

# PENGUJIAN MINYAK NABATI SEBAGAI BAHAN UNTUK ISOLASI TRAFO 20 KV

Basuki<sup>1</sup>, Muhammad Suyanto<sup>2</sup>, Slamet Hani<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Jurusan Teknik Elektro, FTI Institut Sains dan Teknologi AKPRIND Yogyakarta  
e-mail : basuki940@yahoo.co.id

## **ABSTRACT**

*Isolation is the nature or substance that can separate two electrically conductive to prevent electrical leap. According to the kinds of materials used, insulation materials can be divided into three groups: the isolation of solid, liquid and gas. When the applied voltage reaches a certain height level there will be translucent or breakdown that causes current flow in an insulating material, so that the insulation material fails to perform its function as insulation. Isolation liquid form of oil is widely used as an insulating and cooling medium transformer. Insulation breakdown voltage in liquid resulted from the other forms of electrodes, electrode material, a voltage is applied, the level of impurities and the movement of the liquid insulation. Testing the breakdown voltage of the vegetable oil (virgin coconut, soybean, corn) is intended to determine the feasibility of a liquid insulation. This test uses a pair of hemispherical electrodes - half ball. Testing is done with a few variations of the electrode spacing. The test results of the dielectric breakdown voltage of liquid vegetable oil (virgin coconut, soybean, corn) as a basis for determining the feasibility of vegetable oils as an insulating liquid. From the results of testing, the value of breakdown voltage vegetable oil (virgin coconut, soybean) of 13,1 kV/0.3 cm. This value is not fulfilled IEC standard 60422 is equal to 55 kV/2 mm. From these results it is pure coconut oil can not be used as an alternative to liquid insulating transformer oil replacement, if only the views of the value of breakdown voltage.*

**Keywords:** *Liquid insulation, Voltage translucent, Vegetable oil*

## **INTISARI**

Isolasi adalah sifat atau bahan yang dapat memisahkan secara elektrik dua buah penghantar agar tidak terjadi lompatan listrik. Menurut macam bahan yang dipakai, bahan isolasi dapat dibagi menjadi tiga golongan: yaitu isolasi padat, cair dan gas. Apabila tegangan yang diterapkan mencapai tingkat ketinggian tertentu maka akan terjadi tembus atau *breakdown* yang menyebabkan aliran arus dalam bahan isolasi, sehingga bahan isolasi tersebut gagal melaksanakan fungsinya sebagai isolasi. Isolasi cair berupa minyak banyak digunakan sebagai media isolasi dan pendingin trafo. Tegangan tembus pada isolasi cair dipengaruhi beberapa hal antara lain bentuk elektroda, bahan elektroda, tegangan yang diterapkan, tingkat ketidakmurnian dan pergerakan dalam isolasi cair. Pengujian tegangan tembus terhadap minyak nabati (kelapa murni, kedelai, jagung) dimaksudkan untuk mengetahui kelayakan sebagai isolasi cair. Pengujian ini menggunakan sepasang elektroda setengah bola - setengah bola. Pengujian dilakukan dengan beberapa variasi jarak elektroda. Hasil pengujian tegangan tembus terhadap dielektrik cair minyak nabati (kelapa murni, kedelai, jagung) dijadikan dasar untuk menentukan kelayakan minyak nabati sebagai isolasi cair. Dari hasil Pengujian, nilai tegangan tembus minyak nabati (kelapa murni, kedelai, jagung) sebesar 13,1 kV/0,3 cm. Nilai ini belum memenuhi standar IEC 60422 yaitu sebesar 55 kV/2 mm. Dari hasil tersebut maka minyak kelapa murni belum bisa dijadikan sebagai alternatif isolasi cair pengganti minyak trafo, jika hanya dilihat dari nilai tegangan tembusnya.

