

# PENGUJIAN TEGANGAN TEMBUS AC MINYAK SERAI DENGAN MENGGUNAKAN BERBAGAI ELEKTRODA

Marlon Tua Pangihutan Sibarani<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Politeknik Negeri Medan,  
Jl. Almamater No. 1 Kampus USU Medan, Indonesia

*Email: marlon.19770325@polmed.ac.id*

## Abstrak

Dalam sistem tenaga listrik, isolasi bermanfaat untuk memisahkan beberapa konduktor listrik yang bertegangan sehingga tidak menimbulkan loncatan listrik atau bunga api listrik antara konduktor-konduktor yang bertegangan. Minyak merupakan material isolasi berbentuk cair yang banyak digunakan untuk mendinginkan komponen listrik tegangan rendah, menengah dan tinggi. Isolator minyak sebagian besar berasal dari minyak fosil atau minyak mentah yang diproses secara khusus sehingga memiliki sifat-sifat sebagai isolator. Perkembangan dunia saat ini menuntut suatu produk yang bersih lingkungan dan nyaman untuk mengurangi efek pemanasan global. Keadaan ini membuka peluang penggunaan bahan energi yang dapat diperbaharui yang bersumber dari minyak nabati. Pengujian karakteristik tegangan tembus AC bahan isolasi cair minyak serai dengan berbagai elektroda bertujuan untuk mempelajari kekuatan isolasinya terhadap tegangan tembus dengan variasi arus sekunder ( $I_s$ ) dan jarak sela serta bentuk elektroda. Pengujian dilakukan dengan menggunakan elektroda berbentuk bola, batang, jarum dan setengah bola seiring perubahan sela konduktor sebesar 1,5 cm, 2 cm dan 2,5 cm serta arus sekunder transformator ( $I_s$ ) sebesar 12 mA dan 16 mA. Tegangan tembus bolak-balik sebenarnya untuk minyak serai dengan menggunakan elektroda jarum dengan  $I_s$  sebesar 12 mA pada jarak sela 1,5 cm, 2 cm, 2,5 cm adalah 17,6 kv, 22,1 kv, 26,5 kv, dan pada  $I_s$  sebesar 16 mA pada jarak yang sama diperoleh tegangan tembus sebenarnya sebesar 19,6 kv, 24,0 kv, 28,9 kv. Tegangan tembus bolak-balik sebenarnya untuk minyak serai dengan menggunakan elektroda bola dengan  $I_s$  sebesar 12 mA pada jarak sela 1,5 cm, 2 cm, 2,5 cm adalah 10,8 kv, 12,7 kv, 16,7 kv, dan pada  $I_s$  sebesar 16 mA pada jarak yang sama tegangan tembus sebenarnya sebesar 12,7 kv, 16,1 kv, 20,1 kv. Tegangan tembus bolak-balik sebenarnya untuk minyak serai dengan menggunakan elektroda setengah bola dengan  $I_s$  sebesar 12 mA pada jarak sela 1,5 cm, 2 cm, 2,5 cm adalah 12,7 kv, 15,7 kv, 19,1 kv, dan pada  $I_s$  sebesar 16 mA pada jarak yang sama tegangan tembus sebenarnya sebesar 18,6 kv, 21,6 kv, 25,0 kv. Tegangan tembus bolak-balik sebenarnya untuk minyak serai dengan menggunakan elektroda tabung dengan  $I_s$  sebesar 12 mA pada jarak sela 1,5 cm, 2 cm, 2,5 cm adalah 8,8 kv, 10,8 kv, 13,2 kv, dan pada  $I_s$  sebesar 16 mA pada jarak yang sama tegangan tembus sebenarnya sebesar 11,2 kv, 13,7 kv, 16,1 kv.

Kata kunci : karakteristik tegangan tembus AC, elektroda, minyak serai.

