

**ANALISIS KARAKTERISTIK TEGANGAN TEMBUS MINYAK TRAFU
SEBELUM DAN SESUDAH DI PURIFIKASI DENGAN FENOL**

David supriyanto¹, Abdul Syakur ST, MT², Ir. Agung Nugroho³

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Semarang, Indonesia

David_yoi85@yahoo.com

ABSTRAK

Isolasi memiliki peranan yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik. Isolasi sangat diperlukan untuk memisahkan dua atau lebih penghantar listrik yang bertegangan sehingga antara penghantar- penghantar tersebut tidak terjadi lompatan listrik atau percikan, contoh bahan isolasi adalah minyak transformator yang di gunakan sebagai penyekat juga berfungsi sebagai pendingin. Pada saat minyak transformator ini digunakan kekuatan isolasi minyak akan menurun di sebabkan oleh beberapa hal antara lain terpaan listrik yang terus-menerus adanya ketidakmurnian partikel padat, gelembung gas dan gelembung bola cair.

Untuk mengembalikan kualitas isolasi maka dilakukan perbaikan kekuatan isolasi minyak dengan purifikasi salah satu usaha yang di lakukan yaitu dengan mencampurkan minyak yang terkontaminasi dengan fenol.

Tugas akhir ini menganalisa tegangan tembus minyak sebelum dan sesudah purifikasi dengan fenol. Pengujian dilakukan dengan menggunakan tegangan AC frekuensi 50 Hz dengan elektroda setengah bola-setengah bola, bola-bola, setengah bola-bidang.

Berdasarkan hasil pengujian di dapatkan tegangan tembus minyak sebelum di purifikasi sebesar 6,979 kV dan tegangan tembus minyak sesudah di purifikasi fenol sebesar 29.400 kV.

Kata kunci : minyak transformer, tegangan tembus, fenol

I. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Isolasi mempunyai peranan penting pada sistem tenaga listrik untuk memisahkan dua atau lebih penghantar listrik yang bertegangan sehingga diantara penghantar-penghantar tersebut tidak terjadi lompatan atau percikan api. Pada umumnya, kegagalan alat-alat listrik pada waktu sedang dipakai disebabkan karena kegagalan isolasi dalam menjalankan fungsinya sebagai isolator tegangan tinggi.

Isolasi cair dalam hal ini adalah isolasi minyak merupakan hal yang sangat penting dalam peralatan sistem tenaga khususnya transformator, *circuit breaker* dan kapasitor karena berpengaruh pada kinerja peralatan tersebut. Isolasi minyak mempunyai kerapatan lebih tinggi daripada isolasi gas, dan dapat mengisi celah atau ruang yang akan diisolasi secara serentak. Akan tetapi minyak juga mudah terkontaminasi. Hal ini dikarenakan pada minyak transformator bekas cenderung terdapat partikel-partikel dan uap air yang menyebabkan ketidakmurnian dalam minyak

Karena mudahnya isolasi cair terkontaminasi sehingga menyebabkan jumlah isolasi cair yang tidak lagi di pakai bertambah banyak karena kekuatan dielektriknya menurun, semakin banyak isolasi cair yang tidak layak pakai yang akan menjadi sampah bahkan akan menjadi limbah yang akan menyebabkan pencemaran lingkungan dan juga isolasi berasal dari minyak bumi yang sewaktu-waktu akan berkurang jumlahnya sedangkan minyak bumi merupakan sumber daya alam yang tidak dapat di perbaharui.

Penulis mencoba untuk mengembalikan lagi kekuatan dielektrik isolasi cair yang tidak di pakai lagi dengan cara di purifikasi menggunakan fenol. dengan mencoba melakukan pengukuran tegangan tembus minyak trafo bekas sebelum dan sesudah di purifikasi fenol menggunakan sepasang elektroda setengah bola, bola-bola dan elektroda setengah bola-bidang plat.

Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari penyusunan tugas akhir ini yaitu

- Untuk mengetahui Perbandingan tegangan tembus minyak trafo sebelum dan sesudah di purifikasi.
- Perbandingan tegangan tembus isolasi cair dengan menggunakan elektroda setengah bola – setengah bola, elektroda bola-bola dan elektroda setengah bola bidang plat dengan menerapkan tegangan AC.
- Pengaruh konsentrasi fenol yang di gunakan sebagai purifikasi terhadap pengujian tegangan tembus.
- Pengaruh jarak sela antara elektroda terhadap tegangan tembus isolasi cair .
- Fenomena yang terjadi saat pengujian tegangan tembus isolasi cair.
- Pengaruh Tegangan Tembus pada elektroda medan seragam dan medan tak seragam.

1.3 Pembatasan Masalah

Pembahasan tugas akhir ini terbatas pada hal-hal sebagai berikut.

- Sampel uji yang digunakan adalah minyak trafo bekas yang sudah dan pernah di pakai.
- Pengujian menggunakan elektroda medan seragam yaitu elektroda setengah bola-setengah bola dan elektroda medan tak seragam yaitu setengah bola-bidang plat.
- Elektroda setengah bola yang digunakan berdasarkan Standar IEC 156 diameter 50 mm.
- Elektroda bola digunakan mempunyai diameter 25 mm.
- Elektroda bidang plat yang di gunakan mempunyai diameter 45 mm
- Jarak sela antara elektroda yang digunakan mulai 2 mm sampai 3 mm dengan interval 0.5 mm.
- Tegangan yang diterapkan untuk pengujian adalah tegangan AC (bolak-balik) frekuensi 50 Hertz.
- Konsentrasi fenol yang di gunakan 20 ml sampai 30 ml dengan interval 0,5 ml
- Tidak membahas pengaruh-pengaruh luar dalam pengujian seperti suhu, kelembaban, tekanan dan

standarisasi dari purifikasi (Persentasi fenol yang di campur kedalam minyak trafo bekas)

- Analisis dibatasi terhadap hasil pengujian tegangan tembus minyak trafo sebelum dan sesudah di purifikasi, terhadap jarak sela, konsentrasi fenol, jenis elektroda.

II DASAR TEORI

2.1 Pembangkitan Tegangan Tinggi AC

Untuk pengujian tegangan tembus digunakan tegangan tinggi AC untuk membangkitkan tegangan tinggi arus bolak-balik. Trafo uji yang digunakan adalah trafo satu fasa, hal ini disebabkan pengujian biasanya dilakukan untuk setiap fasa.

2.2 Kekuatan Dielektrik

Suatu dielektrik tidak mempunyai elektron-elektron bebas, melainkan elektron-elektron yang terikat pada inti atom unsur yang membentuk dielektrik tersebut. Suatu misal suatu dielektrik ditempatkan diantara dua elektroda piring sejajar. Bila elektroda diberi tegangan searah V, maka akan timbul medan listrik (E) di dalam dielektrik. Medan listrik ini akan memberi gaya kepada elektron-elektron agar terlepas dari ikatannya dan menjadi elektron bebas. Maka dapat dikatakan bahwa medan listrik merupakan suatu beban yang menekan dielektrik agar berubah sifat menjadi konduktor.

Beban yang dipikul dielektrik disebut juga terpaan medan listrik yang satuannya dinyatakan dalam Volt/cm. Setiap dielektrik mempunyai batas kekuatan untuk memikul terpaan listrik. Jika terpaan listrik yang dipikulnya melebihi batas tersebut dan terpaan berlangsung lama, maka dielektrik akan menghantar arus atau gagal melaksanakan fungsinya sebagai isolator. Dalam hal ini dielektrik mengalami tembus listrik atau "breakdown".

2.3 Isolasi Cair

2.3.1 Teori Kegagalan Isolasi Cair

Pada dasarnya tegangan pada isolasi merupakan suatu tarikan atau tekanan yang harus dilawan oleh gaya yang terdapat pada isolasi. Perlawanan ini diharapkan mampu mencegah terjadinya kegagalan

Teori kegagalan isolasi yang terjadi pada minyak transformator dibagi menjadi empat jenis sebagai berikut :

- Teori kegagalan zat murni atau elektronik
Jika diantara elektroda diterapkan suatu kuat medan yang sangat kuat, sedangkan pada elektroda tersebut terdapat permukaan yang tidak rata, maka kuat medan yang terbesar terdapat pada bagian yang tidak rata tersebut. Kuat medan maksimum tersebut akan mengeluarkan elektron yang akan memulai terbentuknya banjiran elektron dalam teori kegagalan elektronik dianggap bahwa elektron elektron tertentu akan memperoleh energi dari medan yang lebih besar dari pada energi yang hilang karena benturan dengan molekul-molekul. Perolehan ini digunakan untuk mengionisasikan molekul karena benturan dan mengawali banjiran.
- Teori kegagalan gelembung gas
Yaitu ketakmurnian (misalnya gelembung udara) mempunyai tegangan gagal yang lebih rendah dari zat cair, disini adanya gelembung udara dalam cairan merupakan awal dari pencetus kegagalan total dari pada zat cair. Kegagalan gelembung merupakan bentuk

kegagalan isolasi cair yang disebabkan oleh gelembung-gelembung gas didalamnya.

