

# Karakteristik Tegangan Tembus Arus Bolak Balik Pada Minyak Jarak Pagar (*Jatropha curcas*) Sebagai Alternatif Isolasi Cair

Rendy Kamerlisa Putra<sup>[1]</sup>, Fri Murdiya<sup>[2]</sup>

<sup>[1]</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro S1, <sup>[2]</sup>Dosen Teknik Elektro  
Laboratorium Teknik Elektro Universitas Riau  
Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik, Universitas Riau  
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru 28293  
Email: [rendykamerlisa@gmail.com](mailto:rendykamerlisa@gmail.com)

## ABSTRACT

*Oil insulation generally use mineral oil because it has good heat absorption and dielectric characteristics as an insulator. Because of mineral oil is less friendly environmental, so important to find a solution to overcome them. This research aims to determine the feasibility of *Jatropha curcas* oil as an alternative oil insulation. This study has used variations of gap and water content to determine the effect on the breakdown voltage. The test result of the breakdown voltage of *Jatropha curcas* oil is compared to the breakdown voltage of the Shell Diala S2 ZU-1 oil. Furthermore the final result is found that the average of the breakdown voltage of *Jatropha curcas* is higher than Shell Diala S2 ZU-1 oil. The end of this study has achieved average values of breakdown voltage with lesser water concentration i.e. 2,17 %, 1,96%, 1,86%, etc. Prerequisites of the oil insulation must be agreed with the following standards i.e SPLN 49-91: 1982 and IEC 60296-2003. It's explained that water concentration must fulfilled less than 3% (30 mg/kg). In this research *Jatropha curcas* oil have water concentration which complied to IEC 60296-2003 standard. SPLN 49-91: 1982 has declared that oil insulation must require the value of flash point  $\geq 140^{\circ}\text{C}$ , viscosity  $\leq 40$  cSt, pour point  $\leq -30^{\circ}\text{C}$ , and density  $\geq 0,859$  gr/cm<sup>3</sup>. The result from this research should be fulfilled the characteristic of breakdown voltage, flash point and water concentration that *Jatropha curcas* oil.*

**Keywords:** *Oil insulation, breakdown voltage, jatropha oil.*

## 1. PENDAHULUAN

Masyarakat moderen saat ini sangat membutuhkan energi listrik sebagai sarana mempermudah manusia dalam melakukan berbagai pekerjaan, karena sebagian besar aktivitas kehidupan manusia berhubungan dengan listrik. Listrik memegang peranan yang sangat penting dalam kehidupan. Dalam setiap kegiatan baik di rumah tangga maupun industri listrik telah menjadi sumber energi utama. Jenis penyaluran energi listrik di Indonesia berdasarkan besar tegangannya

antara lain : Tegangan ekstra tinggi (>150 kV), tegangan tinggi (20-150 kV), tegangan menengah (380 V-20 kV) dan tegangan rendah (< 380 V). Salah satu peralatan tegangan tinggi yang sangat penting adalah transformator. Pada transformator, untuk memisahkan penghantar-penghantar yang bertegangan digunakan suatu bahan isolasi yaitu minyak trafo atau minyak mineral. Isolasi minyak merupakan bagian yang penting untuk memisahkan dua atau lebih penghantar listrik yang bertegangan, sehingga antar penghantar yang bertegangan

tersebut tidak terjadi hubung singkat yang dapat menyebabkan lompatan api atau percikan [15].

Berdasarkan data yang diperoleh dari Kementerian ESDM RI, bahwa cadangan minyak di Indonesia dari tahun 2009 sampai tahun 2016 selalu mengalami penurunan [3]. Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengurangi penggunaan minyak mineral, dimana ketersediaannya terbatas, tidak terbarukan juga memiliki kelemahan diantaranya tidak terdegradasi sehingga dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi penggunaan minyak mineral adalah dengan mencari alternatif pengganti isolasi cair menggunakan minyak nabati.

Selama lebih dari seratus tahun minyak bumi digunakan sebagai bahan isolasi trafo. Berdasarkan trend dunia sekarang menuntut suatu produk yang aman dan ramah lingkungan, minyak trafo dirasa kurang aman dan kurang ramah lingkungan terutama yang berasal dari minyak bumi. Ada dua alasan yang harus dipertimbangkan dalam rangka mencari minyak trafo yang aman dan ramah lingkungan, pertama isolasi cair yang berasal dari minyak bumi sulit terdegradasi, sedangkan minyak nabati dapat terdegradasi secara sempurna. Kedua produk minyak bumi sewaktu-waktu dapat habis dan dibutuhkan waktu yang lama untuk mendapatkannya lagi, sedangkan minyak nabati persediaannya melimpah [6].

Minyak nabati umumnya memiliki memiliki viskositas yang tinggi dan meski stabilitas oksidasi yang rendah, dan memiliki sifat lubrisitas yang bagus. Oleh karena itu minyak nabati dapat digunakan untuk mensubstitusi penggunaan minyak mineral sebagai isolasi dan pendingin. Beberapa minyak nabati yang banyak terdapat di Indonesia dan dapat digunakan sebagai isolasi diantaranya adalah minyak sawit, minyak kelapa, minyak nyamplung, minyak jarak pagar.

