan penting dalam hal ini, karena minyak trafo akan berhadapan langsung dengan tegangan tinggi juga dengan konduktor yang memiliki beda fasa yang permukaan konduktornya tidak homogen juga naiknya temperature minyak trafo karena arus listrik yang mengalir dalam inti trafo. permasalahan tersebut sangat menarik untuk dijadikan eksperimen. Disini akan dilakukan pengujian pada minyak trafo Shell Diala B dengan menggunakan elektroda dengan medan tidak homogen (Jarum-Bidang) dengan polaritas berbeda, temperatur 10°C, 30°C, 50°C untuk minyak baru dan bekas.

Setelah dilakukan pengujian bahwa hasil uji tegangan tinggi menyatakan, minyak trafo baru lebih tinggi tegangan tembusnya dibanding minyak bekas. Minyak trafo pada temperatur 10°C memiliki tegangan tembus lebih rendah dibanding 30°C dan lebih rendah tegangan tembus minyak dibanding dengan temperature 50°C. Pada polaritas jarum- fasa, maka tegangan tembus minyak trafo lebih kecil dari pada jarum-ground.

1.1 Latar Belakang

Minyak trafo selain sebagai isolator juga sebagai pendingin trafo selain itu sifat isolasi trafo bisa memperbaiki diri jika terjadi kegagalan isolasi, dan bahan isolasi cair memiliki ketahanan tembus jauh lebih tinggi dari pada udara atmosfer

Menurut standart IEC-156 elektroda yang digunakan dalam pengujian tegangan tembus isolasi cair elektroda bola-bola dan elektroda setengah bola. Untuk mengetahui pengaruh bentuk elektroda terhadap besarnya tegangan tembus disini digunakan bentuk elektroda permukaan runcing dan permukaan rata. Salah satu bentuk pasangan elektroda yang dapat digunakan adalah elektroda jarum bidang.

Mekanisme yang akan diteliti dari kedua jenis minyak tersebut adalah tegangan tembus (V_{BD}). Selain itu perlu diketahui pengaruh polaritas yang berbeda dari kedua elektroda, dan pengaruh temperatur, serta jarak elektroda diatas terhadap tegangan tembus dari kedua contoh minyak untuk minyak trafo *Shell Diala B* yang masih baru dengan perbandingan minyak bekas yang belum didaur ulang.

1.2 Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penyusunan tugas akhir ini adalah:

- Mengamati dan mempelajari tentang tegangan tembus yang terjadi pada isolasi cair dengan menggunakan elektroda jarum bidang
- Mengamati pengaruh temperatur terhadap tegangan tembus (breakdown) minyak transformator.

- Mempelajari karakteristik tegangan tembus (breakdown) minyak transformator dengan perbedaan jarak elektroda jarum-bidang.
- Mempelajari karakteristik tegangan tembus (breakdown) minyak transformator dengan polaritas berbeda.
- Mempelajari karakteristik tegangan tembus (breakdown) minyak transformator kondisi baru dan kondisi yang telah digunakan.
- Membuat modul praktek untuk tegangan tinggi dengan elektroda jarum-bidang

1.3 Pembatasan Masalah

Beberapa batasan yang perlu diberikan agar permasalahan yang akan dibahas menjadi terarah. Batasan tersebut adalah sebagai berikut:

- Elektroda yang digunakan: Elektroda jarum dan elektroda bidang
- Media isolasi cair yang digunakan adalah minyak transformator dengan keadaan baru dan bekas sebelum di daur ulang.
- Pada pengujian ini sela atau jarak kedua elektroda yang diujikan adalah 2,5 mm; 5 mm; 7,5 mm.
- Temperatur yang digunakan adalah 10°C, 30°C, 50 °C.
- Tegangan yang digunakan adalah tegangan AC (50 Hz)

II. KEGAGALAN ISOLASI MINYAK TRANSFORMATOR

2.1 Pendahuluan

Isolasi minyak mempunyai beberapa kelebihan yaitu;

1. Memiliki kerapatan 1000 kali atau lebih dibandingkan dengan isolasi gas sehingga memiliki kekuatan dielektrik yang lebih tinggi.
2. Isolasi cair akan mengisi celah atau ruang yang akan diisolasi dan secara serentak melalui proses konversi menghilangkan panas yang timbul akibat rugi energi.
3. Isolasi cair cenderung dapat memperbaiki diri sendiri (*self healing*) jika terjadi pelepasan muatan (*discharge*).