**Kata kunci:** Isolasi Cair, Tegangan Tembus, Minyak nabati .

## **PENDAHULUAN**

Saat sekarang ini kebutuhan akan bahan isolasi semakin meningkat, khususnya bidang industri yang sangat memerlukan isolasi

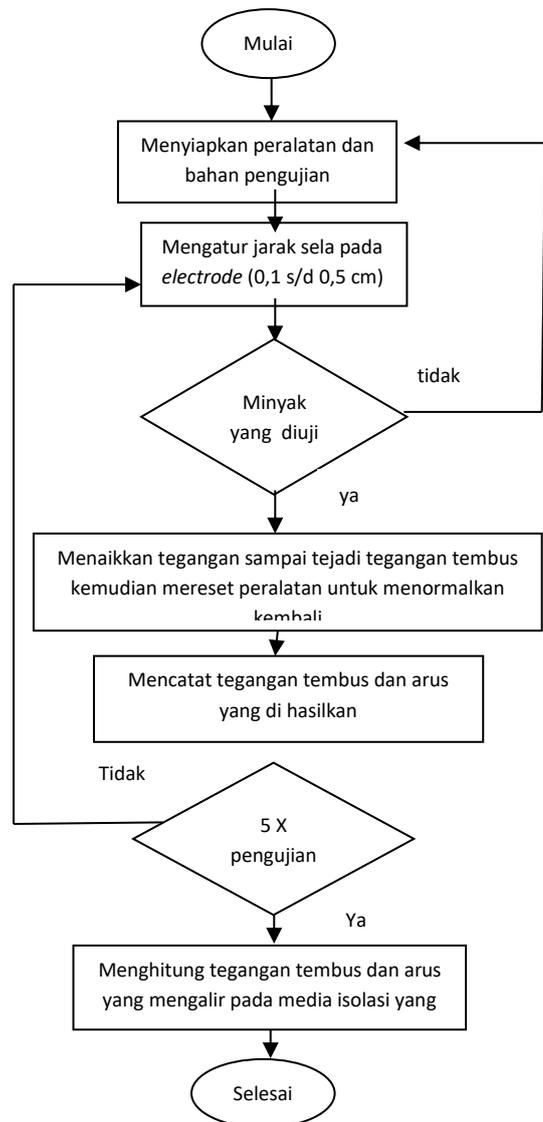
sebagai pengaman listrik tegangan tinggi. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan bahan isolasi sebagai bahan pengaman pada tegangan tinggi tersebut, maka mulai bermunculan ide-ide baru sebagai alternatif

sebagai bahan isolasi khususnya pada bahan isolasi bahan cair. Ide-ide baru yang muncul diharapkan mampu menjawab kebutuhan akan bahan isolasi yang diinginkan. Dalam menentukan standart isolasi yang digunakan diharapkan mampu mendekati nilai yang telah ditetapkan oleh standart yang ada yaitu yang digunakan standart IEC 60422. Masalah yang paling sering dihadapi dalam teknik tegangan tinggi adalah mengenai kegagalan isolasi. Minyak transformator yang masih baik akan sangat mempengaruhi kesinambungan penyaluran listrik dalam jaringan listrik kekonsumen [1]. Kegagalan pada minyak transformator mengakibatkan terjadinya tegangan tembus, hal ini terjadi karena minyak transformator sudah tidak mampu lagi untuk menahan tegangan tinggi yang melaluinya. Agar tidak terjadi kegagalan minyak tranformator pada saat sedang bekerja maka perlu diketahui terlebih dahulu kemampuan kerja dari minyak transformator. Untuk mengetahuinya maka perlu dilakukan pengujian tegangan tembus pada minyak transformator. Untuk membangkitkan tegangan tinggi AC pada pengujian dilaboratorium diperlukan trafo uji yang berfungsi untuk mengubah tegangan rendah menjadi tegangan tinggi. Trafo uji biasanya berupa trafo satu fasa karena pengujian. biasanya dilakukan untuk setiap fasa dan setiap kali yang diuji hanyalah satu fasa yang diperlukan. Setiap kekuatan 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" Sehingga bisa disimpulkan bahwa kekuatan dielektrik adalah terpaan listrik tertinggi yang dapat dipikul suatu dielektrik tanpa menimbulkan dielektrik tersebut tembus listrik. Sedangkan tegangan tembus adalah besarnya tegangan yang menimbulkan terpaan listrik pada dielektrik sama dengan atau lebih besar daripada kekuatan dielektriknya [2].