Tanaman jarak pagar merupakan tanaman yang memiliki potensial tinggi untuk

dikembangkan di Indonesia. Ketersediaan lahan untuk pengembangan jarak pagar di Indonesia yang sangat sesuai mencapai 14,2 juta hektar (ha) dengan ketersediaan saat ini sekitar 5 juta ha. Dalam rangka mendukung penyediaan benih unggul untuk pengembangan jarak pagar seluas 2,4 juta ha tahun 2025, telah diperoleh tanaman superior dari aksesi-aksesi yang dikoleksi. Budidaya tanaman jarak pagar relatif masih baru dan teknologi budidayanya terus dikembangkan seperti halnya, komponen teknologi pengendalian hama dan penyakit, polatanam, pemupukan serta teknologi pengolahannya. Saat ini total produksi biji jarak seluruh Indonesia sebesar 7.852 ton pada tahun 2007 dari luas areal 68.200 ha, meningkat menjadi 7.925 ton tahun 2008 dari areal 69.221 ha dan tahun 2009 menjadi 8.013 dari luas areal 69.315 ha [11].

Berdasarkan dari uraian diatas maka dilakukan pengujian mengenai minyak jarak pagar (*Jatropha curcas*) dengan pengukuran tegangan tembusnya yang akan dibandingkan dengan hasil uji tegangan tembus minyak trafo untuk mengetahui kelayakan minyak jarak pagar sebagai alternatif isolasi cair.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pembangkitan Tegangan Tinggi AC (*Alternating Current*)

Tegangan tinggi ac diperlukan untuk pengujian ketahanan peralatan-peralatan sistem tenaga listrik terhadap tegangan tinggi ac. Untuk membangkitkan tegangan tinggi ac pada pengujian laboratorium 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. Selain untuk pembangkitan tinggi ac, trafo uji juga dibutuhkan

untuk pembangkitan tegangan tinggi dc dan pembangkitan tinggi impuls [12].

## 2.2 Dielektrik Cair

Kekuatan dielektrik merupakan ukuran kemampuan suatu material untuk bisa menahan tegangan tinggi tanpa berakibat terjadinya kegagalan dielektrik. Kekuatan dielektrik cair tergantung pada sifat atom dan molekul cairan itu sendiri, material dari elektroda, suhu, jenis tegangan yang diberikan, gas yang terdapat dalam cairan, dan sebagainya yang dapat merubah sifat molekul cairan. Dalam isolasi cair kekuatan dielektrik setara dengan tegangan yang terjadi. Menurut hukum Paschen's, kekuatan dielektrik cair berkisar antara  $10^7$  V/cm. Dielektrik cair akan mengisi volume ruang yang harus diisolasi dan secara simultan akan mendisipasikan panas yang timbul secara konveksi. Kelebihan lain dari dielektrik cair murni yaitu mempunyai kemampuan untuk memperbaiki diri sendiri jika terjadi suatu pelepasan muatan (*discharge*). Salah satu kekurangan dielektrik cair yaitu mudah terkontaminasi [15].

Pada dasarnya dielektrik cair harus memiliki sifat dielektrik yang baik, mempunyai karakteristik perpindahan panas yang bagus dan memiliki struktur kimia yang stabil saat pengoperasian [16].

### 2.2.1 Sifat-Sifat Fisika Isolator Minyak

#### A. Massa Jenis (*Specific Mass*)

Massa jenis adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin tinggi pula massa setiap volumenya. Massa jenis isolator minyak mineral ini lebih kecil dibanding air.

#### B. Kekentalan (*Viscosity*)

Viskositas merupakan tahanan dari cairan untuk mengalir secara kontinu dan merata. Viskositas minyak diukur dari waktu mengalir minyak dengan volume tertentu dan pada kondisi yang diatur. Sebagai media pendingin maka

viskositas minyak merupakan faktor penting dalam aliran konveksi untuk memindah panas. Semakin rendah nilai viskositas dari suatu minyak isolasi, maka semakin bagus untuk menghantar panas sebagai media pendingin dalam transformator.

#### C. Titik Nyala (*Flash Point*)

Titik nyala suatu minyak merupakan pernyataan dimana minyak dapat dipanaskan pada kondisi tertentu sebelum uap yang dihasilkan menjadi api. Semakin tinggi titik nyala suatu minyak isolasi maka semakin baik minyak tersebut untuk dijadikan isolasi.

#### D. Titik Tuang (*Pour Point*)

Titik tuang adalah temperatur dimana minyak baru saja mengalir ketika didinginkan dibawah kecepatan perubahan suhu. Titik tuang juga berarti suhu terendah minyak masih bisa mengalir. Semakin rendah nilai titik tuang suatu isolasi minyak maka semakin bagus kualitas minyak tersebut untuk dijadikan sebagai isolator cair.

### 2.2.2 Sifat Kimia Isolator Minyak

Minyak transformator diperoleh dengan mengolah minyak bumi. Minyak bumi memiliki komposisi kimia yang berbeda-beda sesuai dengan sumbernya sehingga minyak transformator juga akan memiliki komposisi kimia yang berbeda-beda pula. Struktur kimia minyak transformator sangat kompleks sehingga sangat sukar untuk mengetahui sifat dan jumlah unsur-unsur kimia yang terkandung didalamnya. Pada umumnya minyak transformator tersusun atas senyawa-senyawa hidrokarbon dan non hidrokarbon [7].

#### A. Kandungan Asam

Kandungan asam (Bilangan asam) adalah jumlah miligram *Potassium Hydroxide* (KOH) yang dibutuhkan untuk menitrasi semua unsur-unsur asam yang ada pada 1 gram sampel minyak. Proses oksidasi pada cairan minyak isolasi transformator akan menghasilkan produk-produk dari senyawa asam. Pengukuran berkala keasaman

memberikan sebuah cara untuk memonitoring perkembangan oksidasi. Pembentukan endapan pada transformator yang merupakan hasil akhir dari proses oksidasi sebelumnya didahului oleh penambahan jumlah kandungan asam.