- Teori kegagalan uap air
Air dan uap air terdapat pada minyak, terutama pada minyak yang telah lama digunakan. Jika terdapat medan listrik, maka molekul uap air yang terlarut memisah dari minyak dan terpolarisasi membentuk suatu dipole. Jika jumlah molekul molekul uap air ini banyak, maka akan tersusun semacam jembatan yang menghubungkan kedua elektroda, sehingga terbentuk suatu kanal peluahan. Kanal ini akan merambat dan memanjang sampai menghasilkan tembusan listrik.
- Teori kegagalan partikel padat
Partikel debu atau serat selulosa yang ada disekeliling isolasi padat (kertas) seringkali ikut tercampur dengan minyak. Selain itu partikel padat ini pun dapat terbentuk ketika terjadi pemanasan dan tegangan lebih. Pada saat terjadi medan listrik, partikel – partikel ini akan terpolarisasi dan membentuk jembatan. Arus akan mengalir melalui jembatan dan menghasilkan pemanasan local serta menyebabkan terjadinya kegagalan.

2.4 Kekuatan Kegagalan

Dari semua teori yang membahas tentang kegagalan zat cair tidak memperhitungkan hubungan antar panjang ruang celah (sela) dengan kekuatan kegagalan maksimum yang dicapai. Namun dari semua teori diatas dapat ditarik suatu persamaan baru yang berisi komponen panjang ruang celah dan komponen kekuatan peristiwa kegagalan pada benda cair, yaitu :

$$V_b = Ad^n \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

V_b = tegangan gagal / breakdown (kV)

d = panjang ruang celah (mm)

A = konstanta

n = konstanta yang nilainya <1

2.5 Isolasi Minyak Trafo

Minyak isolasi yang bukan sintesis adalah merupakan minyak mentah yang berasal dari dalam bumi. Isolasi minyak merupakan produk dari dalam bumi melalui pengolahan kilang minyak. Isolator yang berasal dari minyak bumi di olah khusus mempunyai sifat-sifat sebagai pendingin (pemakaian pada transformator). Isolator minyak mineral mudah di dapat dan harganya murah di bandingkan dengan isolator minyak lainnya seperti hidrokarbon sintesis, ester, hidrokarbon aromatik, khlorinat, dan sebagainya. Dalam proses pembuatannya menggunakan reaksi kimia yang sangat mahal dan rumit, juga tidak mudah didapat unsure-unsur kimia penyusunnya. Kelebihan dari isolator minyak sintesis (bukan berasal dari minyak bumi) ini adalah isolasi jenis ini sederhana dalam pengoperasian peralatan.

2.6 Cara Mendapatkan Bahan Isolasi Minyak.

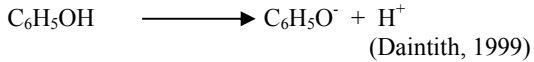
Untuk mendapatkan bahan isolasi minyak yang berasal dari bumi (minyak mentah) dilakukan penyulingan terhadap minyak tersebut hasil dari proses penyulingan

tersebut dipilih suatu tipe khusus dari minyak dan untuk menghasilkan suatu daerah hasil. Daerah hasil yang disebut fraksi tersebut dijadikan sebagai fraksi tunggal dalam proses selanjutnya yang dapat dilakukan dengan 4 cara :

1. Penyulingan Asam (Acid Refening)
2. Ekstraksi Pelarut (Solvent extraction)
3. Hidrogenisasi
4. Proses kombinasi.

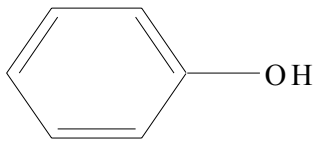
2.7 Fenol

Fenol adalah suatu senyawa organik yang mengandung gugus hidroksil (-OH) yang terikat langsung pada atom karbon dalam cincin benzena. Tidak seperti alkohol biasa, fenol bersifat asam sebab ada pengaruh cincin aromatik. Jadi fenol sendiri (C₆H₅OH) mampu mengion dalam air.



Gugus OH pada fenol merupakan gugus pergi yang baik, tetapi radikal yang terjadi mempunyai kereaktifan rendah sehingga mampu bertindak sebagai penghambat terjadinya reaksi oksidasi. Gugus OH pada cincin aromatik merupakan antioksidan yang efektif, produk radikal bebas senyawa ini terstabilkan secara resonansi dan tidak reaktif.

Senyawaan fenol dibuat melalui peleburan garam asam sulfonat dengan natrium hidroksida untuk membentuk garam natrium dari fenol, lalu fenol dibebaskan dengan menambahkan asam sulfat.



Gambar 2.5 struktur fenol

- Sifat fisik :
- Titik didih : 131,75 °C
 - Kelarutan dalam air 25°C
 - Berat molekul : 94,11 g/mol
 - Kerapatan : 1,0576

- Sifat Kimia :
- Polar
 - Larut dalam air
 - Bersifat asam

(Fessenden, 1992)

Sifat listrik :

Fenol merupakan asam lemah yang dapat memberi proton (ion H⁺) kepada zat lain (yang disebut basa), atau dapat menerima pasangan elektron bebas dari suatu basa. Suatu asam bereaksi dengan suatu basa dalam reaksi penetralan untuk membentuk garam

Fenol selain digunakan dalam proses industri, juga banyak digunakan dalam kegiatan manusia untuk pestisida, desinfektan, obat-obatan, ekstraksi turunan oli dll.

2.8 Standarisasi Pengujian Isolasi cair

2.8.1 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian yang harus diperhatikan sebelum melakukan pengujian tegangan tembus isolasi cair menurut IEC 156 antara lain^[20] :

a. Persiapan Sampling

Sesegera mungkin sebelum mengisi kotak uji, sampling harus dikocok berulang kali secara lembut untuk memastikan adanya homogenisasi kontaminan cairan tanpa menimbulkan gelembung udara pada cairan.

Udara dari suhu ruang yang tidak diperlukan sedapat mungkin dihindarkan.

b. Pengisian Kotak Uji

Sebelum melaksanakan pengujian, bersihkan kotak uji, dinding-dindingnya, elektroda dan komponen lainnya. Kemudian tuang kedalam kotak uji secara perlahan dan hindari terjadinya gelembung-gelembung udara.

c. Pemberian Tegangan

Berikan tegangan pada elektroda dengan kenaikan yang seragam (konstan) dimulai dari 0 V sampai sekitar 2,0 kV/dt ± 0.2 kV/dt sampai timbul tegangan tembus.

d. Pencatatan data

Lakukan 6 kali percobaan tembus pada kotak uji yang sama dengan jeda sekurang-kurangnya 2 menit dari setiap pengujian baru kemudian diulang kembali. Pastikan tidak muncul gelembung udara diantara jarak sela. Kecuali jika menggunakan pengaduk maka percobaan dapat dilakukan secara terus-menerus.

e. Laporan

Data yang dimasukkan dalam laporan adalah hasil dari nilai rata-rata dari 6 kali percobaan yang sudah dilakukan.

2.8.2 Tegangan Tembus Isolasi Cair

Menurut standarisasi SPLN 49-1 tegangan tembus yang harus dipenuhi untuk spesifikasi minyak isolasi baru adalah ≥30 kV/2.5 mm^[21].

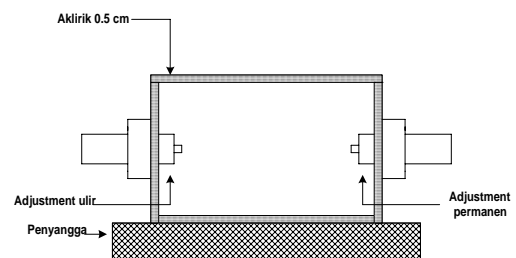
11. METODOLOGI PENGUJIAN

3.1 Peralatan Dan Bahan

Peralatan yang digunakan meliputi kit pembangkit tegangan tinggi ac, elektroda uji, kotak uji, minyak trafo bekasi, thermometer..

3.2 Kotak Uji

Kotak uji adalah sebagai sebuah sistem yang berkaitan dengan kerja tertentu dalam ruang dan keseluruhan ruang yang ditutupi oleh lapisan permukaan sebagai pembatas sistem. Kotak uji terbuat dari bahan plastik *acrylic* dengan ketebalan 0.5 cm.



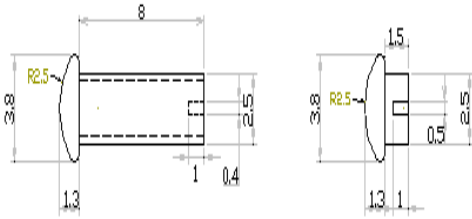
Gambar 3.1 Kotak Uji Horisontal

3.3 Elektroda

Elektroda dibuat dari aluminium. Elektroda adalah elektroda setengah bola dan elektroda bidang.