## Abstract

In an electric power system, isolation is useful for separating several electrical conductors with a voltage so as not to cause electrical jumps or electrical sparks between conductors with voltage. Oil is a liquid insulating material that is widely used to cool low, medium and high voltage electrical components. Most of the oil insulators come from fossil or crude oil which is specially processed so that it has the properties of an insulator. The development of the world today demands a product that is environmentally clean and comfortable to reduce the effects of global warming. This situation opens up opportunities for the use of renewable energy materials sourced from vegetable oils. The testing of AC breakdown characteristics of lemongrass oil liquid insulation material with various electrodes aims to study the strength of its insulation against the breakdown voltage with a variation of the secondary current ( $I_s$ ) and the distance between and shape of the electrodes. Tests are carried out using ball-shaped electrodes, rods, needles and half-spheres as the conductor changes between 1.5 cm, 2 cm and 2.5 cm and the transformer secondary current ( $I_s$ ) of 12 mA and 16 mA. The actual alternating voltage for lemongrass oil using a needle electrode with  $I_s$  of 12 mA at a gap of 1.5 cm, 2 cm, 2.5 cm is 17.6 kv, 22.1 kv, 26.5 kv, and at  $I_s$  of 16 mA at the same distance, the actual breakdown voltage is obtained 19.6 kv, 24.0 kv, 28.9 kv. The actual alternating breakdown voltage for lemongrass oil using a ball electrode with  $I_s$  of 12 mA at intervals of 1.5 cm, 2 cm, 2.5 cm is 10.8 kv, 12.7 kv, 16.7 kv, and in  $I_s$  of 16 mA at the same distance the actual breakdown voltage is 12.7 kv, 16.1 kv, 20.1 kv. The real alternating voltage for lemongrass oil using a half-ball electrode with  $I_s$  of 12 mA at an interval of 1.5 cm, 2 cm, 2.5 cm is 12.7 kv, 15.7 kv, 19.1 kv, and at  $I_s$  equal to 16 mA at the same distance the actual breakdown voltage is 18.6 kv, 21.6 kv, 25.0 kv. The real alternating voltage for lemongrass oil using a tube electrode with  $I_s$  of 12 mA at an interval of 1.5 cm, 2 cm, 2.5 cm is 8.8 kv, 10.8 kv, 13.2 kv, and in  $I_s$  of 16 mA at the same distance the actual breakdown voltage is 11.2 kv, 13.7 kv, 16.1 kv.

Keywords: AC breakdown voltage characteristics, electrodes, lemongrass oil.

## 1. PENDAHULUAN

Transformator merupakan suatu alat listrik statis yang dapat mengkonversi tegangan dan arus bolak-balik dari satu atau lebih rangkaian listrik yang lain dengan nilai yang sama

maupun berbeda besarnya pada frekuensi yang sama, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Pada umumnya transformator terdiri atas sebuah inti yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan yaitu primer dan sekunder.

Salah satu bagian penting dalam transformator adalah minyak transformator. Pada peralatan tegangan tinggi khususnya transformator daya, isolasi sangat diperlukan untuk memisahkan dua atau lebih penghantar listrik yang bertegangan sehingga antara penghantar tersebut tidak terjadi lompatan atau percikan listrik[5]. Minyak transformator merupakan salah satu bahan yang digunakan sebagai isolasi dan pendingin pada transformator di mana ada dua bagian yang secara aktif membangkitkan panas yaitu kumparan (tembaga) dan inti (besi). Jika panas itu tidak diberi pendingin akan menyebabkan kumparan dan inti mencapai suhu yang ada pada kumparan dan menjadi rusak. Apabila tegangan yang diterapkan mencapai tingkat ketinggian tertentu maka bahan isolasi tersebut akan mengalami pelepasan muatan yang merupakan bentuk kegagalan listrik.