Tetapi isolasi minyak juga memiliki kekurangan yaitu mudah terkontaminasi.

2.2 Fungsi Minyak Transformator

Fungsi minyak transformator pada peralatan tegangan tinggi adalah:

- (a) sebagai pendingin
- (b) sebagai isolator pada peralatan tegangan tinggi

2.2.1 Minyak Transformator Sebagai Pendingin

Minyak transformator berfungsi sebagai pendingin karena minyak transformator mampu menghantarkan panas dengan baik

2.2.2 Minyak Transformator Sebagai Isolator

Minyak transformator yang baik harus bisa menjadi pemisah tegangan antara bagian-bagian yang memiliki beda fasa. Hal ini dimaksudkan agar diantara bagian-bagian yang memiliki beda fasa tidak terjadi lompatan listrik (*flash over*) ataupun percikan listrik (*spark over*)

Untuk memenuhi tujuan-tujuan tersebut minyak yang ideal harus memiliki syarat berikut^[12]:

- a. Kejernihan
- b. Masajenis
- c. Viskositas Kinematik
- d. Titik Nyala
- e. Titik Tuang
- f. Angka Kenetralan
- g. Tegangan Tembus
- h. Faktor Kebocoran Dielektrik
- i. Kandungan Air
- j. Tahanan Jenis
- k. Murah dan Mudah Didapat

2.3 Struktur Minyak Transformator

2.3.1 Sifat-sifat Fisika Isolator Minyak

Sifat-sifat fisika isolator minyak yang penting adalah sebagai berikut^[11]:

A. Kejernihan (Appearance)

Minyak tidak boleh mengandung suspensi atau endapan (*sediment*).

B. Konduktivitas Panas (Thermal Conductivity)

Konduktivitas panas adalah kemampuan isolator minyak menghantarkan panas.

C. Koefisien Muai Volum

Jika temperature naik, maka minyak akan memuai sebanding dengan kenaikan temperaturnya.

D. Massa Jenis (Specific Mass)

Massa jenis isolator minyak mineral ini lebih kecil dibanding air,

E. Kekentalan (Viscosity)

Kekentalan merupakan suatu tahanan dari cairan untuk mengalir kontinyu dan merata.

F. Titik Nyala (Flash Point)

Titik nyala suatu minyak merupakan pernyataan dimana minyak dapat dipanaskan pada kondisi tertentu sebelum uap yang dihasilkan menjadi api yang berbahaya.

G. Titik Tuang (Pour Point)

Titik tuang adalah temperatur dimana minyak baru saja mengalir ketika didinginkan dibawah kecepatan perubahan suhu.

H. Titik Api (Fire Point)

Titik api atau titik bakar dari suatu isolator minyak adalah suhu dimana minyak sudah dalam keadaan terbakar. Titik api ini dapat menunjukkan minyak itu mengandung zat yang mudah terbakar (*combustible*)

I. Kekuatan Pelarut (Solvent Power)

Kekuatan pelarut dari suatu cairan isolasi sangat penting pengaruh pada bahan-bahan dari konstruksi peralatan. Material yang seluruhnya atau sebagian terlarut oleh cairan isolasi akan mempengaruhi sifat-sifat kelistrikan.

J. Sifat Mudah Terbakar (Flammability)

Pada umumnya suatu minyak mineral yang berasal dari minyak bumi mempunyai sifat yang mudah terbakar (*flammability*) dari pembakarannya mempunyai suatu reaksi eksotermis yang tinggi dan mendorong perambatan. Jadi diharapkan isolator minyak ini tidak bersifat mudah terbakar (*non-flammable*).