#### METODE PENELITIAN

Proses pengujian tegangan tembus ini memerlukan langkah-langkah dalam pengambilan data. Adapun langkah-langkah

yang di lakukan dalam melakukan pengujian tegangan tembus adalah sebagai berikut:



Gambar 1 Diagram alur pengujian tegangan tembus minyak

#### Jenis Isolasi Cair

Isolasi cair pada peralatan tegangan tinggi digunakan untuk memisahkan dua atau lebih penghantar listrik yang bertegangan sehingga antara penghantar-penghantar tersebut tidak terjadi lompatan listrik atau percikan. Pada pengujian dengan bahan isolasi yaitu minyak jarak maka seiring kenaikan jarak sela antar elektroda nilai tegangan tembus menjadi semakin besar, demikian halnya dengan bertambahnya diameter elektroda menghasilkan tegangan tembus yang semakin besar pula sedangkan pada

pengujian posisi elektroda tidak terdapat pengaruh yang kentara pada tegangan tembusnya anantara pengujian horizontal maupun vertikal [3].

Ada berbagai jenis isolasi cair diantaranya :

a. Minyak Organik

Kelompok minyak organik meliputi minyak sayur, minyak damar, dan ester. Jenis minyak ini mulai banyak dipakai sebagai bahan isolasi pada akhir abad ke-19, terlebih dengan semakin menipisnya cadangan mineral tak terbaharukan dan masih kecilnya pemakaian minyak sintetik membuat minyak organik mendapatkan perhatian lebih.

b. Minyak Mineral

Minyak mineral diketahui berisi berbagai jenis molekul dan secara luas dapat digolongkan kedalam jenis yang mengandung malam (*paraffin*) dengan rumus kimianya  $C_nH_{2n+2}$ , *naphthenic* ( $C_nH_{2n}$ ), aromatis ( $C_nH_n$ ) atau kelompok molekul tingkat menengah lainnya.

c. Minyak Sintetis

Minyak jenis ini merupakan hasil pengembangan pada bidang industri kimia. Kelebihan utamanya adalah bersifat tidak mudah terbakar. Contoh minyak sintetis diantaranya adalah askarel dan silikon.

gagal. Kegagalan isolasi juga dapat diakibatkan oleh arus tinggi yang terus-menerus yang mengalir pada konduktor yang akan menimbulkan *temperature* konduktor tersebut naik. Jika pemanasan ini terjadi kontinyu dan minyak isolasi tidak bersirkulasi maka tekanan panas terus meningkat menuju titik nyala minyak isolasi tersebut. Akibat lain dari kegagalan isolasi cair adalah adanya *partial discharge* yang terjadi pada minyak isolasi pada bushing yang terus menerus dan penurunan daya isolasi akibat oleh umur minyak isolasi tersebut akibatnya akan mengakibatkan dekomposisi. Pada bagian bawah bushing transformator tenaga terdapat mantel berisolasi yang merupakan bahan isolasi padat. Jika campuran *dielektrik* zat cair-padat memiliki kekuatan gagal yang berbeda beda maka jika tegangan listrik dinaikkan akan terjadi kegagalan pada zat yang paling lemah. Hal ini dapat mengakibatkan kegagalan parsial (*partial discharge*). Pelepasan ini mengakibatkan pemburukan perlahan lahan karena:

a. *Disintegrasi dielektrik* padat yang diakibatkan pemboman oleh *electron* dan ion yang dihasilkan.

b. Aksi kimiawi pada *dielektrik* karena *ionisasi* gas.

c. Suhu tinggi di daerah pelepasan.