3.3.1 Elektroda Setengah Bola

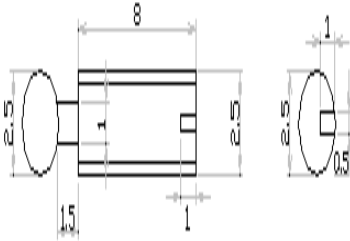
Elektroda setengah bola yang digunakan untuk setengah bola dengan diameter 50 mm yang sesuai dengan standar IEC 156



Gambar 3.2 Elektroda Setengah Bola

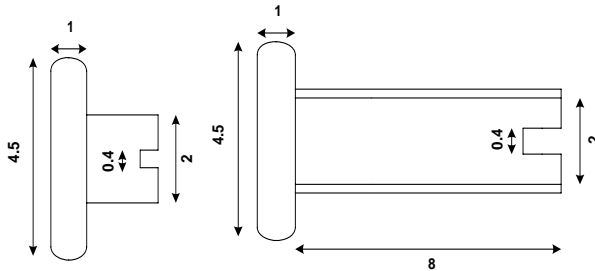
3.3.2 Elektroda Bola

Elektroda bola yang di gunakan untuk pengukuran mempunyai dia meter 25 mm



3.3.3 Elektroda Bidang

Elektroda bidang yang digunakan untuk pengukuran tegangan tembus minyak kelapa murni mempunyai diameter 45 mm. Elektroda bidang digunakan sebagai contoh penggunaan medan seragam dan selain itu, juga digunakan untuk menganalisis pengaruh jarak sela, posisi elektroda terhadap tegangan tembus minyak kelapa murni.



Gambar 3.3 Elektroda Bidang

3.4 Urutan Pengujian

Urutan pengujian isolasi cair berdasarkan IEC 156 adalah sebagai berikut

- Sampel minyak trafo bekas diuji terlebih dahulu untuk mengetahui tegangan tembusnya.
- Kemudian minyak trafo bekas di purifikasi dengan phenol dengan konsentrasi 20 ml, 25 ml, 30 ml di aduk dan di filter menggunakan kain kasa.
- Sebelum minyak dituang, kotak uji harus dalam keadaan bersih dan kering.
- Pada saat menuang minyak ke dalam kotak uji harus hati-hati agar tidak menimbulkan gelembung gas dalam minyak.
- Banyaknya minyak harus sedemikian rupa sehingga tingginya di atas puncak elektroda lebih dari 20 mm.

- Kemudian minyak dibiarkan kira-kira 10 menit untuk menghilangkan gelembung gas yang masih mungkin terjadi saat pengisian minyak ke dalam kotak uji.
- Selanjutnya tegangan dinaikkan secara bertahap 2 kV/detik sampai terjadi tembus listrik
- Setelah terjadi tembus listrik minyak diaduk dengan suatu tangkai tipis dan bersih untuk menghilangkan gelembung gas yang timbul saat terjadi tembus listrik.
- Setelah terjadi tembus listrik elektroda juga harus di periksa untuk meyakinkan bahwa elektroda tidak mengalami kerusakan pada permukaannya yang diakibatkan saat terjadi tembus listrik.
- Selang dua menit pengujian di ulang kembali sampai dengan enam kali pengujian.
- Tegangan tembus dari keenam pengujian dijumlahkan untuk mendapatkan tegangan rata-rata.

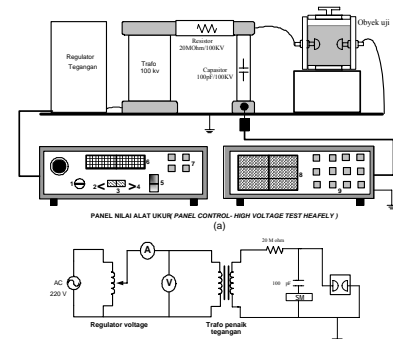
3.5 Variasi Pengujian

Variasi pengujian dalam percobaan diperlukan untuk mendapatkan nilai kekuatan dielektrik minyak trafo bekas sebelum dan sesudah di purifikasi dengan phenol. Variasi pengujian meliputi elektroda medan seragam yaitu elektroda setengah bola-setengah bola, elektroda bola - bola dan elektroda medan seragam yaitu elektroda setengah bola dan bidang plat dan konsentrasi phenol yaitu 20 ml, 25 ml, 30 ml.

3.5.1 Pengesetan Peralatan

Sebelum pengujian peralatan perlu diperiksa untuk memastikan rangkaian terpasang dengan benar.

- Mempersiapkan alat dan bahan.
- Pastikan sistem dalam keadaan Off.
- Masuk ke sangkar Faraday dengan membawa *stick grounding* yang terdapat disisi pintu masuk untuk membuang tegangan sisa.
- Membuat rangkaian percobaan sebagai berikut :



Gambar 3.4 Rangkaian Pengujian

(a) bagan peralatan uji
(b) rangkaian pengujian

- Memastikan rangkaian telah tersusun dan terhubung dengan baik dan benar untuk menghindari kesalahan dalam pengujian.
- Mengatur jarak sela antar elektroda dan menuangkan sampel minyak yang akan diuji.
- Mengaktifkan trafo uji dari panel kontrol dengan menggunakan kunci khusus sebagai saklar penghubung atau pemutus aliran dan menekan tombol switch on.

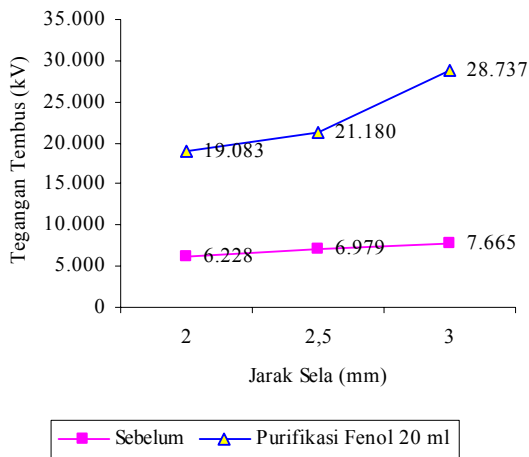
7. Menekan tombol ready agar tegangan dapat menuju ke alat uji, kemudian tegangan dinaikkan dengan tombol penaik tegangan pada panel kontrol (Panel Control Operating Terminal OT 276) sampai terjadi tegangan tembus.
8. Menurunkan tegangan dengan tombol penurun tegangan pada panel kontrol (Panel Control Operating Terminal OT 276).
9. Mencatat nilai tegangan tembus yang muncul pada panel kontrol (Digital Measuring Instrumen DMI/551)
10. Pengujian dilakukan sebanyak 6 kali.

IV. DATA DAN ANALISIS

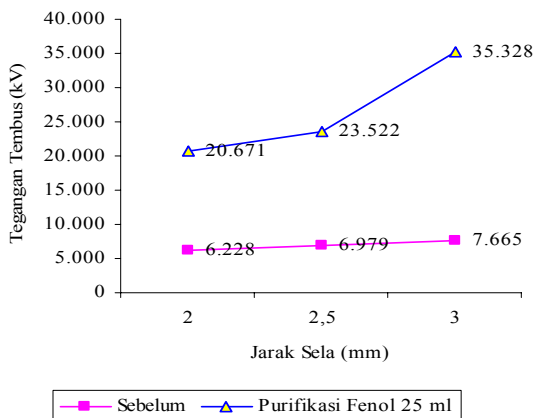
Proses pengambilan data dilakukan di laboratorium tegangan tinggi dengan beberapa macam variasi pengujian untuk mengetahui karakteristik tegangan tembus pada masing-masing variasi pengujian.

4.1 Analisis

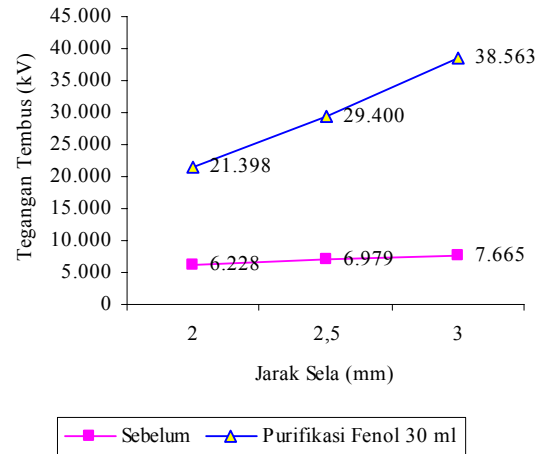
4.1.1 Analisis Karakteristik Tegangan Tembus Minyak Trafo Pengaruh Jarak Sela Sebelum dan Sesudah di Purifikasi Dengan Fenol Untuk Elektroda Setengah Bola-Setengah Bola, Bola-Bola, Setengah Bola-Bidang.