Berdasarkan bahan pembuatannya, minyak isolasi cair terbagi atas beberapa bagian diantaranya minyak bumi dan minyak nabati. Namun yang sering digunakan pada saat ini adalah minyak isolasi yang berasal dari minyak bumi. Isolasi cair yang berasal dari minyak bumi kurang ramah lingkungan. Ada dua alasan yang harus dipertimbangkan dalam rangka mencari alternatif isolasi cair ramah lingkungan karena minyak nabati dapat terdegradasi secara biologis dengan sempurna dan persediaannya sangat melimpah. Berdasarkan pertimbangan di atas maka dilakukan observasi terhadap minyak yang dalam hal ini dipilih minyak serai Untuk mengetahui kelayakan minyak serai sebagai alternatif isolasi cair dilakukan pengujian tegangan tembusnya.

Transformator membutuhkan isolasi cair yang ramah lingkungan dan dapat diperbaharui serta cepat mendinginkan panas yang ada di kumpara-kumparannya. Untuk mengetahui kelayakan minyak serai sebagai alternatif isolasi cair dilakukan pengujian tegangan tembusnya sebagai bahan alternatif isolasi cair transformator. Dari bahan ini diukur besarnya tegangan tembus AC dengan menggunakan berbagai bentuk elektroda, pada arus sekunder

transformator yang bervariasi dan jarak sela elektroda yang berbeda juga. Dari hasil pengujian ini dapat diketahui karakteristik minyak tersebut sehingga dapat disimpulkan apakah minyak serai dapat dijadikan sebagai isolasi cair transformator sesuai dengan standar internasional.

## 2. METODE

### 2.1. Pembangkitan Tegangan Tinggi AC

Transformator (trafo) uji menggunakan sumber pembangkitan tegangan tinggi AC, DC dan impuls[4]. Pembangkitan sumber ini diperlukan untuk mengurangi perubahan bentuk gelombang dari trafo uji. Pembangkitan tegangan tinggi AC pada tes laboratorium memerlukan transformator pengujian yang bermanfaat untuk mengkonversi tegangan rendah menjadi tegangan tinggi.

### 2.2. Kekuatan Dielektrik Cair

Kekuatan dielektrik adalah daya suatu bahan untuk menahan tegangan tinggi yang dipikulnya. Kekuatan dielektrik cair tergantung pada sifat atom dan molekul cairan itu sendiri, material elektroda, suhu, jenis tegangan yang diberikan, gas yang terdapat dalam cairan dan sebagainya yang dapat mengubah sifat molekul cairan tersebut. Kekuatan dielektrik isolasi cair setingkat dengan voltase yang terjadi.

Dielektrik cair harus mempunyai karakteristik dielektrik yang baik, bersifat perpindahan panas yang baik dan mempunyai susunan kimia yang baik pada saat pengoperasian[6]. Ruang yang diisolasi diisi oleh dielektrik cair dan secara konveksi akan menghilangkan panas yang terjadi.

### 2.3. Kegagalan Isolasi Cair

Di dalam trafo terdapat minyak trafo yang bermanfaat untuk mengisolasi kumparan sekunder dan primer agar tidak terjadi tegangan tembus (*breakdown*). Tingkat isolasi minyak trafo lebih baik dari udara bebas. Salah satu parameter yang dapat memperlihatkan baiknya tingkat isolasi suatu bahan adalah tegangan tembusnya.

Terpaan medan listrik merupakan beban yang ditanggung oleh dielektrik. Terpaan listrik yang dapat ditanggung oleh dielektrik tergantung dari kekuatan atau kemampuannya. maka dielektrik akan menghantar arus atau gagal melaksanakan tugasnya sebagai isolator. Dielektrik disebut tembus listrik atau “breakdown” jika kekuatan atau kemampuannya lebih kecil dari terpaan listrik yang ditanggungnya dan terjadinya terpaan dalam waktu yang lama. Untuk mengetahui sampel minyak masih dalam keadaan baik maka dibutuhkan perbandingan hasil uji dengan suatu standarisasi. Standarisasi yang digunakan untuk minyak trafo adalah Standar IEC 156 yang dapat terlihat pada tabel di bawah ini.