Pemburukan elektro-kimiawi terjadi karena *ion-ion* yang dibebaskan oleh arus pada elektroda bisa menyebabkan kerusakan. Derajat kerusakan yang terjadi tergantung pada sifat *ion* yang terbawa dan reaksi kimia dengan *ionisasi*.

### **Mekanisme Pengujian Kegagalan Isolasi**

Kegagalan isolasi disebabkan karena beberapa hal antara lain isolasi tersebut sudah lama dipakai, berkurangnya kekuatan dielektrik dan karena isolasi tersebut dikenakan tegangan lebih [4]. Pada prinsipnya tegangan pada isolator merupakan suatu tarikan atau tekanan (*stress*) yang harus dilawan oleh gaya dalam isolator itu sendiri agar supaya isolator tidak gagal. Dalam struktur molekul material isolasi, elektron-elektron terikat erat pada molekulnya dan ikatan ini mengadakan perlawanan terhadap tekanan yang disebabkan oleh adanya tegangan. Bila ikatan ini putus pada suatu tempat maka sifat isolasi pada tempat itu hilang. Bila pada bahan isolasi tersebut diberikan tegangan akan terjadi perpindahan elektron-elektron dari suatu molekul ke molekul lainnya sehingga timbul arus konduksi atau arus bocor. Karakteristik isolator akan berubah bila material tersebut termasuk suatu ketidakmurnian (*impurity*) seperti adanya arang atau kelembaban dalam isolasi yang dapat menurunkan tegangan

### **Mekanisme Kegagalan Bahan Isolasi cair**

Mekanisme kegagalan pada bahan isolasi padat meliputi kegagalan asasi (*intrinsik*), elektro mekanik, *streamer*, *thermal* dan kegagalan erosi. Kegagalan pada bahan isolasi cair disebabkan oleh adanya *kavitasi* yaitu adanya butiran pada zat cair dan tercampurnya bahan isolasi cair. Pada bahan isolasi gas mekanisme *townsend* dan mekanisme *streamer* merupakan penyebab kegagalan. Dari uraian di atas menunjukkan bahwa kegagalan isolasi ini berkaitan dengan adanya *partial discharge*. Mekanisme kegagalan bahan isolasi padat terdiri dari beberapa jenis sesuai fungsi waktu penerapan tegangannya.

Gambar 3 Rangkaian peralatan pengujian

**Elektroda Uji**

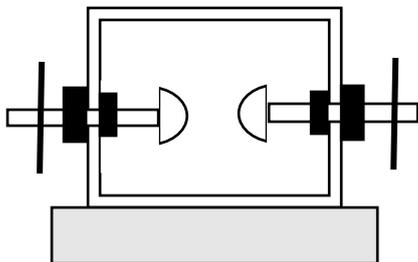
Elektroda untuk pengujian dibuat dari bahan kuningan yang berupa elektroda setengah bola.

**Elektroda setengah bola**

Elektroda yang digunakan dalam penelitian mempunyai diameter 0,1 sampai 0,5 mm dengan elektroda setengah bola dengan diameter 35 mm yang sesuai dengan standar IEC 156. [5]

**Kotak Uji**

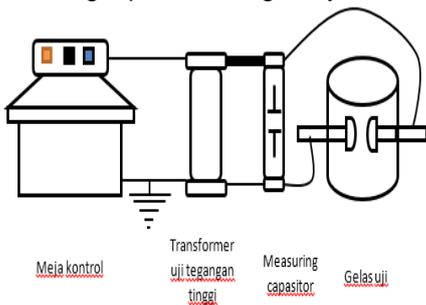
Kotak uji adalah sebagai sebuah sistem yang berkaitan dengan kerja tertentu dalam ruang dan keseluruhan ruang yang ditutupi oleh lapisan permukaan sebagai pembatas sistem. Kotak uji terbuat dari bahan plastik *acrylic*. Kotak uji mempunyai dimensi luar yaitu untuk posisi horisontal dengan panjang 100 mm, lebar 100 mm dan tinggi 80 mm. Kotak uji digunakan untuk meletakkan elektroda uji dan sebagai wadah isolasi cair yang dimasukkan dalam sistem untuk pengujian tegangan tembus.