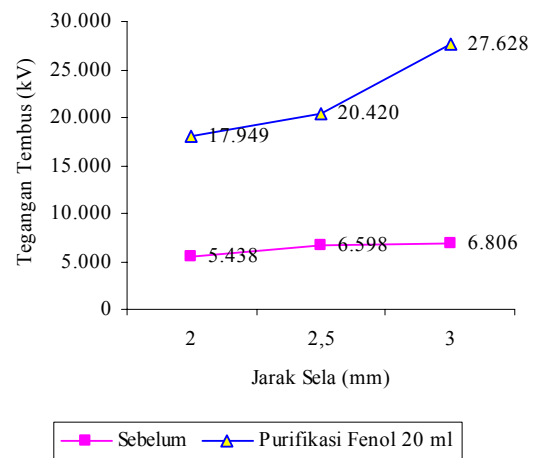
Grafik 4.1 Tegangan tembus pengaruh jarak sela elektroda setengah bola-setengah bola sebelum dan sesudah di purifikasi fenol 20 ml



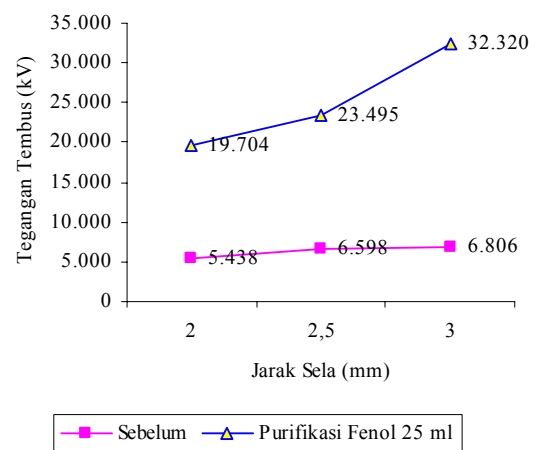
Grafik 4.2 Tegangan tembus pengaruh jarak sela elektroda setengah bola-setengah bola sebelum dan sesudah di purifikasi fenol 25 ml



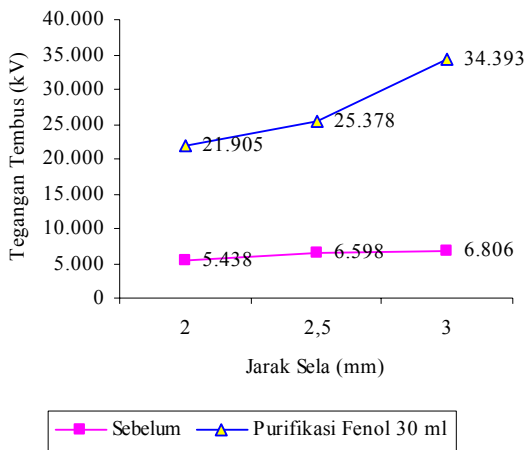
Grafik 4.3 Tegangan tembus pengaruh jarak sela elektroda setengah bola-setengah bola sebelum dan sesudah di purifikasi fenol 30 ml



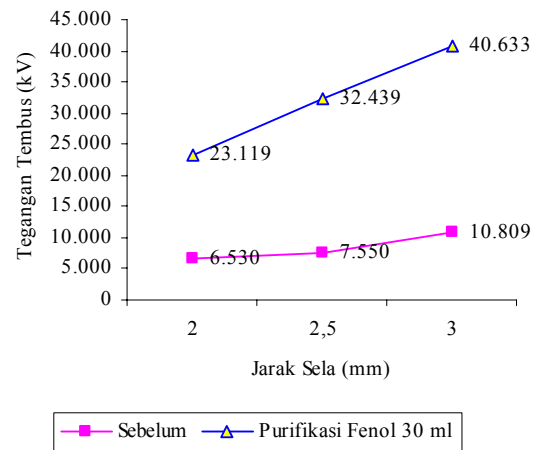
Grafik 4.4 Tegangan tembus pengaruh jarak sela elektroda bola-bola sebelum dan sesudah di purifikasi fenol 20 ml



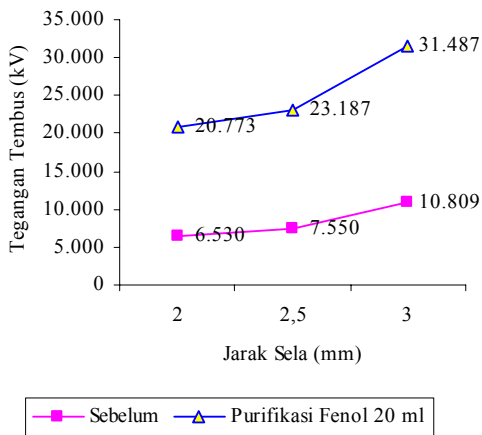
Grafik 4.5 Tegangan tembus pengaruh jarak sela elektroda bola-bola sebelum dan sesudah di purifikasi fenol 25 ml



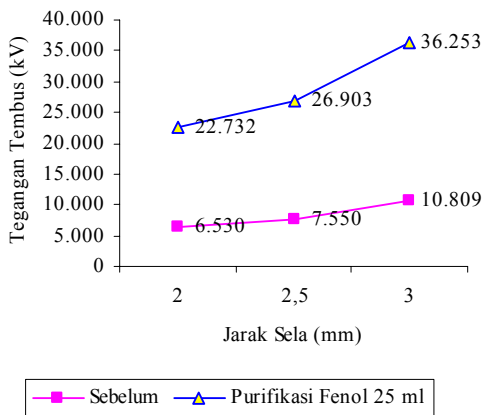
Grafik 4.6 Tegangan tembus pengaruh jarak sela elektroda bola- bola sebelum dan sesudah di purifikasi fenol 30 ml



Grafik 4.9 Tegangan tembus pengaruh jarak sela elektroda setengah bola- bidang sebelum dan sesudah di purifikasi fenol 30 ml



Grafik 4.7 Tegangan tembus pengaruh jarak sela elektroda setengah bola- bidang sebelum dan sesudah di purifikasi fenol 20 ml



Grafik 4.8 Tegangan tembus pengaruh jarak sela elektroda setengah bola- bidang sebelum dan sesudah di purifikasi fenol 25 ml

Pada gambar 4.1 sampai 4.9 memperlihatkan pengaruh jarak sela sebelum dan sesudah di purifikasi terhadap tegangan tembus minyak trafo yang menunjukkan bahwa tegangan tembus pada elektroda setengah bola-setengah bola dan bola-bola dan setengah bola-bidang plat bertambah besar dengan bertambahnya jarak sela baik sebelum dan sesudah di purifikasi. Semakin besar jarak sela antara elektroda maka tegangan yang diterapkan juga bertambah besar sehingga dihasilkan tegangan tembus yang tinggi. Hubungan antara tegangan tembus dan jarak sela dapat dilihat pada persamaan yaitu:

$$V_b = Ad^n \dots\dots\dots(4.1)$$

Dimana :

V_b = tegangan gagal / *breakdown* (kV)

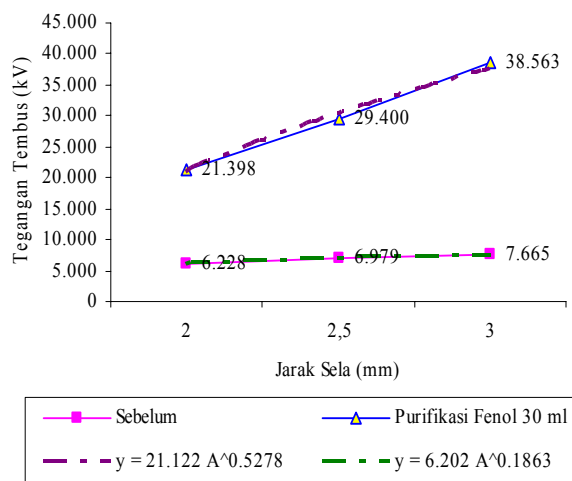
d = panjang ruang celah (mm)

A = konstanta

n = konstanta yang nilainya

<1

Dari persamaan di atas terlihat bahwa panjang jarak sela berbanding lurus dengan tegangan tembus.