**Tabel 1.** Standar IEC 156

Tegangan Operasi Trafo (kV)	Jarak Gap (mm)	Nilai Minimum (kV)
$U_n \leq 36$	2,5	30
$36 < U_n \leq 70$	2,5	35
$70 < U_n \leq 170$	2,5	40
$170 < U_n$	2,5	45

Tegangan tembus bolak-balik tergantung pada jenis elektrodanya. Tegangan tembus terbesar terjadi pada elektroda jarum[3].

Ketidakhurnian isolasi cair akan mengubah karakteristiknya sehingga menyebabkan proses kegagalan menjadi lebih cepat[2]. Gelembung gas, partikel padat dan uap air dapat menyebabkan kegagalan isolasi. Kegagalan isolasi cair terdiri dari 4 jenis yaitu: kegagalan gelembung gas, kegagalan elektronik atau zat murni, kegagalan bola cair, dan kegagalan tak murnian padat [1].

Dalam prakteknya, keadaan udara saat pengujian tidak selalu sama dengan keadaan standar. Oleh karena itu, hasil pengukuran pada keadaan udara sembarang adalah sebagai berikut:

$$V_b = \delta \times V_s \tag{1}$$

di mana :  $V_b$ =Tegangan tembus sebenarnya

$\delta$  = Faktor koreksi udara

$V_s$  = Tegangan tembus pada keadaan normal.

Faktor koreksi udara tergantung kepada suhu dan tekanan udara, besarnya adalah sebagai

$$\text{berikut : } \delta = \frac{0,386 \times P}{273 + T} \tag{2}$$

di mana:

P = Tekanan udara (mmHg)

T = Suhu ruangan saat pengujian ( $^{\circ}\text{C}$ )

#### 2.4. Minyak Serai

Syarat minyak agar dapat sebagai isolasi cair yaitu: viskositas yang rendah untuk mempermudah sirkulasi, titik nyala yang tinggi untuk mencegah terjadinya kebakaran, bebas asam untuk mencegah karat dari tembaga dan kerusakan pada isolasi belitan, tidak bersifat korosif, tahan terhadap oksidasi, mempunyai kekuatan dielektrik (tegangan tembus) yang tinggi dan tidak bersedimen.

Minyak serai diperoleh dari hasil penyulingan batang atau akar tumbuhan serai. Minyak serai memiliki komponen kimia yang kompleks. Geraniol dan sitronellal merupakan komponen yang paling penting. Kedua komponen itu menentukan nilai harga minyak serai wangi, intensitas harum dan bau. Minyak serai merupakan sumber geraniol dan sitronellal. Mutu minyak serai terutama ditentukan oleh kandungan sitronellal.

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Tegangan Tinggi, Politeknik Negeri Medan dan juga di luar Politeknik Negeri Medan dengan tahapan yang dilakukan adalah :

##### 3.1. Perancangan dan pembuatan bahan.

Bahan yang dibutuhkan adalah:

###### a. Kotak Uji

Kotak uji yang digunakan dalam pengujian ini terbuat dari bahan kaca dengan berukuran panjang 10 cm, lebar 10 cm, dan tinggi 15 cm dan posisi kotak uji vertikal. Kotak uji digunakan untuk meletakkan elektroda uji dan sebagai wadah isolasi cair yang dimasukkan dalam sistem untuk pengujian tegangan tembus. Kotak uji dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 1.** Kotak Uji

**b. Elektroda Uji**

Elektroda uji dibuat dari bahan aluminium yaitu elektroda jarum, bola, setengah bola dan tabung. Elektroda jarum dibuat dengan panjang = 65 mm, diameter = 15 mm dan panjang ulir = 15 mm.



**Gambar 2.** Elektroda Jarum

Elektroda bola dibuat berdiameter = 80 mm dengan panjang ulir = 40 mm.