Gambar 2 Kotak uji horizontal

**Rangkaian Pengujian**

Rangkaian pembangkitan AC seperti pada Gambar (3) adalah rangkaian yang digunakan untuk melakukan pengujian tegangan tembus minyak isolasi berupa minyak nabati (minyak kelapa, minyak kedelai dan minyak jagung serta sebagai pembanding minyak diala B)



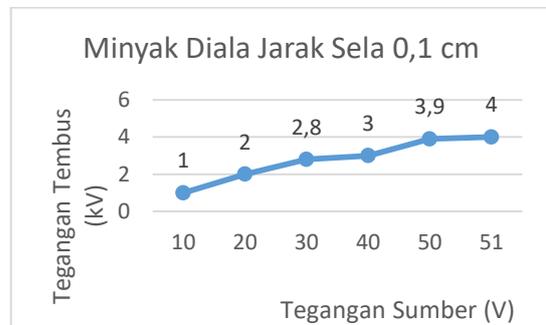
**PEMBAHASAN**

**Hasil Pengujian**

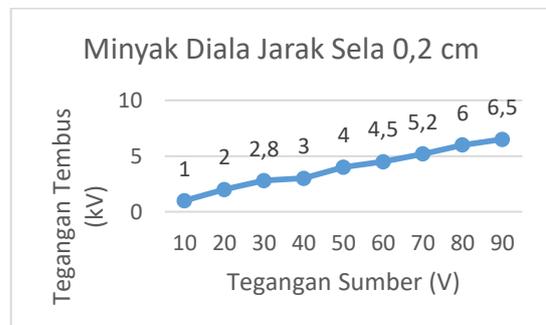
Tabel 1 Data pengujian tegangan tembus

| Jenis Minyak        | Elektroda | Ø Elektroda (mm) | Tegangan Tembus |        |         |
|---------------------|-----------|------------------|-----------------|--------|---------|
|                     |           |                  | Jarak Sela (cm) |        |         |
|                     |           |                  | 0,1             | 0,2    | 0,3     |
| Minyak Kelapa Murni | ½ Bola    | 35               | 4,9 kV          | 7,7 kV | 13,1 kV |
| Minyak Jagung       | ½ Bola    | 35               | 5,4 kV          | 8,1 kV | 12,8 kV |
| Minyak Kedelai      | ½ Bola    | 35               | 5,7 kV          | 7,7 kV | 12,8 kV |
| Minyak Diala        | ½ Bola    | 35               | 4,1 kV          | 6,3 kV | 8,1 kV  |