Gambar 4.10 Grafik Tegangan tembus minyak trafo bekas elektroda setengah bola-setengah bola sebelum dan sesudah sebagai fungsi jarak sela

Jika dilihat dari grafik 4.10 dengan berdasarkan rumus $Vb=Ad^n$, maka dapat dihitung menggunakan program excel (*Add Trendline Power*) untuk nilai A dan n, Nilai tersebut untuk memprediksi dan membandingkan nilai tegangan tembus minyak trafo bekas sebelum dan sesudah di purifikasi antara hasil pengujian dengan perhitungan rumus jarak sela ($Vb=Ad^n$). Contoh perhitungan sebelum di purifikasi yaitu didapat nilai A = 6.202 sedangkan nilai n = 0,1863 (Gambar 4.10)

$$Vb = A d^n$$

$$Vb = 6.202 (3)^{0.1863}$$

$$Vb = 7.611 \text{ kV}$$

Contoh untuk perhitungan secara manual

$$Vb_1 = Ad_1^n \Rightarrow A = \frac{Vb_1}{d_1^n} \dots \dots \dots (4.2)$$

$$Vb_2 = Ad_2^n \dots \dots \dots (4.3)$$

Substitusikan persamaan 4.2 dan 4.3 maka persamaannya adalah sebagai berikut :

$$Vb_2 = \frac{Vb_1}{d_1^n} \cdot d_2^n$$

$$Vb_2 = Vb_1 \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^n$$

Maka dapat di hitung nilai A dan n sebagai berikut :

$$7.611 = 7.356 (3/2.5)^n$$

$$\frac{7.611}{7.356} = (1.2)^n$$

$$1.0346 = 1.2^n$$

$$n = {}^{1.2} \log 1.0346$$

$$n = \frac{\log 1.0346}{\log 1.2}$$

$$n = \frac{0.01480}{0.0791812}$$

$$n = 0.1869$$

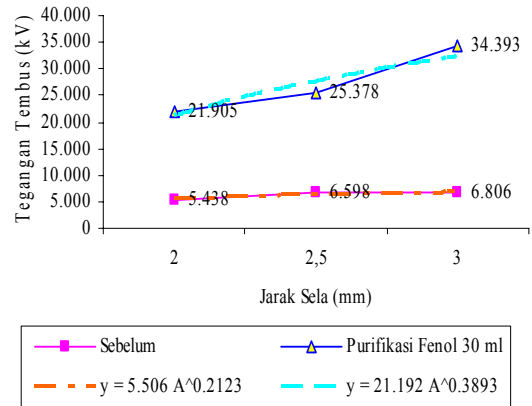
Maka nilai A dapat di hitung dengan menggunakan persamaan 4.2

$$A = \frac{7.356}{2.5^{0.1869}}$$

$$A = 6.1982 \text{ kV}$$

Nilai A = 6.1982 kV dan n= 0.1869

Berdasarkan hasil perhitungan secara komputer diatas untuk jarak sela 3 mm tegangan tembusnya 7.611 kV mendekati hasil perhitungan secara manual tegangan tembus minyak trafo bekas sebesar 7.6109 kV. Maka dapat dikatakan grafik hasil pengujian tegangan tembus tersebut diatas sudah sesuai dengan pendekatan perhitungan menggunakan rumus. Berdasarkan rumus tersebut, bisa disimpulkan bahwa semakin besar jarak sela, maka nilai tegangan tembus semakin besar, tetapi nilai A dan n tetap karena merupakan suatu konstanta.



Gambar 4.11 Grafik Tegangan tembus minyak trafo bekas elektroda bola- bola sebelum dan sesudah sebagai fungsi jarak sela

Jika dilihat dari grafik 4.11 dengan berdasarkan rumus $Vb=Ad^n$, maka dapat dihitung menggunakan program excel (*Add Trendline Power*) untuk nilai A dan n, Nilai tersebut untuk memprediksi dan membandingkan nilai tegangan tembus minyak trafo bekas sebelum dan sesudah di purifikasi antara hasil pengujian dengan perhitungan rumus jarak sela ($Vb=Ad^n$). Contoh perhitungan sebelum di purifikasi yaitu didapat nilai A = 5.506 sedangkan nilai n = 0,2123 (Gambar 4.11)

$$Vb = A d^n$$

$$Vb = 5.506 (3)^{0.2123}$$

$$Vb = 6.952 \text{ kV}$$

Perhitungan secara manual

$$Vb_2 = \frac{Vb_1}{d_1^n} \cdot d_2^n$$

$$Vb_2 = Vb_1 \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^n$$

Maka dapat di hitung nilai A dan n sebagai berikut :

$$6.982 = 6.688 (3/2.5)^n$$

$$\frac{6.982}{6.688} = (1.2)^n$$

$$1.0439 = 1.2^n$$

$$n = {}^{1.2} \log 1.0439$$

$$n = \frac{\log 1.0439}{\log 1.2}$$

$$n = \frac{0.01865}{0.0791812}$$

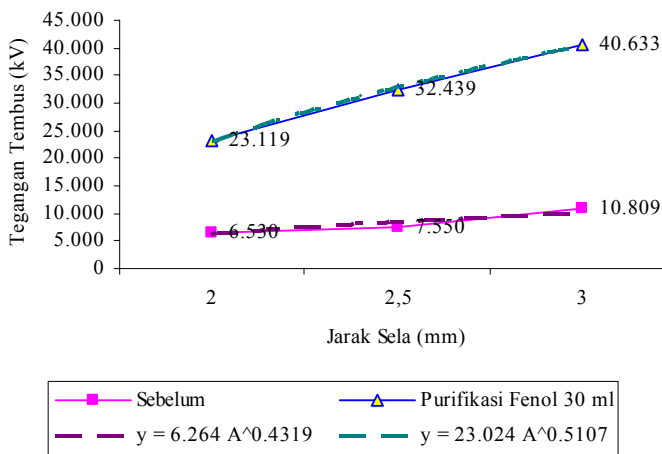
$$n = 0.2356$$

Maka nilai A dapat di hitung dengan menggunakan persamaan 4.2

$$A = \frac{6.688}{2.5^{0.2356}}$$

$$A = 5.3894 \text{ kV}$$

Berdasarkan hasil perhitungan secara komputer diatas untuk jarak sela 3 mm tegangan tembusnya 6.952 kV mendekati hasil perhitungan secara manual tegangan tembus minyak trafo bekas sebesar 6.981 kV. Maka dapat dikatakan grafik hasil pengujian tegangan tembus tersebut diatas sudah sesuai dengan pendekatan perhitungan menggunakan rumus. Berdasarkan rumus tersebut, bisa disimpulkan bahwa semakin besar jarak sela, maka nilai tegangan tembus semakin besar, tetapi nilai A dan n tetap karena merupakan suatu konstanta.



Gambar 4.12 Grafik Tegangan tembus minyak trafo bekas elektroda setengah bola- bidang sebelum dan sesudah sebagai fungsi jarak sela.

Jika dilihat dari grafik 4.12 dengan berdasarkan rumus $V_b = A d^n$, maka dapat dihitung menggunakan program excel (*Add Trendline Power*) untuk nilai A dan n, Nilai tersebut untuk memprediksi dan membandingkan nilai tegangan tembus minyak trafo bekas sebelum dan sesudah di purifikasi antara hasil pengujian dengan perhitungan rumus jarak sela ($V_b = A d^n$). Contoh

perhitungan sebelum di purifikasi yaitu didapat nilai A = 6.264 sedangkan nilai n = 0,4319 (Gambar 4.12)

$$V_b = A d^n$$

$$V_b = 6.264 (3)^{0.4319}$$

$$V_b = 10.746 \text{ kV}$$

Perhitungan secara manual

$$V_{b_2} = \frac{V_{b_1}}{d_1^n} \cdot d_2^n$$

$$V_{b_2} = V_{b_1} \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^n$$

Maka dapat di hitung nilai A dan n sebagai berikut :

$$10.746 = 9.305 (3/2.5)^n$$

$$\frac{10.746}{9.305} = (1.2)^n$$

$$1.15486 = 1.2^n$$

$$n = {}^{1.2} \log 1.15486$$

$$n = \frac{\log 1.15486}{\log 1.2}$$

$$n = \frac{0.062530}{0.0791812}$$

$$n = 0.7897$$

Maka nilai A dapat di hitung dengan menggunakan persamaan 4.2

$$A = \frac{9.305}{2.5^{0.7897}}$$

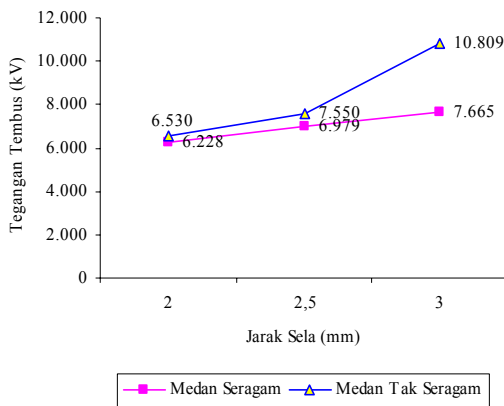
$$A = 4.5129 \text{ kV}$$

Berdasarkan hasil perhitungan secara komputer diatas untuk jarak sela 3 mm tegangan tembusnya 10.746 kV mendekati hasil perhitungan secara manual tegangan tembus minyak trafo bekas sebesar 10.7457 kV. Maka dapat dikatakan grafik hasil pengujian tegangan tembus tersebut diatas sudah sesuai dengan pendekatan perhitungan menggunakan rumus. Berdasarkan rumus tersebut, bisa disimpulkan bahwa semakin besar jarak sela, maka nilai tegangan tembus semakin besar, tetapi nilai A dan n tetap karena merupakan suatu konstanta.