#### B. Kandungan Gas

Adanya gas terlarut pada minyak di dalam transformator sudah ada sejak minyak masih baru, ada beberapa hal yang mempengaruhi volume gas di dalam minyak salah satunya terjadi karena adanya perubahan suhu, pada temperatur tinggi di dalam minyak trafo, gasgas tersebut akan mudah terbakar, pada suhu yang tinggi, akibat rugi-rugi yang terjadi didalam transformator. Akibat dari kandungan gas di dalam minyak trafo meningkat sampai menyebabkan kegagalan isolasi.

#### C. Kandungan Air

Adanya air dalam minyak transformator dapat membahayakan transformator. Kandungan air dan oksigen yang tinggi akan mengakibatkan korosi, menghasilkan asam, endapan dan cepat menurunkan usia transformator. Kandungan air dalam transformator dapat berasal dari udara saat transformator dibuka untuk keperluan inspeksi dan apabila terjadi kebocoran maka uap air akan masuk ke dalam transformator karena perbedaan tekanan parsial uap air.

### 2.2.3 Sifat Listrik Isolator Minyak

#### A. Tegangan Tembus (*Breakdown Voltage*)

Tegangan tembus adalah tegangan dalam kV yang diperlukan untuk menembus lapisan minyak setebal 1 cm diantara 2 buah elektroda dan dinyatakan dalam kV/cm dalam kondisi suhu kamar. Tegangan tembus yang rendah menunjukkan adanya kontaminasi seperti air, kotoran atau partikel yang tidak dikehendaki.

#### B. Tahanan jenis (*Resistivity*)

Nilai tahanan jenis yang tinggi menunjukkan minyak tidak mengandung bahan-bahan yang bersifat penghantar listrik. Tahanan jenis dari minyak isolasi berhubungan langsung dengan

bahan isolasi dari trafo. Bila suhu kerja trafo mengalami kenaikan maka tahanan jenis isolasi minyak akan turun dan juga berhubungan dengan kadar asam, bilamana kadar asam semakin rendah maka tahanan jenis isolasi minyak akan semakin besar.

#### C. Faktor Kebocoran Dielektrik (*Dielectric Dissipation Factor*)

Faktor kebocoran dielektrik ( $\tan \delta$ ). Karakteristik  $\tan \delta$  merupakan alat yang berharga untuk mengevaluasi efisiensi dielektrik dan cukup peka untuk mendeteksi serta menilai kerusakan dielektrik karena telah dipergunakan untuk waktu yang lama.

### 2.3 Minyak Mineral Trafo

Minyak transformator mineral adalah minyak yang berbahan dasar dari pengolahan minyak bumi yaitu antara fraksi minyak diesel dan turbin yang mempunyai struktur kimia yang sangat kompleks. Minyak isolasi hasil distilasi ini masih harus dimodifikasi agar tahanan isolasinya tinggi, stabilitas panasnya baik, serta memenuhi syarat-syarat teknis lainnya. Selain pada transformator daya minyak isolasi bahan mineral ini banyak digunakan pada pemutus tenaga (CB), dan kapasitor, dimana selain berfungsi sebagai bahan dielektrik dan sebagai pendingin [9].

Minyak trafo sering digunakan dalam peralatan tegangan tinggi. Minyak trafo hampir tidak berwarna yang tersusun dari senyawa hidrokarbon yang terdiri dari *paraffin*, *iso-paraffin*, *naphthalene* dan *aromatic*. Ketika diaplikasikan untuk jangka waktu tertentu, minyak trafo difungsikan untuk mengalirkan panas dan pada suhu 95°C akan mengakibatkan proses penuaan pada minyak serta mengakibatkan warna minyak akan menjadi lebih gelap karena adanya zat pengotor dan resin atau lumpur pada minyak. Beberapa pengotor mempunyai sifat korosif terhadap material isolasi padat dan bagian-bagian konduktor pada trafo. Lumpur yang menumpuk

pada inti trafo, lilitan dan didalam saluran minyak akan menghambat sirkulasi minyak sehingga proses aliran panas akan terhambat [15].

Minyak isolasi harus memenuhi syarat-syarat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Syarat minyak isolasi

Parameter Uji	Nilai	Standar
Tegangan Tembus	>30 kV/2,5 mm	SPLN 49-91: 1982
Titik Nyala ( <i>Flash Point</i> )	$\geq 140$ °C	SPLN 49-91: 1982
Titik Tuang ( <i>Pour Point</i> )	$\leq -30$ °C	SPLN 49-91: 1982
Viskositas ( <i>Viscosity</i> ) 20 °C	$\leq 40$ cSt	SPLN 49-91: 1982
Berat Jenis ( <i>Density</i> ) 20 °C	$\leq 0,859$ gr/cm <sup>3</sup>	SPLN 49-91: 1982
Kandungan Air	$\leq 30$ mg/kg	IEC 60296-2003

#### 2.4 Mekanisme Kegagalan Isolasi Cair

Teori kegagalan zat isolasi cair dapat dibagi menjadi empat jenis sebagai berikut: [5]

##### 1. Teori kegagalan zat murni atau elektronik

Teori ini merupakan perluasan dari teori kegagalan pada gas, artinya proses kegagalan yang terjadi dalam dielektrik cair karena adanya banjir elektron (*elektron avalanche*). Pancaran medan elektron dari katoda di asumsikan bertabrakan dengan atom dielektrik cair. Jika energi medan yang dihasilkan dari tabrakan sudah cukup besar, sebagian elektron akan terlepas dari atom dan akan bergerak menuju anoda bersama dengan elektron bebas. Banjiran elektron ini serupa dengan peluahan yang terjadi pada gas dan peristiwa ini akan mengawali proses terjadinya kegagalan.