**Hasil Analisis**



Gambar 4 Tegangan tembus minyak diala dengan sela gap 0,1 cm

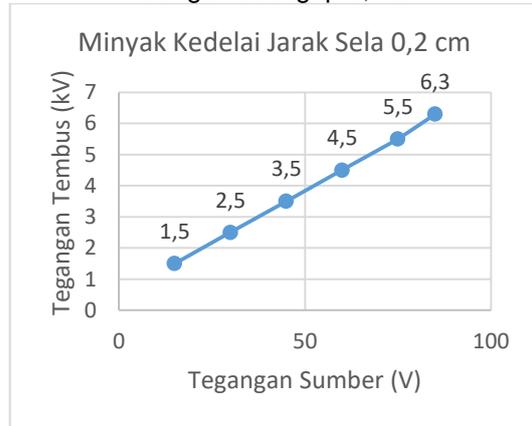


Gambar 5 Tegangan tembus minyak diala dengan sela gap 0,2 cm

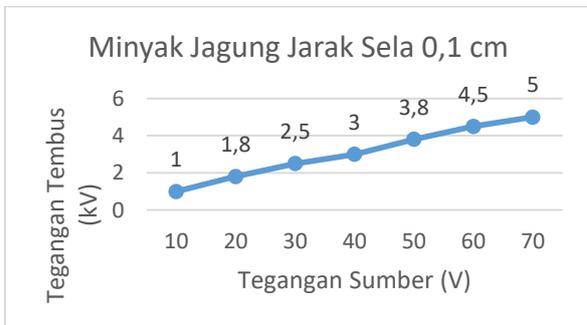


Gambar 6 Tegangan tembus minyak diala dengan sela gap 0,3 cm

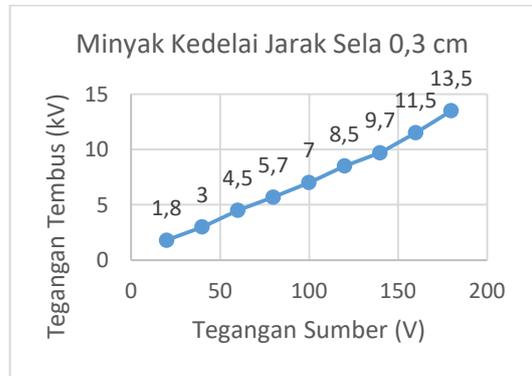
Gambar 9 Tegangan tembus minyak kedelai dengan sela gap 0,1 cm



Gambar 10 Tegangan tembus minyak kedelai dengan sela gap 0,2 cm



Gambar 7 Tegangan tembus minyak jagung dengan sela gap 0,1 cm.



Gambar 11 Tegangan tembus minyak kedelai dengan sela gap 0,3 cm



Gambar 8 Tegangan tembus minyak jagung dengan sela gap 0,2 cm



Gambar 12 Tegangan tembus minyak kelapa murni dengan sela gap 0,1 cm





Gambar 13 Tegangan tembus minyak kelapa murni dengan sela gap 0,2 cm



Gambar 14 Tegangan tembus minyak kelapa murni dengan sela gap 0,3 cm

Berdasarkan grafik pada masing-masing gambar dapat diketahui bahwa hasil pengujian tegangan tembus pada posisi elektroda setengah bola, jarak elektroda mempengaruhi nilai tegangan tembus pada minyak kelapa murni. 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. Maka pada jarak sela yang besar akan sulit untuk mencapai terjadinya kegagalan pada minyak kelapa murni, sehingga nilai tegangan tembus juga semakin besar. Berdasarkan rumus hubungan tegangan tembus dengan jarak sela yaitu  $V_b = A \cdot d \cdot n$ . Nilai tegangan tembus berbanding lurus terhadap jarak sela, sehingga dengan bertambahnya jarak sela antara kedua elektroda bertambah besar pula nilai tegangan tembusnya begitu juga sebaliknya tegangan tembus akan semakin kecil dengan berkurangnya jarak sela antara kedua elektroda

### Analisis Pengaruh Diameter Elektroda

Berdasarkan grafik pada masing-masing gambar diatas dapat diketahui menunjukkan bahwa pada jarak sela yang sama, nilai tegangan tembus pada minyak kelapa murni semakin besar seiring dengan bertambah besarnya diameter elektroda yang digunakan. Hal tersebut diatas terjadi karena elektroda berdiameter besar lebih sulit untuk melepaskan elektron. Energi yang besar dibutuhkan untuk proses terjadinya pelepasan elektron. Maka semakin besar diameter elektroda, semakin besar pula energi yang dibutuhkan untuk proses pelepasan elektron. Energi besar tersebut diperoleh dari tegangan AC yang terus dinaikkan sampai energi yang dihasilkan mampu untuk membuat elektron terlepas dari molekul-molekul dari minyak kelapa murni sebagai proses awal terjadinya kegagalan.

### Fenomena yang Terjadi pada Pengujian Tegangan Tembus Minyak Kelapa Murni, Minyak Jagung dan Minyak Kedelai

Proses sebelum terjadi tembus dimulai dari menaikkan tegangan uji secara bertahap, dalam kondisi mendekati nilai tegangan tembus timbul suara mendesis. Hal ini terjadi karena adanya tekanan yang terus-menerus dan semakin besar pada minyak kelapa murni.