2.3.3 Sifat-sifat Listrik Isolator Minyak

Sifat-sifat listrik isolator minyak adalah:

A. Tegangan Tembus

Tegangan tembus adalah tegangan ketika pada sebuah isolator itu sudah tidak mampu menghadapi stres tegangan di antara elektroda yang terpisah yang memiliki beda potensial.

Proses tembus listrik pada minyak dengan pengaruh medan listrik melibatkan banyak faktor. Salah satunya adalah perpindahan bahan padat yang basah seperti *fiber* dan bahan kontaminan lain seperti air ke daerah yang bertekanan listrik diantara kedua elektroda.

B. Faktor Rugi-Rugi Dielektrik

Rugi-rugi dielektrik diduga kuat disebabkan oleh adanya elektron bebas dalam isolasi cair. Keberadaan elektron bebas inilah yang menyebabkan adanya arus konduksi dalam minyak. Apabila arus konduksi semakin besar maka sudut rugi-rugi dielektrik makin besar.

Karakteristik $\tan \delta$ digunakan untuk mengevaluasi efisiensi dielektrik.

Pengaruh langsung dari naiknya nilai $\tan \delta$ adalah terjadinya pemanasan dielektrik. Sedangkan pengaruh tidak langsungnya adalah naiknya korosi logam, laju kerusakan dielektrik, larutan air, emulsifikasi air dan kecepatan oksidasi.

Persamaan faktor rugi-rugi dielektrik ($\tan \delta$)

$$\tan \delta = \frac{|I_r|}{|I_c|} = \frac{V_0}{R_i C \omega U_0} = \frac{1}{R_i C \omega} \quad (2.1)$$

Gambar 2.2 Elektroda untuk mengukur tegangan tembus menurut IEC 156

- (a) Elektroda bola-bola.
- (b) Elektroda setengah bola.

Pengujian tegangan tembus dilakukan dengan elektroda bola-bola seperti terlihat pada gambar 2.2 (a) dengan diameter 12,5 mm hingga 13 mm atau dengan elektroda setengah bola seperti terlihat pada gambar 2.2(b)

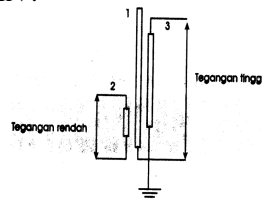
Elektroda yang digunakan dalam pengujian terbuat dari kuningan, perunggu atau stainless stell. Panjang celah antara kedua elektroda adalah $2,5 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$. Tegangan uji dinaikkan dari nol dengan laju $2,0 \text{ kV/s} \pm 0,2 \text{ kV/s}$ hingga terjadi tembus

2.8 Trafo Pembangkit Tegangan

Trafo uji yang digunakan untuk tegangan tinggi AC seperti pada gambar 2.3 di bawah ini. Dengan kapasitas daya yang dibangkitkan 100 kV.



Gambar 2.3 trafouji



Gambar 2.6 Bentuk rangkaian belitan dari transformator tenaga satu fasa

III EKSPERIMEN PENGUKURAN TEGANGAN TEMBUS PADA MEDIA ISOLASI CAIR

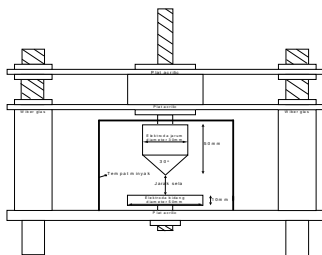
3.1 Bahan dan Peralatan Pengujian

3.1.1 Bahan Pengujian

Bahan yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

1. Minyak Transformator dengan jenis Shell Diala B kondisi baru.
2. Minyak Transformator dengan jenis Shell Diala B kondisi bekas belum di daur ulang.