##### 2. Teori kegagalan gelembung gas

Kegagalan gelembung atau kavitasi merupakan bentuk kegagalan yang disebabkan oleh adanya gelembung-gelembung gas didalam isolasi cair. Gelembung-gelembung udara yang ada dalam

cairan tersebut akan memanjang searah dengan medan. Hal ini disebabkan karena gelembung-gelembung tersebut berusaha membuat energi potensialnya minimum. Gelembung-gelembung yang memanjang tersebut kemudian akan saling sambung-menyambung dan membentuk jembatan yang akhirnya akan mengawali proses kegagalan.

##### 3. Teori kegagalan bola cair

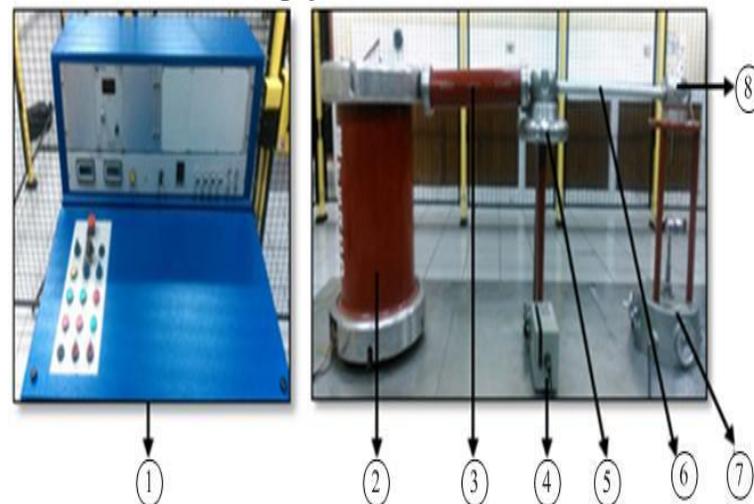
Jika suatu zat isolasi mengandung sebuah bola cair dari jenis cairan lain, maka dapat terjadi kegagalan akibat ketakstabilan bola cair tersebut dalam medan listrik. Medan listrik akan menyebabkan tetesan bola cair yang tertahan di dalam minyak yang memanjang searah medan dan pada medan yang kritis tetesan ini menjadi tidak stabil. Setelah menjadi tidak stabil bola air akan memanjang, dan bila panjangnya telah mencapai dua pertiga celah elektroda maka saluran-saluran lucutan akan timbul sehingga kemudian kegagalan total akan terjadi.

##### 4. Teori kegagalan tak murnian padat

Kegagalan tak murnian padat adalah jenis kegagalan yang disebabkan oleh adanya butiran zat padat (partikel) di dalam isolasi cair yang akan memulai terjadi kegagalan.

### 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Peralatan Pengujian



### Gambar 1. TERCO Test tegangan tinggi AC.

Keterangan:

1. Meja Kontrol
2. Transformator Uji
3. *Grounding Switch*
4. *Connecting Cup*
5. *Floor Padestal*
6. Tongkat Penghubung
7. Resistor 2,5 MΩ
8. *Eart Rod*

### 3.1 Peralatan Pengujian

#### 3.2.1 Mengurangi Kadar Air

Pengurangan kadar air pada minyak dilakukan dengan memanaskan minyak dalam oven dengan suhu 103°C selama 30 menit kemudian wadah didinginkan dalam desikator lalu ditimbang dan dicatat datanya. Lalu kadar air ditentukan dengan persamaan:

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1 - W} \times 100\%$$

Dimana,

- W = Berat wadah kosong (gr)  
W<sub>1</sub> = Berat wadah dengan contoh (gr)  
W<sub>2</sub> = Berat contoh uji setelah dikeringkan (gr)

#### 3.2.2 Pengukuran Viskositas

Minyak diatur suhunya sampai 20°C lalu dimasukkan ke dalam viskometer. Waktu yang dibutuhkan minyak mengalir dicatat kemudian viskositas dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Viskositas } (\mu) = C \cdot t$$

Dimana,

- μ = Viskositas Kinematik (cSt)  
C = Kontanta viskometer *tube* (0,4994)  
t = Waktu yang dibutuhkan fluida mengalir hingga tanda batas (s)

#### 3.2.3 Pengukuran Massa Jenis

Piknometer kosong ditimbang bobotnya. Selanjutnya minyak dimasukkan kedalam

piknometer sampai pipa kapiler terisi penuh dan tidak adanya gelembung. Piknometer yang berisi minyak ditimbang bobotnya. Massa jenis dihitung dengan persamaan:

$$\text{Densitas } (\rho) = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

Dimana,

V = Volume piknometer (cm<sup>3</sup>)

m<sub>1</sub> = Berat piknometer kosong (gram)

m<sub>2</sub> = Berat piknometer yang diisi minyak (gram)

#### 3.2.4 Pengukuran Titik Tuang

Minyak disiapkan sebanyak 100 ml lalu dituangkan ke dalam tabung uji silindris. Parafin sebanyak 1 ml dimasukkan ke dalam tabung uji silindris kemudian disumbat dan dipasang termometer. Diletakan es batu sekeliling tabung dengan penaburan NaCl. Diamati perubahan suhu setiap 3°C. Pour point dicatat pada saat minyak tidak bisa lagi mengalir.