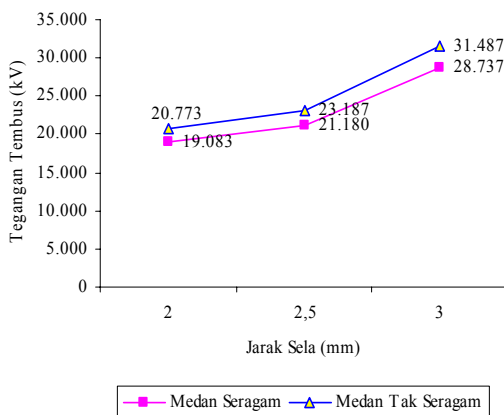
Jika jarak sela antara elektroda semakin jauh maka di perlukan tegangan yang lebih besar karena di butuhkan tegangan kuat medan yang besar untuk proses ionisasi pada isolasi cair. Pada jarak sela yang jauh maka medan listrik yang dibutuhkan besar sehingga energi benturan elektron dalam gelembung udara juga besar. Hal ini akan meningkatkan kuat medan listrik untuk terjadinya kegagalan pada zat cair tersebut.

Tegangan tembus minyak trafo bekas sebelum dan sesudah di purifikasi pada elektroda setengah bola-bidang plat elektroda paling besar Hal ini dikarenakan bentuk elektroda setengah bola-bidang plat mempunyai luas penampang yang lebih besar yang mengakibatkan rapat muatan yang dihasilkan lebih kecil sehingga sulit dalam pembentukan elektron awal untuk menghasilkan kegagalan atau tembus pada minyak trafo. Sedangkan pada bentuk elektroda bola-bola dan setengah bola-setengah bola proses pembentukan elektron awal lebih mudah karena luas penampang yang kecil akan mengakibatkan rapat muatan yang dihasilkan lebih besar sehingga mudah dalam pembentukan elektron awal untuk menghasilkan kegagalan atau tembus pada minyak trafo.

4.1.1.1 Analisis Karakteristik Tegangan Tembus Elektroda Medan Seragam Dan Medan Tak seragam Sebelum dan Sesudah di Purifikasi Fenol

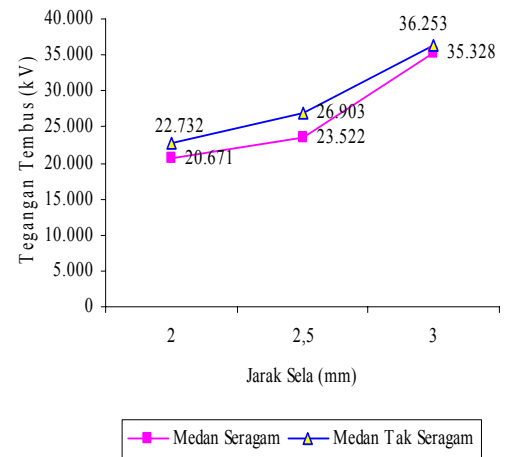


Grafik 4.13 Perbandingan Tegangan Tembus Elektroda Medan Seragam Dan Medan Tak seragam Sebelum di Purifikasi.

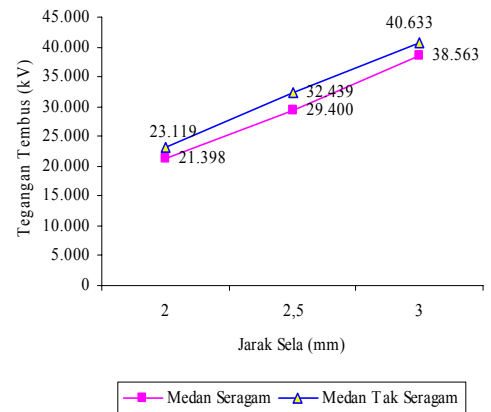


Gambar 4.14 Perbandingan Tegangan Tembus Elektroda Medan Seragam Dan Tak seragam Sesudah Di Purifikasi Fenol 20

ml



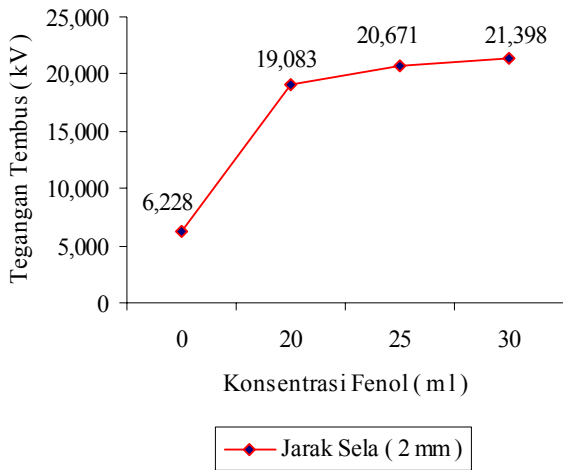
Grafik 4.15 Perbandingan Tegangan Tembus Elektroda Medan Seragam Dan Medan Tak Seragam sesudah Di purifikasi Fenol 25 ml



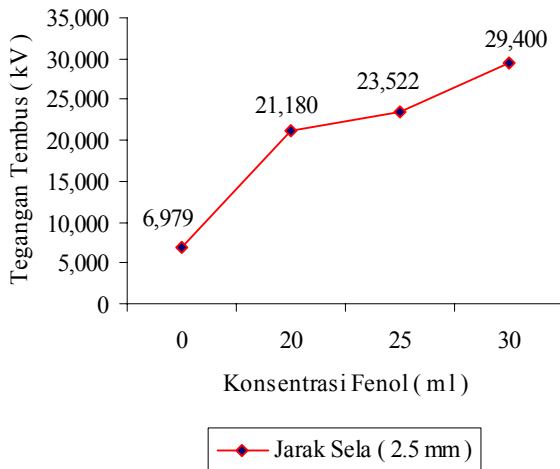
Grafik 4.16 Perbandingan Tegangan Tembus Elektroda Medan Seragam dan medan Tak Seragam Sesudah Di purifikasi Fenol 30 ml

Pada gambar diatas memperlihatkan pengaruh bentuk elektroda seragam dan tak seragam terhadap tegangan tembus minyak trafo. Pada bentuk elektroda seragam yang diwakilkan dengan elektroda setengah bola-setengah bola dan bentuk elektroda tak seragam yang diwakilkan oleh elektroda setengah bola-bidang plat menunjukkan bahwa tegangan tembus pada elektroda tak seragam lebih besar dari pada tegangan tembus pada elektroda tak seragam baik sebelum di purifikasi maupun sesudah di purifikasi. Hal ini dikarenakan bentuk elektroda setengah bola-bidang plat atau bentuk elektroda tak seragam mempunyai luas penampang yang berbeda yaitu bidang plat dan setengah bola di mana pada elektroda plat yang elektron tersebar pada seluruh permukaan bidang plat yang mengakibatkan rapat muatan yang dihasilkan lebih kecil sehingga sulit dalam pembentukan elektron awal untuk menghasilkan kegagalan atau tembus pada minyak trafo.

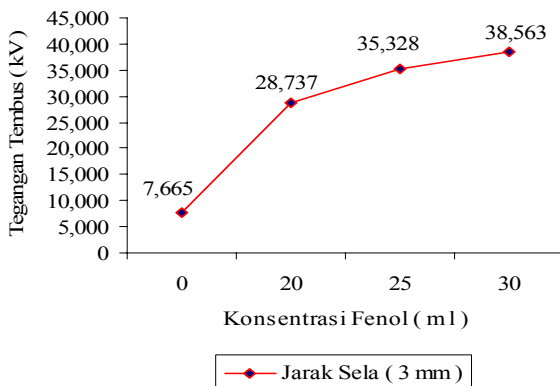
4.2.2 Analisis Karakteristik Tegangan Tembus Minyak Trafo Pengaruh Konsentrasi Fenol Untuk Elektroda Setengah Bola-Setengah Bola, Bola-Bola, Setengah Bola-Bidang.