3.1.2 Peralatan Pengujian

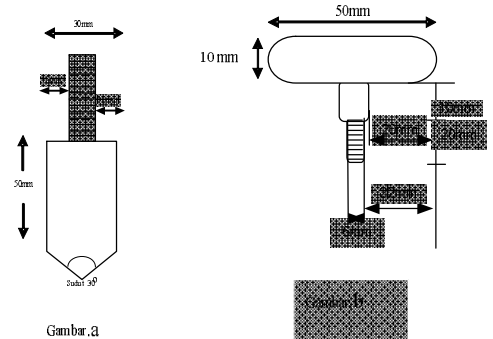


Gambar 3.1 Alat uji tegangan tembus minyak trafo shell diala B

3.2 Elektroda

Elektroda yang digunakan dalam pengukuran ini adalah elektroda jarum-bidang. Ukuran jarum antara lain: tangkai jarum dengan ukuran diameter dan panjangnya masing-masing 1 cm dan 12 cm, batang jarum dengan ukuran diameter dan panjangnya adalah 3cm dan 5cm, ujung jarum bentuk lancip seperti pensil dengan sudut lancip adalah 30° . Plat bentuk silinder dengan ukuran diameter dan tebal 5cm dan 1 cm. Jarak sela antara

elektroda yang digunakan adalah 2.5mm; 5mm; 7.5mm. Elektroda plat terbuat dari bahan tembaga yang kemudian diberi lapisan aluminium (di-crom) terlihat gambar 3.2 (a) elektroda jarum (b) elektroda bidang.



Gambar.2

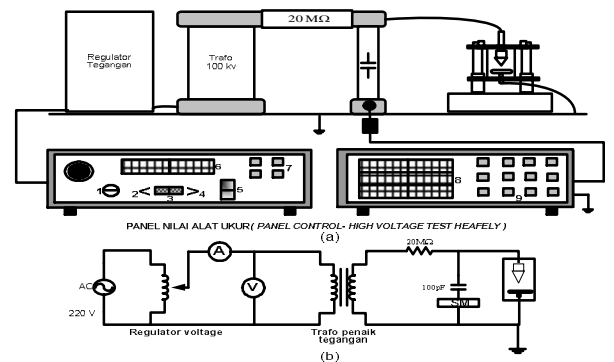
Gambar 3.2. Elektroda yang digunakan

- (a) Elektroda jarum
- (b) Elektroda bidang

3.2.1 Sistem Pengukuran

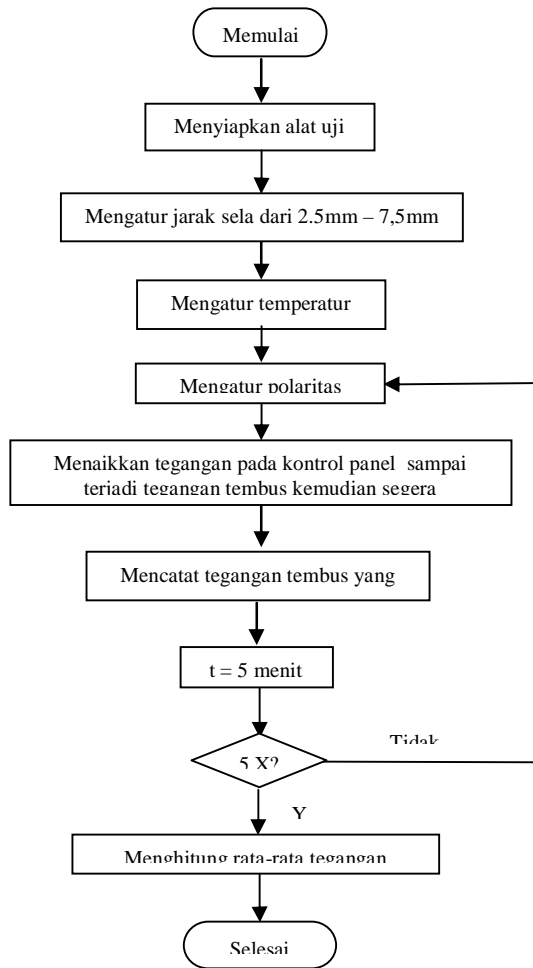
Rangkaian pembangkitan tegangan AC pada gambar 3.3 adalah rangkaian yang digunakan untuk mengetahui tegangan tembus pada pengujian media isolasi cair.