#### 3.2.5 Pengukuran Titik Nyala

Persiapkan sampel dengan baik, kemudian pada alat *rapid tester* periksa tutup dan *sutter* dalam keadaan bersih dan bebas dari kontaminasi dan nyalakan panel ke posisi "I" (ON). Pastikan suntik dalam keadaan bersih dan kering. Kemudian ambil sampel sebanyak 2 ml dengan menggunakan suntik tersebut dan memasukkan kedalam cup. Sesuaikan suhu temperatur kontrol sambil menekan saklar *preset* yang telah ditetapkan sampai meter digital membaca suhu yang diinginkan. Kemudian atur *timer* dengan menekan saklar pada waktu 1 menit, tujuannya untuk suhu yang diinginkan tercapai dan suhu merata pada alat tersebut sesuai dengan yang kita inginkan. Buka katub kontrol gas dan lampu uji menyala, putar katub kontrol gas searah jarum jam untuk mengatur besar kecilnya nyala api. Setelah timer berhenti, muka *lid* dan *sutter* sepenuhnya selama 2,5 detik sambil mengamati *flash point*. Jika terjadi lonjakan api maka catat suhu hasil pengukuran *flash point*.

### 3.2.6 Pengujian Tegangan Tembus

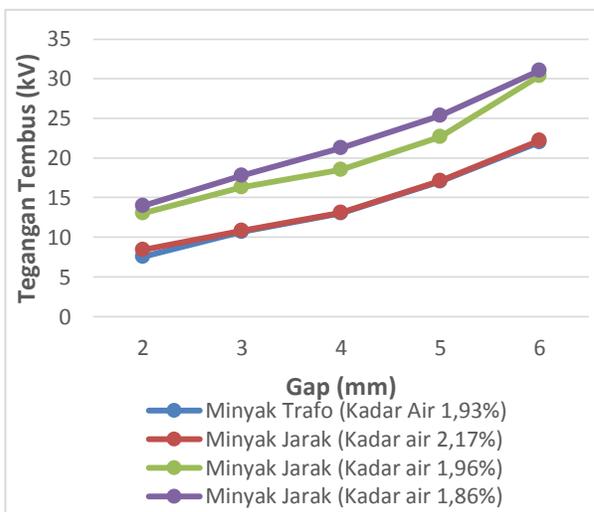
Penelitian dimulai dengan mengatur jarak sela elektroda pada kotak uji. Kemudian minyak dimasukkan kedalam kotak uji dan kotak uji dipasang pada rangkaian pengujian. Temperatur dan tekanan udara pada ruangan pengujian dicatat untuk mengetahui keadaan ruangan pengujian. Tegangan pada *Control Desk* dinaikkan hingga mencapai terjadi tembus listrik pada isolasi minyak yang ditandai dengan adanya loncatan api antara elektroda pada wadah uji dan diulang sebanyak 20 kali dengan jeda waktu setiap pengujian selama 3 menit. Jarak sela elektroda dan proses penggantian isolasi minyak dilakukan dengan cara yang sudah dijelaskan pada prosedur-prosedur sebelumnya. Setiap tegangan tembus dicatat sesuai dengan yang terlihat pada AC *voltmeter Control Desk*.

## 4. HASIL PENELITIAN

### 4.1 Pengujian Tegangan Tembus

#### 4.1.1 Variasi Gap

Berikut Gambar 2. merupakan kurva karakteristik pengujian tegangan tembus AC pada minyak isolasi dengan variasi *gap*.



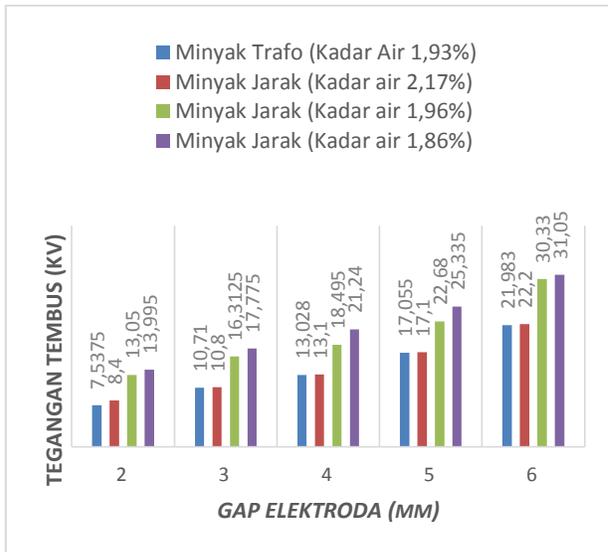
**Gambar 2.** Kurva karakteristik pengujian tegangan tembus minyak isolasi dengan variasi *gap*.

Berdasarkan standar SPLN 49-91: 1982, bahwa pengujian tegangan tembus isolasi cair pada kondisi standar dilakukan dengan sepasang elektrode setengah bola-bola dengan diameter 50 mm dengan jarak sela 2,5 mm. Selanjutnya SPLN 49-91: 1982 menyebutkan bahwa tegangan tembus yang harus dipenuhi untuk spesifikasi minyak isolasi baru adalah  $\geq 30$  kV/2,5 mm. Pengujian tegangan tembus yang telah dilakukan menggunakan elektroda dengan diameter 36 mm. Agar dapat mengetahui kelayakan minyak jarak pagar sebagai alternatif isolasi baru, maka pada penelitian ini dilakukan perbandingan tegangan tembus dengan minyak trafo merek *Shell Diala S2 ZU-1*.