Pada kondisi saat terjadi tegangan tembus timbul suara ledakan dan kilatan cahaya cerah. Fenomena ini lebih disebabkan karena terjadi tumbukan elektron dan tekanan impulsif (semakin besar secara tiba-tiba) pada minyak isolasi.

Dalam kondisi sesudah terjadi tegangan tembus timbul gelembung gas dan kabut hitam (arang) pada minyak kelapa murni, minyak jagung dan minyak kedelai. Hal ini menurut Arismunandar disebabkan oleh :

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

## KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran tegangan tembus minyak kelapa murni (*virgin coconut oil*) menggunakan variasi elektroda setengah bola dan bidang dalam posisi horisontal pada temperatur suhu ruang 26°C-30°C dengan kelembaban relatif (RH) sebesar 60% dan tekanan atmosfer 991 *mmHg*, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Nilai tegangan tembus pada minyak nabati cenderung meningkat sebesar 2 kV-5,4 kV seiring dengan bertambahnya jarak sela sebesar 0,1 cm antar elektroda.
2. Pada saat sebelum mengalami tembus listrik, fenomena yang terjadi berupa suara mendesis akibat tekanan karena tumbukan elektron. Fenomena saat terjadi tembus listrik muncul kilatan cahaya dan gelembung gas yang naik ke atas, kemudian setelah terjadi tembus listrik timbul kabut hitam (arang) diantara sela elektroda.
3. Semakin lebar jarak sela uji maka nilai tegangan tembus semakin lambat.
4. Nilai tegangan tembus minyak nabati pada pengujian kondisi standar dilaboratorium tegangan tinggi menurut IEC 60422, belum memenuhi persyaratan sebesar 41,9 kV jika digunakan sebagai isolasi cair. Dikarenakan dalam IEC 60422 tegangan tembus yang dihasilkan adalah >55 kV.
5. Minyak nabati ini dapat dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan hasil minyak isolasi cair yang lebih baik lagi guna untuk digunakan sebagai alternatif minyak isolasi cair pada transformator.
6. Jika hanya dilihat dari nilai tegangan tembusnya sebesar 4,9 kV, 7,7 kV, 13.1 kV pada jarak sela 0,1 cm, 0.2 cm, 0.3 cm, minyak kelapa murni (*virgin coconut oil*) dapat digunakan sebagai isolasi minyak trafo pada tegangan kerja 2,4 kV

## Saran

Saran yang dapat dikemukakan bagi para pembaca dan peminat dalam bidang isolasi cair yang berupa minyak nabati, dapat meneruskan penelitian ini guna mendapatkan minyak isolasi nabati sesuai standart yang digunakan pada transformator dan juga dapat

menggunakan dengan berbagai jenis minyak nabati lainnya, dan dengan penerapan tegangan searah maupun tegangan impuls.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]Junaidi Alfian, 2008, "Pengaruh Perubahan Suhu Terhadap Tegangan Tembus Pada Bahan Isolasi Cair", Jurnal Teknik Elektro Universitas Tridharma Balikpapan.
- [2]Abdul Rajab dkk, 2011, *A Comparison of Dielectric Properties of Palm Oil with Mineral and Synthetic Types Insulating Liquid Under Temperature Variation*,ITB Journal of Engineering Science,43,189-206
- [3]Krismiandaru Elia dkk, 2009, "Uji Tegangan Tembus Arus Bolak Balik Pada Minyak Jarak Sebagai Alternatif Isolasi Cair", Universitas Diponegoro Semarang.
- [4]Abduh, Syamsir, 2003, *Teori Kegagalan Isolasi*, Universitas Trisakti, Jakarta
- [5]Baktiman, Philemon, 2005, 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.
- [6]Budiyantoro Eko dkk, 2010, "Analisis Tegangan Tembus Minyak Kelapa Murni Sebagai Isolasi Cair Dengan Variasi Elektroda Uji", Universitas Diponegoro Semarang.