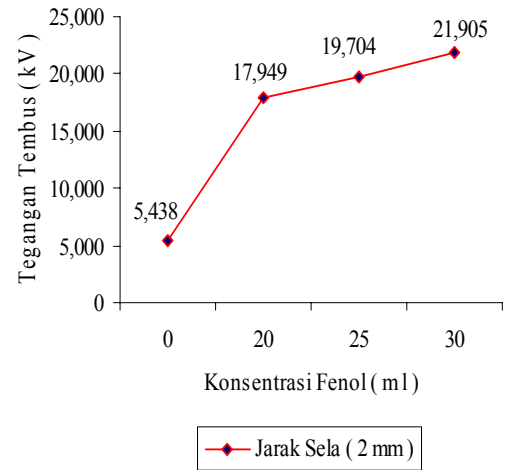
Grafik 4.17 Tegangan tembus pengaruh konsentrasi fenol elektroda setengah bola-setengah bola jarak sela 2 mm



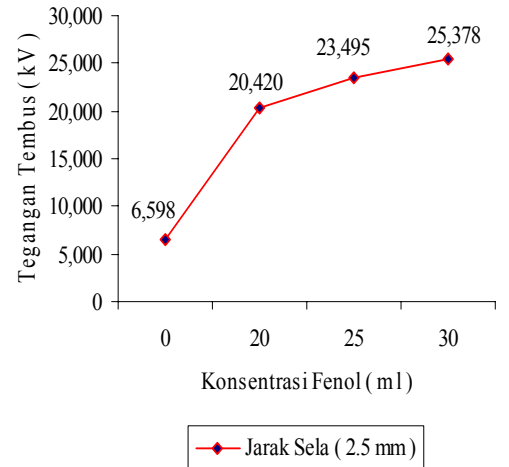
Grafik 4.18 Tegangan tembus pengaruh konsentrasi fenol elektroda setengah bola-setengah bola jarak sela 2.5 mm



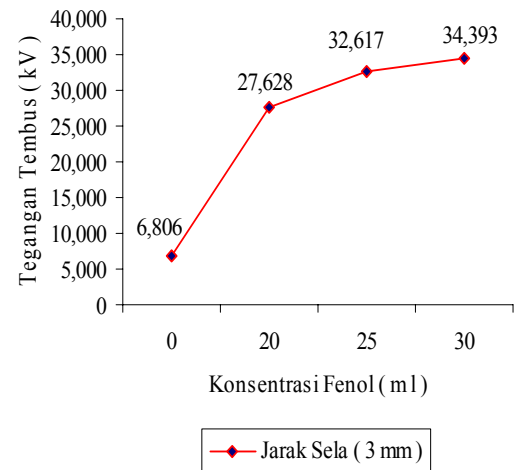
Grafik 4.18 Tegangan tembus pengaruh konsentrasi fenol elektroda setengah bola-setengah bola jarak sela 3 mm



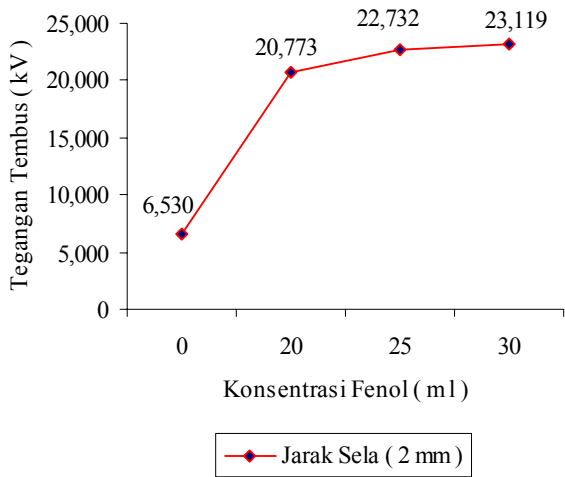
Grafik 4.19 Tegangan tembus pengaruh konsentrasi fenol elektroda bola- bola jarak sela 2 mm



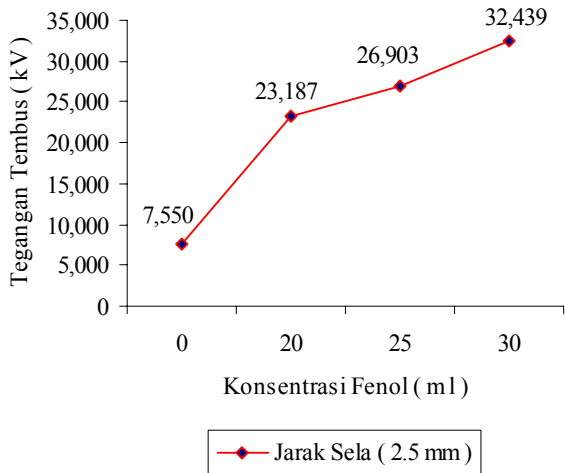
Grafik 4.20 Tegangan tembus pengaruh konsentrasi fenol elektroda bola- bola jarak sela 2.5 mm



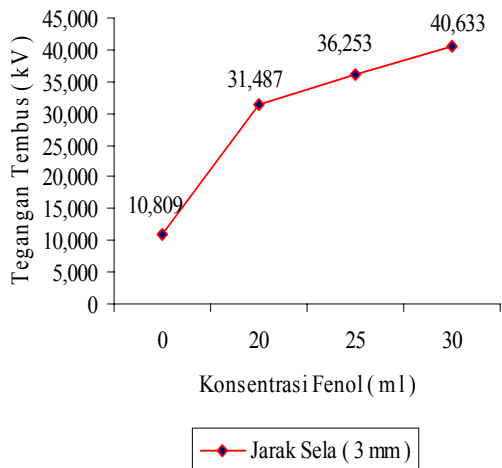
Grafik 4.21 Tegangan tembus pengaruh konsentrasi fenol elektroda bola- bola jarak sela 3 mm



Grafik 4.22 Tegangan tembus pengaruh konsentrasi fenol elektroda setengah bola- setengah bola jarak sela 2 mm



Grafik 4.23 Tegangan tembus pengaruh konsentrasi fenol elektroda setengah bola- setengah bola jarak sela 2.5 mm



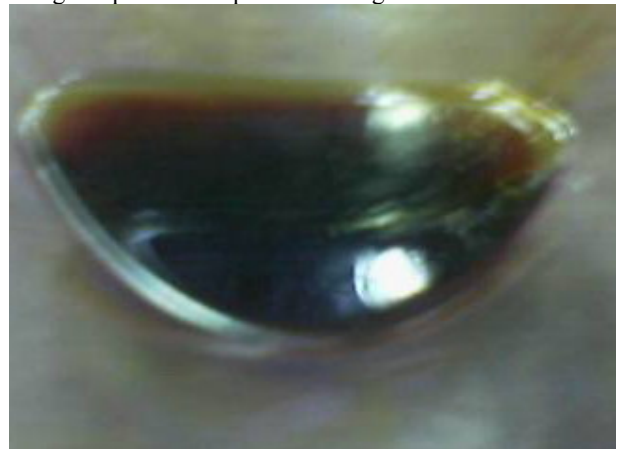
Grafik 4.24 Tegangan tembus pengaruh konsentrasi fenol elektroda setengah bola- setengah bola jarak sela 3 mm

Berdasarkan grafik diatas tegangan tembus minyak trafo sesudah di purifikasi bertambah besar seiring dengan

bertambahnya konsentrasi fenol yang di campur kedalam minyak trafo bekas. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat pengotoran pada minyak trafo setelah di purifikasi berkurang (tabel 4.13) sehingga tegangan tembus minyak trafo setelah di purifikasi meningkat secara signifikan karena kontaminan yang ada dalam minyak trafo bekas telah berkurang dan minyak trafo yang telah di purifikasi kekuatan dielektriknya bertambah. Hal Ini sesuai dengan teori bahwa tingkat pengotoran dalam minyak trafo bekas mempengaruhi kekuatan dielektriknya, kontaminan-kontaminan yang ada dalam minyak trafo akan menjadi jembatan konduktif yang akan menyebabkan awal terjadinya banjir electron pada minyak trafo sehingga terjadi tegangan tembus dan minyak trafo gagal melakukan fungsinya senagai isolasi.



Gambar 4.25 kontaminan pada minyak trafo bekas yang mengendap setelah di purifikasi dengan Fenol 20 ml



Gambar 4.26 kontaminan pada minyak trafo bekas yang mengendap setelah di purifikasi dengan Fenol 25 ml



Gambar 4.27 kontaminan pada minyak trafo bekas yang mengendap setelah di purifikasi dengan Fenol 30 ml

Table 4.1 Tingkat kontaminan yang di endapkan

Fenol	Kandungan Kontaminan yang di endapkan
20 ml	1,571 gram
25 ml	2,27 gram
30 ml	3,957 gram

Berdasarkan table 4.13 tingkat kontaminan yang di endapkan bertambah besar seiring dengan bertambahnya konsentrasi fenol yang di jadikan purifikasi. Setelah di lakukan purifikasi dengan fenol maka partikel-partikel yang terdapat pada minyak trafo bekas mengendap (Seperti terlihat pada gambar 4.25, 4.26, 4.27).

Ketidakhadiran ini sangat berpengaruh dalam kegagalan isolasi, apabila jumlah partikel-partikel yang melayang pada minyak transformator bekas banyak, partikel-partikel itu akan membentuk semacam jembatan yang dapat menghubungkan kedua elektroda sehingga mengakibatkan terjadinya peristiwa kegagalan.

4.2.3 Analisis Fenomena Yang Terjadi Pada Pengujian Tegangan Tembus Minyak trafo

Suatu dielektrik dalam hal ini isolasi cair tidak mempunyai elektron-elektron bebas, melainkan elektron-elektron yang terikat pada struktur molekul yang membentuk dielektrik cair tersebut. Jika suatu tegangan diterapkan pada elektroda yang di celup pada isolasi cair maka akan timbul medan listrik pada isolasi cair tersebut. Medan listrik ini akan memberi gaya kepada elektron-elektron agar terlepas dari ikatannya dan menjadi elektron bebas. Sehingga medan listrik ini merupakan beban yang menekan isolasi cair agar berubah sifat menjadi konduktor.