Pada gambar 2. dapat dilihat grafik tegangan tembus rata-rata antara minyak trafo dan minyak jarak pagar dengan variasi kadar air. Pengujian tegangan tembus juga dilakukan dengan variasi *gap* antara elektroda. Dapat dilihat pada gambar 4.6 bahwa tegangan tembus minyak jarak pagar lebih besar dari tegangan tembus minyak trafo. Maka minyak jarak pagar telah memenuhi spesifikasi minyak isolasi baru dari nilai tegangan tembusnya.

#### 4.1.2 Variasi Kadar Air

Berikut merupakan gambar grafik hasil pengujian tegangan tembus minyak isolasi dengan variasi kadar air:



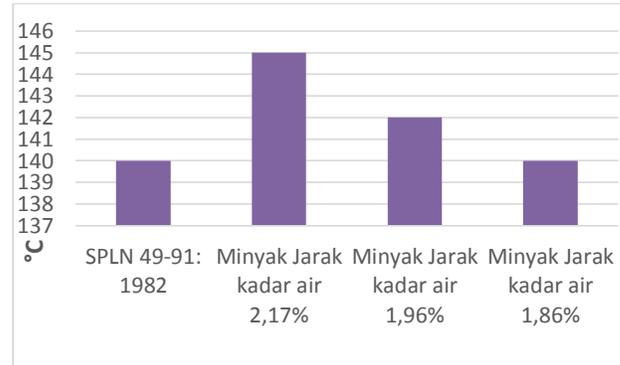
**Gambar 3.** Kurva karakteristik pengujian tegangan tembus dengan variasi kadar air.

Pada gambar 3. dapat dilihat grafik hasil pengujian tegangan tembus minyak trafo dan minyak jarak pagar dengan kadar air yang berbeda-beda. Dari hasil pengujian, persentase kandungan air sangat mempengaruhi nilai tegangan tembus isolasi minyak. Pada pengujian tegangan tembus tiap *gap* besar tegangan tembus meningkat seiring dengan penurunan kadar air pada minyak jarak. Begitu juga sebaliknya, semakin tinggi kadar air dalam suatu isolasi minyak maka tegangan tebusnya akan semakin kecil. Dari grafik diatas kita dapat melihat bahwa tegangan tembus minyak jarak dengan kadar air 2,17%, 1,96% dan 1,86% lebih besar dibandingkan dengan tegangan tembus minyak trafo.

#### 4.2 Pengujian Titik Nyala

Titik nyala suatu minyak merupakan pernyataan dimana minyak dapat dipanaskan pada kondisi tertentu sebelum uap yang dihasilkan menjadi api. Semakin tinggi titik nyala suatu minyak isolasi maka semakin baik minyak tersebut untuk dijadikan isolasi. Berdasarkan standar SPLN 49-91: 1982, menyebutkan bahwa titik nyala yang

harus dipenuhi untuk spesifikasi minyak isolasi baru adalah  $\geq 140$  °C.

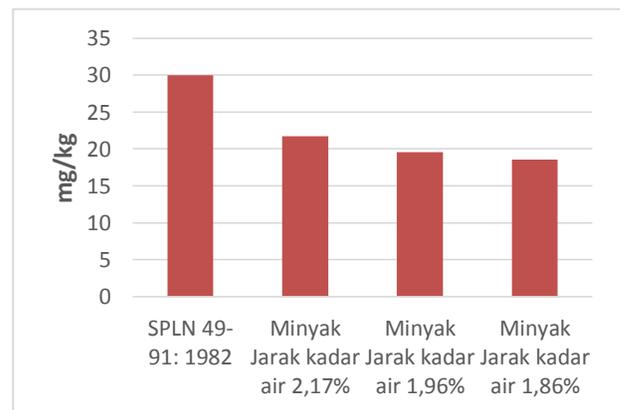


**Gambar 4.** Grafik hasil pengujian titik nyala minyak jarak pagar.

Pada gambar 4. dapat dilihat bahwa titik nyala minyak jarak pagar dengan kadar air 2,17%, 1,96% dan 1,86% lebih besar dari titik nyala yang ditetapkan oleh standar SPLN 49-91: 1982. Maka minyak jarak pagar telah memenuhi spesifikasi minyak isolasi baru dari nilai titik nyala (*Flash Point*).

#### 4.3 Pengujian Kadar Air

Kadar air merupakan suatu ukuran banyak air yang terdapat dalam isolasi minyak. Semakin kecil kadar air yang terdapat dalam isolasi minyak, maka semakin baik isolasi minyak tersebut digunakan sebagai isolator.

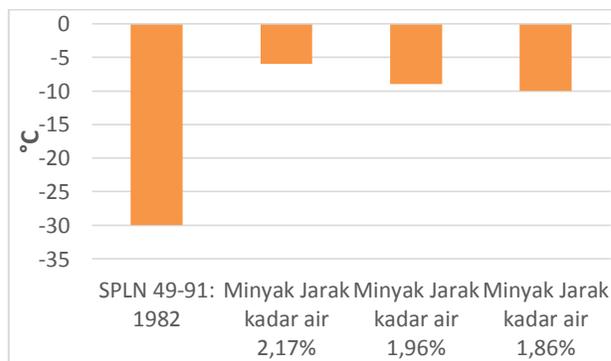


**Gambar 5.** Hasil pengujian kadar air minyak jarak pagar.

Berdasarkan standar IEC 60296-2003 menyebutkan bahwa kadar air yang harus dipenuhi untuk spesifikasi minyak isolasi baru adalah  $\leq 30$  mg/kg. Pada gambar 4.10 dapat dilihat bahwa nilai kadar air dari minyak jarak pagar telah memenuhi standar yang ditetapkan oleh IEC 60296-2003.