Tegangan jala-jala 220 V frekuensi 50 Hz dihubungkan ke regulator tegangan. Tegangan disini sekunder (tegangan tinggi) merupakan hasil tegangan yang telah dinaikkan dengan perbandingan sisi primer : sisi sekunder. Sehingga jika pada sisi primer trafo uji dinaikkan maka pada sisi sekunder akan mengalami peningkatan tegangan. Tegangan tembus pada minyak trafo diperoleh dengan menaikan tegangan pada regulator sampai tepat terjadi tegangan tembus.



Gambar 3.3 (a) Skema pengujian tegangan tembus (b) Rangkaian pengujian tegangan tembus

3.3 Teknik Pengambilan Data

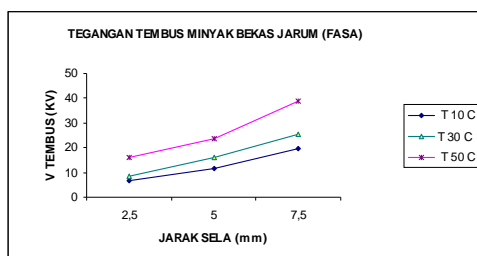


Gambar 3.5 Diagram alir proses pengujian tegangan tembus isolasi minyak baru dan bekas berbagai temperatur, jarak sela dan polaritas.

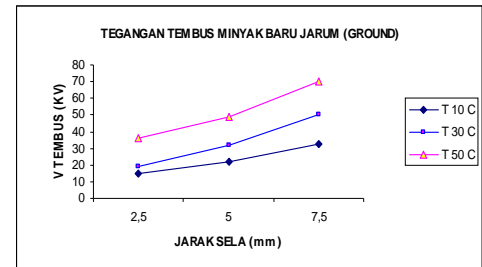
IV. HASIL PENGUKURAN DAN ANALISA

4.1 Analisa Hasil Pengukuran

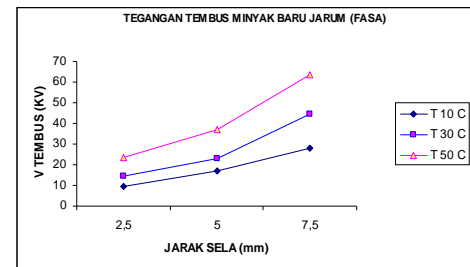
4.2.1 Media Isolasi Minyak Bekas dan Baru dengan Temperatur, Jaraksela, dan Polaritas yang Berbeda



Gambar 4.1 Grafik tegangan tembus pada isolasi minyak bekas dengan polaritas elektroda jarum sebagai fasa.



Gambar 4.2 Grafik tegangan tembus pada isolasi minyak bekas dengan polaritas elektroda jarum sebagai ground



Gambar 4.3 Grafik tegangan tembus pada isolasi minyak baru dengan polaritas elektroda jarum sebagai fasa.



Gambar 4.4 Grafik tegangan tembus pada isolasi minyak baru dengan polaritas elektroda jarum sebagai ground.

Berdasarkan gambar (4.1); (4.2); (4.3); (4.4) dapat diketahui bahwa tegangan tembus pada isolasi minyak cenderung mengalami peningkatan seiring bertambahnya jarak sela.

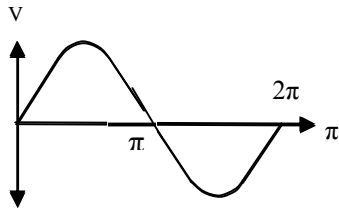
Pada ketiga kondisi temperatur terlihat bahwa kondisi temperatur 30 °C pada jarak yang sama memiliki tegangan tembus yang lebih besar daripada temperatur 10 °C dan lebih kecil daripada temperatur 50 °C.