**Gambar 3.** Elektroda Bola

Elektroda setengah bola dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 4.** Elektroda Setengah Bola

Elektroda tabung dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 5.** Elektroda Tabung

**c. Sampel Uji**

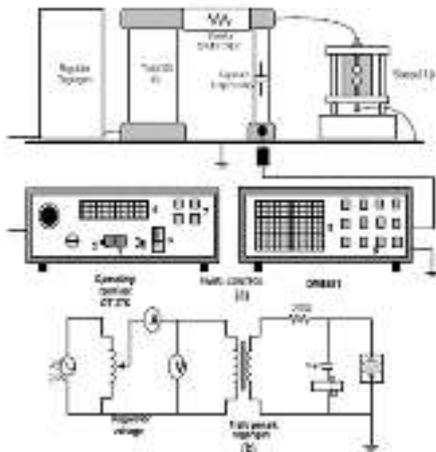
Sampel uji yang digunakan adalah minyak serai yang dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 6.** Sampel Minyak Serai

3.2. Merangkai peralatan

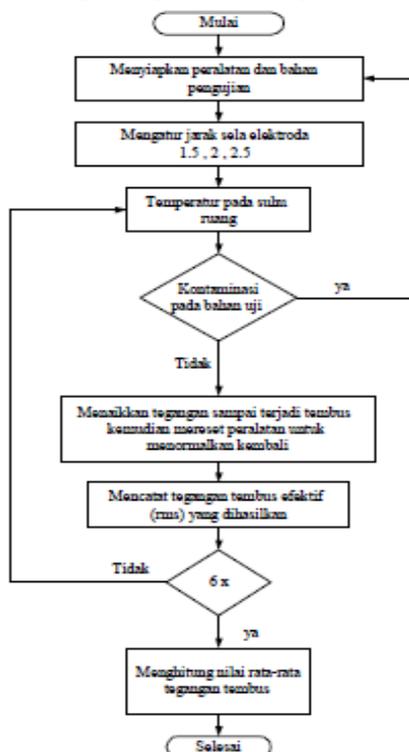
Peralatan yang dibutuhkan adalah: regulator tegangan, trafo daya, kapasitor tegangan tinggi, panel kontrol, resistor, barometer, termometer, jangka sorong, sistem dan tongkat pembumian serta kabel tegangan tinggi. Rangkaian keseluruhan dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 7. Rangkaian Keseluruhan

3.3. Melakukan pengujian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam melakukan pengujian tegangan tembus dapat dilihat pada gambar diagram alir berikut.



Gambar 8. Diagram Alir

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian ini dilakukan sebanyak 6 kali untuk setiap elektroda dan ukuran. Kemudian didapat  $V_s$  dengan  $T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan  $P = 76\text{ cmHg}$ . Dengan menggunakan persamaan (1) diperoleh  $\delta = 0,98$  dan selanjutnya menggunakan persamaan (2) sehingga hasilnya dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 2. Tegangan Tembus Minyak Serai dengan Elektroda Jarum

Is (mA)	s (cm)	Vs (kv)	Vb (kv)	Fenomena yg terjadi
—	1,5	18	17,6	Bunga api kuat
12	2	22,5	22,1	Bunga api kuat
	2,5	27	26,5	Bunga api kuat
	1,5	20	19,6	Bunga api kuat
	2	24,5	24	Bunga api kuat
16	2,5	29,5	28,9	Bunga api kuat

Tabel 3. Tegangan Tembus Minyak Serai dengan Elektroda Bola

Is (mA)	s (cm)	Vs (kv)	Vb (kv)	Fenomena yg terjadi
—	1,5	11	10,8	Suara mendesis
12	2	13,5	12,7	Suara mendesis
	2,5	17	16,7	Suara mendesis
	1,5	13	12,7	Suara mendesis
	2	16,5	16,1	Suara mendesis
16	2,5	20,5	20,1	Suara mendesis

Tabel 4. Tegangan Tembus Minyak Serai dengan Elektroda Setengah Bola

Is (mA)	s (cm)	Vs (kv)	Vb (kv)	Fenomena yg terjadi
—	1,5	12,5	12,2	Busur api lemah.
12	2	16	15,7	Busur api lemah
	2,5	19,5	19,1	Busur api lemah
	1,5	19	18,6	Busur api lemah
	2	22	21,6	Busur api lemah
16	2,5	25,5	25	Busur api lemah