#### 4.4 Pengujian Titik Tuang

Titik tuang adalah temperatur dimana minyak baru saja mengalir ketika didinginkan dibawah kecepatan perubahan suhu. Titik tuang juga berarti suhu terendah minyak masih bisa mengalir. Semakin rendah nilai titik tuang suatu isolasi minyak maka semakin bagus kualitas minyak tersebut untuk dijadikan sebagai isolator cair.



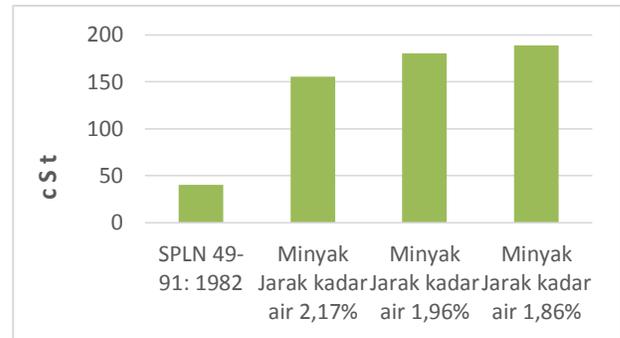
**Gambar 6.** Hasil pengujian titik tuang minyak jarak pagar.

Pada gambar 6. dapat dilihat bahwa titik tuang minyak jarak pagar dengan kadar air 2,17%, 1,96% dan 1,86% lebih besar dari titik tuang yang ditetapkan oleh standar SPLN 49-91: 1982. Maka minyak jarak pagar belum memenuhi spesifikasi minyak isolasi baru dari nilai titik tuang (*Pour Point*).

#### 4.5 Pengujian Viskositas

Viskositas merupakan tahanan dari cairan untuk mengalir secara kontinu dan merata. Viskositas minyak diukur dari waktu mengalir minyak dengan volume tertentu dan pada kondisi yang diatur. Sebagai media pendingin maka viskositas minyak merupakan faktor penting dalam

aliran konveksi untuk memindah panas. Semakin rendah nilai viskositas dari suatu minyak isolasi, maka semakin bagus untuk menghantar panas sebagai media pendingin dalam transformator.

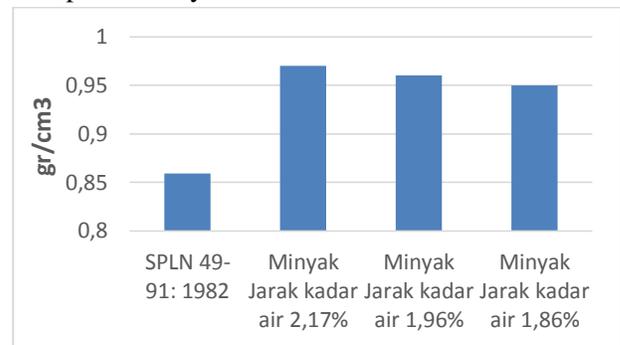


**Gambar 7.** Hasil pengujian viskositas minyak jarak pagar.

Berdasarkan standar SPLN 49-91: 1982 menyebutkan bahwa viskositas yang harus dipenuhi untuk spesifikasi minyak isolasi baru adalah  $\leq 40$  cSt. Pada gambar 7. dapat dilihat bahwa nilai viskositas dari minyak jarak pagar dengan kadar air 2,17%, 1,96% dan 1,86% melebihi dari nilai standar viskositas yang ditetapkan oleh SPLN 49-91: 1982. Minyak jarak pagar memiliki nilai viskositas yang tinggi sehingga tidak memenuhi syarat sebagai alternatif minyak isolasi baru.

#### 4.6 Pengujian Massa Jenis

Massa jenis adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin tinggi pula massa setiap volumenya.



**Gambar 8.** Hasil pengujian massa jenis minyak jarak pagar.

Berdasarkan standar SPLN 49-91: 1982 menyebutkan bahwa massa jenis yang harus dipenuhi untuk spesifikasi minyak isolasi baru adalah  $\leq 0,86 \text{ gr/cm}^3$ . Pada gambar 8. dapat dilihat bahwa nilai massa jenis dari minyak jarak pagar dengan kadar air 2,17%, 1,96% dan 1,86% melebihi dari nilai standar massa jenis yang ditetapkan oleh SPLN 49-91: 1982. Minyak jarak pagar memiliki nilai massa jenis yang tinggi sehingga tidak memenuhi syarat sebagai alternatif minyak isolasi baru.

## 5. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tegangan tembus minyak jarak pagar lebih tinggi daripada minyak mineral trafo. Setelah dilakukan pengurangan kadar air pada minyak jarak pagar, tegangan tembusnya menjadi jauh lebih baik dibandingkan minyak mineral trafo.
2. Jarak sela antara elektroda sangat mempengaruhi hasil pengujian tegangan tembus. Nilai tegangan tembus berbanding lurus dengan jarak sela antara elektroda. Apabila jarak sela antara elektroda semakin besar, maka dibutuhkan tegangan tembus yang besar pula untuk mencapai kegagalan isolasi pada minyak.
3. Kadar air pada minyak sangat mempengaruhi nilai tegangan tembus pada isolasi minyak. Semakin tinggi kadar air pada isolasi minyak maka tegangan tembusnya semakin rendah. Begitupun sebaliknya, semakin rendah kadar air dalam isolasi minyak maka tegangan tembusnya semakin tinggi. Artinya kadar air pada isolasi minyak berbanding terbalik dengan nilai tegangan tembusnya.
4. Persyaratan minyak isolasi baru diatur dalam standar SPLN 49-91: 1982 yang harus dipenuhi agar suatu minyak bisa digunakan sebagai minyak isolasi baru.