Minyak yang tadinya dalam kondisi temperatur ruang kemudian diberi es beku pada sisi luar penampung dengan maksud mengkondisikan minyak sampai 10°C. Pada saat minyak menyesuaikan suhu es secara perlahan maka minyak juga mengalami stres penekanan dingin maka viskositas naik karena pengaruh suhu 10°C jika dikenai tegangan, pada elektron-elektron yang bebas akan mempermudah terbentuk suatu kanal, kanal ini akan mempermudah terjadi break down, faktor lain yang mempengaruhi terjadi breakdown juga adanya pembentukan gelembung udara^[5]

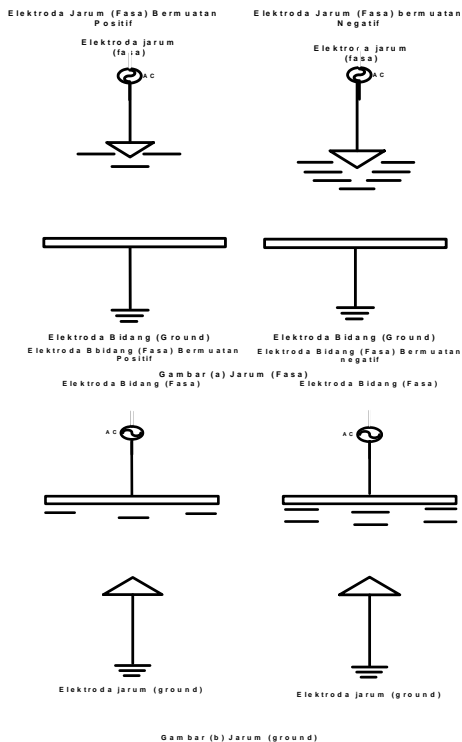
Dalam temperatur ruang (30°C) viskositas minyak standar. Tegangan tembus dipengaruhi oleh penerapan tegangan pada elektroda.

Pada temperature 50°C , minyak dipanaskan hingga temperatur lebih tinggi, karena panas bersirkulasi dengan baik maka sehingga molekul minyak selalu bergerak karena dia berusaha melepaskan panas minyak. Jika dia dikenai tegangan maka walaupun ada elektron yang telah terbebas, karena minyak bersirkulasi terus sehingga mempersulit pertumbuhan kanal elektron

Terdapat perbedaan tegangan tembus antara dua polaritas elektroda jarum-fasa dan bidang-ground atau sebaliknya elektroda jarum-ground dan bidang-fasa.



Gambar 4.5 Ilustrasi gelombang tegangan AC



Gambar 4.6 ilustrasi (a) polaritas jarum (fasa) (b) polaritas jarum (ground)

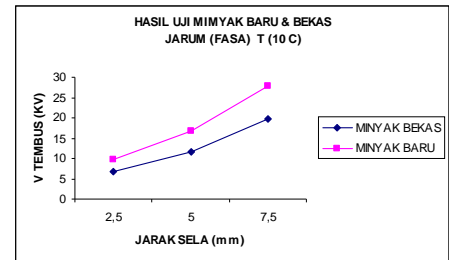
Pada elektroda jarum sebagai fasa (gambar.a). elektroda jarum mendapat muatan positif maka memancarkan sedikit elektron, karena pengaruh bentuk tegangan sinus soidal kemudian elektroda jarum berubah menjadi bermuatan negatif maka jarum akan mengeluarkan banyak elektron. Dan berulang sampai membentuk kegagalan pada minyak trafo.

Jika elektroda bidang sebagai fasa (gambar. b) maka elektroda bidang mendapat muatan positif. Seperti elektroda jarum (fasa) maka elektroda bidang (fasa) juga terpengaruh tegangan sinus soidal maka elektroda

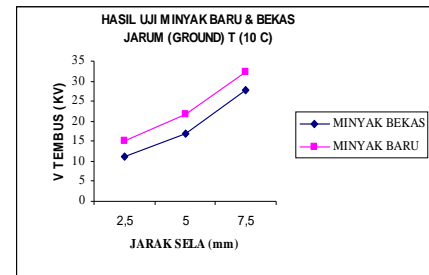
bidang berubah menjadi bermuatan negatif karena elektroda bidang memiliki kerapatan yang rendah maka elektroda bidang sulit melepaskan elektron.

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).