Beban yang dipikul isolasi cair disebut juga terpaan medan listrik. Setiap isolasi cair atau dielektrik mempunyai batas kekuatan untuk memikul terpaan listrik. Jika terpaan listrik yang dipikulnya melebihi batas tersebut dan terpaan berlangsung lama, maka isolasi cair akan menghantar arus atau gagal melaksanakan fungsinya sebagai isolator. Dalam hal ini isolasi cair atau dielektrik mengalami tembus listrik atau "breakdown".

Jika zat cair yang digunakan dalam pengujian ini adalah minyak trafo maka pada saat tegangan diterapkan pada dua buah elektroda yang dicelup pada minyak trafo , maka akan timbul medan listrik dalam minyak trafo tersebut. Medan listrik ini akan memberikan gaya pada elektron-elektron yang terikat pada struktur molekul minyak trafo agar terlepas dari ikatannya. Jika ikatan ini lepas maka isolasi hilang pada tempat itu dan minyak trafo akan menghantar arus (konduktor) dan minyak trafo gagal melaksanakan fungsinya sebagai isolator.

Jadi sesungguhnya bagi bahan isolasi tegangan merupakan tekanan yang harus dilawan oleh suatu gaya dalam bahan isolasi itu sendiri supaya bahan isolasi tidak gagal menjalankan fungsinya sebagai isolator.

Untuk memperoleh tegangan tembus pada setiap pengujian, tegangan uji diberikan pada sistem secara bertahap dengan tingkat kenaikan yang sama per satuan waktu menggunakan peralatan pengontrol. Dengan demikian dapat diamati fenomena apa saja yang terjadi selama pelaksanaan pengujian dengan digolongkan kedalam kelompok sebagai berikut :

4.2.4.1 Saat sebelum terjadi Tegangan Tembus

Proses sebelum terjadi tembus dimulai dari menaikkan tegangan uji secara bertahap dari keadaan tegangan rendah sampai mendekati tegangan tembus. Dalam kondisi mendekati nilai tegangan tembus timbul suara mendesis, Hal ini terjadi karena adanya tekanan yang terus-menerus dan semakin besar pada minyak isolasi^[2].

4.2.4.2 Saat terjadi terjadi tegangan tembus

Pada saat terjadi tegangan tembus terjadi lucutan diantara kedua elektroda tersebut. Lucutan dalam ini terdiri dari unsur-unsur sebagai berikut :

- Aliran listrik yang besarnya ditentukan oleh karakteristik rangkaian.
- Lintasan cahaya yang cerah yang bergerak dari satu elektroda ke elektroda lainnya.
- Pembentukan lubang pada elektroda.
- Tekanan impulsif dalam zat cair disertai suara ledakan.

4.2.4.2.1 Saat sesudah terjadi tembus

Dalam kondisi sesudah terjadi tegangan tembus timbul gelembung gas dan kabut hitam (arang) pada minyak isolasi. Hal ini menurut Arismunandar^[2] disebabkan oleh :

- a. Permukaan elektroda tidak rata, sehingga terdapat kantong-kantong udara di permukaannya
- b. Adanya tabrakan elektron saat terjadi tegangan tembus, sehingga muncul produk-produk baru berupa gelembung gas atau arang,
- c. Adanya penguapan cairan karena lucutan pada bagian-bagian elektroda yang tajam dan tak teratur
- d. Zat cair dikenai perubahan suhu dan tekanan

5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Pengujian tegangan tembus pada bahan isoalsi cair minyak trafo bekas sebelum dan sesudah di purifikasi . Pengujian dilaksanakan di laboratorium dengan menggunakan elektroda setengah bola-setengah bola dan elektroda bola-bola dan elektroda setengah boal- bidang plat.. Maka dapat diperoleh kesimpulan :

1. Tegangan tembus minyak trafo untuk elektroda setengah bola – bidang lebih besa yaitu 32.349 kV/2.5mm dibandingkan tegangan tembus untuk elektroda setengah bola-setengah bola yaitu 29.400 kV/2.5mm dan elektroda bola-bola yaitu 25,378 kV/2.5 mm.
2. Tegangan tembus minyak trafo meningkat seiring konsentrasi fenol yang di gunakan sebagai purifikasi terhadap pengujian tegangan tembus yaitu 20 ml, 25 ml, 30 ml.
3. Tegangan tembus pada isolasi cair minyak trafo cenderung meningkat seiring bertambahnya jarak sela elektroda, semakin besar jarak sela maka tegangan tembus bertambah besar juga.
4. Tegangan tembus minyak trafo sebelum di purifikasi (6.979/2.5mm) dan sesudah di purifikasi (29.400/2.5mm),

Saran

Adapun saran yang dapat dikemukakan bagi para pembaca dan peminat dalam bidang kelistrikan, khususnya mengenai isolasi dan kegagalan isolasi dapat terus melakukan berbagai penelitian dan pengujian tegangan tembus pada media isolasi untuk jenis purifikasi yang berbeda atau alternatif isolasi cair pengganti minyak trafo.Perlu diteliti lebih lanjut untuk minyak trafo bekas yang telah dipurifikasi dengan menggunakan analisis yang lain, misalnya analisis kimia dll.

DAFTAR PUSTAKA

1. Abduh, Syamsir, *Teori Kegagalan Isolasi*, Universitas Trisakti, 2003.
2. Arismunandar, A, *Teknik Tegangan Tinggi Suplemen*, Ghalia, 1982.
3. _____, *Teknik Tegangan Tinggi*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 2001.
4. Baktiman, *Philemon.*, *Pengujian Tegangan Tembus Pada Media Isolasi Cair Minyak Trafo Dan Minyak Sawit Dengan Menggunakan Elektroda Setengah Bola Dan Jarum*, Skripsi S-1, Universitas Diponegoro, Semarang, 2005.
5. Hadi, Sutrisno, *Statistik 2*, Penerbit ANDI OFFSET, Yogyakarta, 1994.
6. Kind, Dieter, *An Introduction to High Voltage Experimental Technique*, Willev Eastern Limited 1993.
7. _____, *Pengantar Teknik Eksperimental Tegangan Tinggi* “ terjemahan K.T. Sirait, ITB, Bandung 1993.
8. _____, *High Voltage Insulation Technology*, Indian Institut of Technology, India 1993.
9. Maller and Naidu, et al, *High Voltage Engineering*, second edition, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi, 1995.
10. Rindengan, Berlina and Novariant, Hengky, *Pembuatan dan Pemanfaatan Minyak Kelapa Murni*, Penebar Swadaya, Jakarta, 2004.
11. Rusdianawati, Rofi, *Perbandingan Nilai Tegangan Tembus Pada Media Isolasi Udara, Minyak Trafo dan Polimer Resin Epoxy*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik – UNDIP, Semarang, 2005.
12. Santoro, *Pemurnian Minyak Trafo Di PT. PLN (Persero) UPT Semarang*, Laporan Kerja Praktek, Universitas Diponegoro, Semarang, 2006.
13. Salam, Abdel, ” High Voltage Engineering” , Marcel Dekker Inc, New York
14. Schwenk, Klaus, *Operating Instruction PZTL Test Transformer Cylinder Type With Air Gap*, HAEFELY High Voltage Test, 2002.
15. Syakur, Abdul, *Modul Praktikum Gejala Medan & Tegangan Tinggi*, Laboratorium Konversi Energi dan Sistem Tenaga Listrik Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik – UNDIP, Semarang, 2004
16. Tadjuddin, *Analisis Kegagalan Minyak Transformator*, Elektro Indonesia Edisi ke Dua Belas, maret 1998
17. Tadjudin, *Partial Discharge dan Kegagalan Bahan Isolasi*, Elektro Indonesia Edisi ke Tiga Belas, Juni, 1998
18. Tobing, Bongas L, *Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2003.
19. _____, “ Peralatan Tegangan Tinggi ”, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2003
20. ---, IEC-156, *Insulating Liquid Determinan of Breakdown Voltage at Power Frequency Tes Method*, 1995.
21. ---, SPLN 49 -1, *Minyak Isolasi*, Perusahaan Umum Listrik Negara, 1982.
22. ---, SNI 04-6950, *Nilai Ambang Batas Medan Listrik dan Medan Magnet*, BSN, 2003'



David Supriyanto (L2F 003 492)

Lahir di Manna, 02 agustus 1985 menempuh Pendidikan SD, SLTP dan SMU di Manna, Bengkulu Selatan. Bengkulu. Sekarang Mahasiswa Jurusan Teknik elektro Fakultas Teknik niversitas Diponegoro Semarang
Konsentrasi Tenaga Listrik

Menyetujui,
Dosen Pembimbing

Pembimbing I

Abdul Syakur, ST, MT
NIP. 131 231 132

Pembimbing II

Ir. Agung Nugroho
NIP. 131 231 668