Minyak jarak pagar hanya memenuhi standar SPLN 49-91: 1982 dalam spesifikasi tegangan tembus, titik nyaladan kadar air. Sedangkan untuk spesifikasi viskositas, titik tuang dan massa jenis belum terpenuhi.

## SARAN

Penelitian ini masih terdapat kekurangan sehingga perlu dilanjutkan dan dikembangkan. Skripsi ini dapat dilanjutkan dengan melakukan penelitian dengan variasi bentuk elektroda dan variasi suhu minyak yang dapat dilakukan di Laboratorium Tegangan Tinggi Teknik Elektro Universitas Riau. Selain itu, penelitian ini juga dapat dilanjutkan dengan menguji sifat-sifat fisik lainnya seperti *Dissolved Gas Analysis* (DGA), kadar asam, faktor kebocoran dielektrik dan tahanan jenis (*resistivity*).

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada kepala Laboratorium dan Asisten Laboratorium Teknik Kimia UR, Laboratorium Reservoir Perminyakan UIR, dan Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi UR yang telah memberikan izin dan membantu untuk melakukan proses berjalannya penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Efendi, B. L. (2011). *Analisis Gas Mudah Bakar Terlarut Pada Minyak Transformator Berdasarkan Faktor Pembebanan Dan Beban Dengan Metoda Roger Ratio*. Teknik Elektro Fakultas Teknik. Universitas Indonesia.
- [2] Garniwa, I., & S, J. F. (2011). *Analisis Pengaruh Kenaikan Temperatur Dan Umur Minyak Transformator Terhadap Degradasi Tegangan Tembus Minyak Transformator*. Jurnal Teknik Elektro, Universitas Indonesia. Depok.

- [3] Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral. 2016. *Data Grafis Cadangan Minyak Bumi*. Jakarta Pusat. Indonesia.
- [4] Krismandanu, E., Syakur, A., & Facta, M. (2008). *Uji Tegangan Tembus Arus Bolak-Balik Pada Minyak Jarak Sebagai Alternatif Isolasi Cair*. Jurnal Teknik Elektro Universitas Diponegoro. Semarang.
- [5] 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.
- [6] Prasetyo, A., Syakur, A., & Facta, M. (2006). *Analisis Tegangan Tembus Minyak Kelapa Sebagai Isolasi Cair Pada Variasi Elektroda Uji*. Teknik Elektro Universitas Diponegoro. Semarang.
- [7] Rahmawati, & Raharjo, E. P. (2014). *Evaluasi Kandungan Gas (DGA) Dengan Metode Kromatografi Gas Terhadap Nilai Tegangan Tembus Pada Minyak Jarak Yang Telah Melalui Proses Transesterifikasi Sebagai Alternatif Minyak Transformator*. Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya.
- [8] Santoso, B. B. (2009). *Potensi Hasil Tanaman Jarak Pagar (Jatropha Curcas) Ekotipe Lombok Barat Asal Biji Dan Stek Selama Tiga Tahun Pertama*. Fakultas Pertanian Universitas Mataram.
- [9] Sinuhaji, Y. P. (2012). *Analisis Kegagalan Minyak Isolasi Transformator Daya 150 kV Menggunakan Metode Dissolved Gas Analysis (DGA) dan Fuzzy Logic Pada Grdu Induk Wilayah Sidoarjo*. Jurnal Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Jember.
- [10] Suherman, A., Herudin, & Puspitasari, E. (2016). *Pengaruh Kontaminan Ait Terhadap Tegangan Tembus Pada Minyak Transformator dan Minyak Kelapa Murni*. Jurnal Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- [11] Syakir, M. (2010). *Prospek Dan Kendala Pengembangan Jarak Pagar (Jatropha Curcas L) Sebagai Bahan Bakar Nabati Di Indonesia*. Pusat Penelitian Dan Pengembangan Perkebunan.
- [12] Tobing, Bonggas L. (2012) “*Dasar-Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi Edisi Kedua*”. Penerbit Erlangga: Jakarta.
- [13] Ugustra, M., Amrita, A., & Junardana, I. (2015). *Kajian Kuat Medan Listrik Saluran Transmisi 150 kV Pada Konfigurasi Tunggal*. Jurnal Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana.
- [14] Umiati, N. K. (2009). *Pengujian Kekuatan Dielektrik Minyak Sawit Dan Minyak Castrol Menggunakan Elektrode Bola-Bola Dengan Variasi Jarak Antar Elektrode Dan Temperatur*. Teknik Fisika, Universitas Diponegoro. Semarang.
- [15] Wibowo, W. K., Yuningtyastuti, & Syakur, A. (2008). *Analisis Karakteristik breakdown Voltage Pada Dielektrik Minyak Shell Diala B Pada Suhu 30 C - 130 C*. Jurnal Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Semarang.
- [16] Wijaya, I. I. (2009). *Karakteristik Korona Dan Tegangan Tembus Isolasi Minyak Pada Konfigurasi Elektroda Jaruk-Plat*. Jurnal Teknik Elektro-FTI, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

#### **Biodata Penulis**



**Rendy Kamerlisa Putra**  
**(Nim.1307115133)**  
 Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru.  
 Konsentrasi Sistem Tenaga.