4.2.2. Analisa Perbandingan Tegangan Tembus Pada Media Isolasi Minyak Baru dan Minyak Bekas.

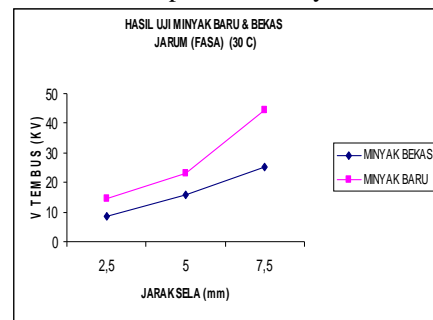


(a) Elektroda Jarum sebagai Fasa temperatur 10°C

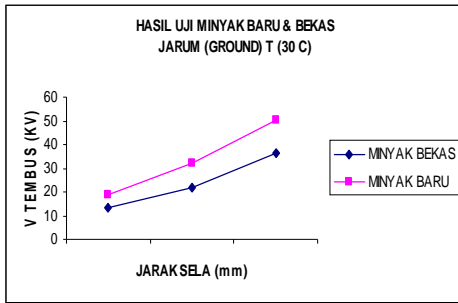


(b) Elektroda Jarum sebagai Ground temperatur 10°C

Gambar 4.7 (a) Elektroda Jarum sebagai Fasa (b) Elektroda Jarum sebagai Ground temperatur minyak 10°C

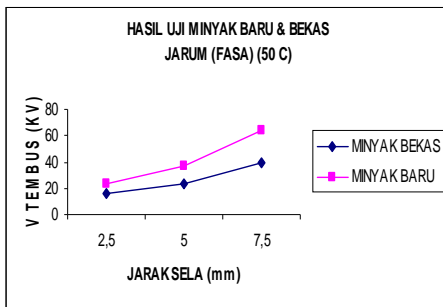


(a) Elektroda Jarum sebagai Fasa temperatur 30°C

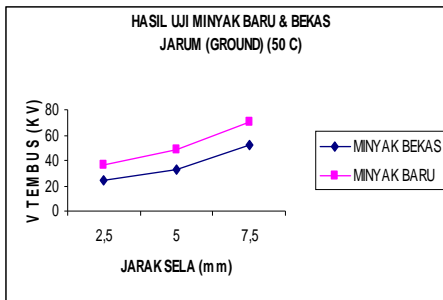


(b) Elektroda Jarum sebagai Ground Temperatur 30 °C

Gambar 4.8 (a) Elektroda Jarum sebagai Fasa,
(b) Elektroda Jarum sebagai Ground Temperatur Minyak 30 °C



(a) Elektroda Jarum sebagai Fasa Temperatur 50 °C



(b) Elektroda Jarum sebagai Ground temperatur 50 °C.

Gambar 4.9 (a) Elektroda Jarum sebagai Fasa
(b) Elektroda Jarum sebagai Ground temperatur minyak 50 °C

Dari gambar; 4.7 (a) dan (b); 4.8 (a) dan (b); 4.9 (a) dan (b) dapat diketahui bahwa Pada kondisi parameter yang sama dengan minyak bekas, tegangan tembus pada minyak baru adalah lebih besar dibanding minyak bekas, hal ini dikarenakan minyak baru memiliki kemurnian masih tinggi. Tapi pada minyak bekas banyak faktor-faktor yang mempengaruhi ketidak murnian (kontaminan) antara lain terkena bahan pelapis lilitan yang memudar, korosi logam selain itu faktor penuaan juga mempengaruhi.

Diantara kedua polaritas yang berbeda pada jarum-fasa dan jarum-ground menunjukkan hubungan tegangan tembus dengan sela seperti dalam grafik 4.7 (a) dan (b); 4.8 (a) dan (b); 4.9 (a) dan (b) maka dengan sela yang sama besar elektroda jarum (fasa) akan menurunkan

tegangan tembus. Karena jarum memiliki rapat muatan yang lebih tinggi.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan uraian pada bab diatas yang telah diperoleh maka dapatkan kesimpulan seperti dibawah ini:

1. Dalam medan tidak seragam elektroda jarum-bidang ternyata sangat berpengaruh terhadap besarnya tegangan tembus dilihat pada perbedaan polaritas, saat jarum-ground tegangan tembus lebih tinggi dari pada jarum-fasa.
2. Variasi temperatur dari 10 °C, 30 °C, 50 °C akan menjadikan tegangan tembus minyak makin meningkat seiring meningkatnya temperatur,
3. Perubahan jarak yang bertambah antara elektroda mengakibatkan kenaikan nilai tegangan tembus dari sample minyak *Shell Diala B* baik yang baru atau bekas
4. Dari data percobaan yang ada, polaritas yang berbeda pada elektroda tidak seragam akan mempengaruhi kuat dielektrik minyak trafo.
elektroda jarum yang dikenai arus fasa akan memudahkan tegangan tembus pada minyak trafo karena memiliki kerapatan lebih kecil
5. Terlihat dari data minyak trafo baru dan bekas dengan parameter yang sama maka tegangan gagal minyak baru lebih besar dibanding minyak bekas karena minyak bekas mengalami ketidak murnian sewaktu dalam pemakaian.

5.2 Saran

Penelitian pada minyak *shell diala B* dilakukan pengamatan nilai tegangan tembus terhadap perubahan temperature, jarak sela dan polaritas pengaruhnya pada tegangan tembus minyak. Berkaitan dengan hasil penelitian maka perlu diadakan penelitian lebih lanjut mengenai karakteristik minyak baik karakteristik fisik maupun karakteristik kimia, perlunya peralatan pendukung dari laboratorium untuk pengujian yang selama pengambilan data dilakukan dengan peralatan manual.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Aris Munandar “Teknik Tegangan Tinggi Suplemen” Ghalia Indonesia.
- [2] Ahmad Fali Oklilas, Suwarno “Pola Partial Discharge Pada minyak *shell Diala B*” Departemen Teknik ITB. Seminar Nasional Teknik Elektro 2003
- [3] Ahmad Fali Oklilas, Suwarno “Studi Karakteristik dan Kimia Minyak Trafo Shell Diala B Dengan Berbagai Tingkat Warna” Departemen Elektro Teknik ITB. Seminar Teknik Tenaga Elektrik 2003
- [4] Dedy,KS, studi Pengaruh Temperature Terhadap Karakteristik Dielektrik Minyak Transformator Shell diala B, ITB, Bandung, 2004.
- [5] Ichwan Suhariadi “Studi Pengaruh Temperatur Terhadap Karakteristik Minyak Sawit Sebagai Alternatif Minyak Transformator, ITB, Bandung, 2002
- [6] Julil Amri, ST., A. Fali Oklilas, ST “ Kekuatan Dan Rugi-Rugi Minyak Transformator Yang Dipengaruhi Oleh Kontaminasi Air Dan kenaikan Temperature,

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas
Sriwijaya Palembang Indonesia. Seminar Nasional
Teknik Elektro 2003

- [7] Kind,D., Parameter Teknik Eksperimental
Tegangan Tinggi, ITB, Bandung, 1993
- [8] Kind,D., dan Karner Herman. “High Voltage
Insulation Technology” terjemahan bahasa Jerman
oleh Narayana Rao, Madras, 1985
- [9] Naidu,M.S., Kamaraju,V., High Voltage
Engineering, Tata Mcgraw-hill Publishing
Compani Limited, New Delhi,1982
- [10] PT PLN, http://www.pln-jp.co.id/unit_upbdg.php ,
- [11] SPLN Minyak Isolasi Bagian 1 Pedoman
Penerapan Spesifikasi dan Pemeliharaan Minyak
Isolasi; 49-1982
- [12] Tajudin “Analisis Kegagalan Minyak
Transformator” Elektro Indonesia, Edisi 12 Maret
1998
- [13] Tajudin. “Partial Discharge dan Kegagalan Bahan
Isolasi”, Electro Indonesia, Edisi, 13 januari 1998

Menyetujui:
Dosen pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

Abdul Syukur, S.T, M.T.
NIP 132 231 132

M. Facta., S.T.MT
NIP 132 231 134



HANUNG SAYOGI
L2F302486
Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro,
Fakultas Teknik,
Unifersitas Diponegoro Semarang
dengan Pilihan Konsentrasi Tenaga
Listrik