**Tabel 5.** Tegangan Tembus Minyak Serai dengan Elektroda Tabung

Is (mA)	s (cm)	Vs (kv)	Vb (kv)	Fenomena yg terjadi
	1,5	9	8,8	Tidak ada fenomena
12	2	11,5	11,2	Tidak ada fenomena
	2,5	13,5	13,2	Tidak ada fenomena
	1,5	11,5	11,2	Tidak ada fenomena
	2	14	13,7	Tidak ada fenomena
16	2,5	16,5	16,1	Tidak ada fenomena

Dimana :

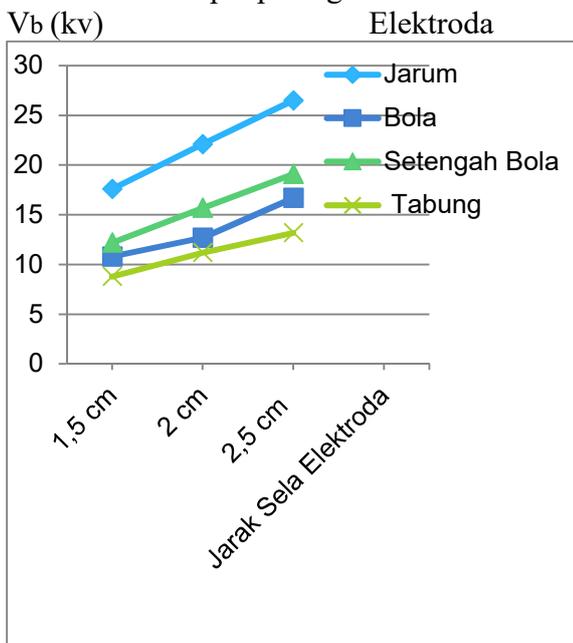
Is = arus sekunder trafo

s = jarak sela elektroda

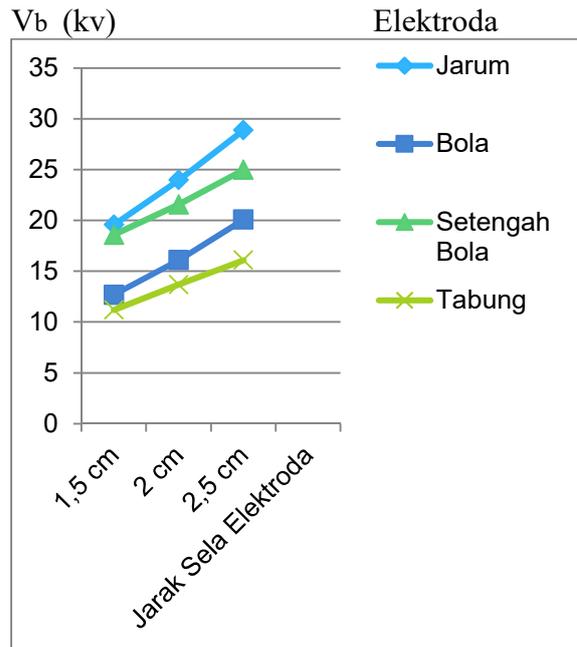
Vs = tegangan tembus pada keadaan normal

Vb = tegangan tembus sebenarnya.

Secara detail dapat pada gambar 9 berikut ini:



**Gambar 9.** Grafik antara Tegangan Tembus dan Jarak Sela Elektroda dengan Is sebesar 12 mA.



**Gambar 10.** Grafik antara Tegangan Tembus dan Jarak Sela Elektroda dengan Is sebesar 16 mA.

Dari grafik, dapat dilihat bahwa semakin besar jarak sela, maka tegangan tembus minyak serai juga akan semakin besar. Jika jarak antara elektroda bidang semakin jauh, maka kuat medan listrik semakin kecil sehingga energi yang dibutuhkan elektron kurang mencukupi untuk melepaskan diri dari ikatannya. Pada jarak sela yang besar akan sulit untuk mencapai terjadinya kegagalan pada minyak serai sehingga nilai tegangan tembus juga semakin besar.

#### 4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil adalah: Nilai tegangan tembus pada minyak serai meningkat seiring dengan bertambahnya arus sekunder transformator dan jarak sela antar elektroda.

Tegangan tembus bolak-balik sebenarnya untuk minyak serai dengan menggunakan elektroda jarum dengan Is sebesar 12 mA pada jarak sela 1,5 cm, 2 cm, 2,5 cm adalah 17,6 kv, 22,1 kv, 26,5 kv, dan pada Is sebesar 16 mA pada jarak yang sama diperoleh tegangan tembus sebenarnya sebesar 19,6 kv, 24,0 kv, 28,9 kv.

Tegangan tembus bolak-balik sebenarnya untuk minyak serai dengan menggunakan elektroda bola dengan Is sebesar 12 mA pada jarak sela 1,5 cm, 2 cm, 2,5 cm adalah 10,8 kv, 12,7 kv, 16,7 kv, dan pada Is sebesar 16 mA pada jarak yang sama tegangan tembus sebenarnya sebesar 12,7 kv, 16,1 kv, 20,1 kv.

Tegangan tembus bolak-balik sebenarnya untuk minyak serai dengan menggunakan elektroda setengah bola dengan Is sebesar 12 mA pada jarak sela 1,5 cm, 2 cm, 2,5 cm adalah 12,7 kv, 15,7 kv, 19,1 kv, dan pada Is sebesar 16 mA pada jarak yang sama tegangan tembus sebenarnya sebesar 18,6 kv, 21,6 kv, 25,0 kv.

Tegangan tembus bolak-balik sebenarnya untuk minyak serai dengan menggunakan elektroda tabung dengan Is sebesar 12 mA pada jarak sela 1,5 cm, 2 cm, 2,5 cm adalah 8,8 kv, 10,8 kv, 13,2 kv, dan pada Is sebesar 16 mA pada jarak yang sama tegangan tembus sebenarnya sebesar 11,2 kv, 13,7 kv, 16,1 kv.

Tegangan tembus bolak-balik pada elektroda jarum lebih besar dari pada elektroda bola, setengah bola dan tabung.

Fenomena pada saat terjadi tegangan tembus adalah muncul busur api dan suara mendesis. Minyak serai tidak dapat digunakan sebagai isolasi cair transformator karena tidak memenuhi besarnya tegangan tembus menurut standard IEC 156.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih disampaikan kepada Tim *Jurnal Inovtek Polbeng* yang telah menerbitkan artikel ini pada e-jurnal Inovtek.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kurrahman. H.T., & Abduh, S., 2016, Studi Tegangan Tembus Minyak Kemiri Sunan Sebagai Alternatif Pengganti Minyak Transformator Daya, Jurnal Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti.
- [2] Purba, Rendy K, 2017, Karakteristik Tegangan Tembus Arus Bolak-Balik Pada

Minyak Jarak Pagar Sebagai Alternatif Isolasi Cair, , Jom F. Teknik, Vol. 4 No. 2, hal. 1-11.

- [3] Sibarani, Marlon Tua Pangihutan, 2018, Pengujian Tegangan Tembus Bolak-Balik Minyak Goreng Berbagai Merk dengan Menggunakan Variasi Bentuk Elektroda, Jurnal Inovtek Polbeng, Vol. 8 No. 2 Nopember 2018, hal.272-278.
- [4] Tobing, Bonggas, L., 2012, Dasar-dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi Edisi Kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [5] Wibowo, W.K., Yuningtyastuti, & Syakur, A., 2008, Analisis Karakteristik Breakdown Voltage Pada Dielektrik Minyak Shell Diala B Pada Suhu 30 o C – 130 o C, Jurnal Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
- [6] Wijaya, I.L., 2009, Karakteristik Korona dan Tegangan Tembus Isolasi Minyak Pada Konfigurasi Elektroda Jarak-Plat, Jurnal Teknik Elektro-FTI, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya