

# KARAKTERISTIK TEGANGAN TEMBUS AC CAMPURAN MINYAK JAGUNG DAN MINYAK MINERAL SEBAGAI PERTIMBANGAN ALTERNATIF ISOLASI CAIR

Handerson Panjaitan<sup>[1]</sup>, Fri Murdiya<sup>[2]</sup>

<sup>[1]</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro S1, <sup>[2]</sup>Dosen Teknik Elektro  
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru, Riau  
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau

Email: handerson.panjaitan4613@student.unri.ac.id

## ABSTRACT

*This paper discusses the use of corn oil and mixing of vegetable oils with mineral oil (shell diala S4 ZX-I) to be used as an alternative material of liquid insulation. Vegetable oil samples used are corn oil before water content reduction, corn oil after water content reduction, and methyl esters. The focus of the study was to examine the characteristics of the mean breakdown voltage in a sample 100% pure vegetable oil and the mixing sample which was then compared with the results of the mean breakdown voltage test on a 100% pure mineral oil sample and according to IEC standard: 156 - 1995 & IEC : 6056 - 1995. The amount of comparison used between the two samples, ie 25% vegetable oil : 75% mineral oil, 50% vegetable oil : 50% mineral oil, and 75% vegetable oil : 25% mineral oil. The test results show the mean value of average breakdown voltage on the 100% sample of pure corn oil before a reduction in water content, 100% pure corn oil after water content reduction, 100% pure methyl ester, and 100% pure mineral oil are: 18.6 kV/2.5 mm, 35.7 kV/2.5 mm, 34.8 kV/2.5 mm, and 34.1 kV/2.5 mm. From the test, it is seen that 100% pure corn oil before the reduction of water content has not fulfilled the IEC standard: 156 1995 & IEC: 6056 - 1995. Meanwhile for a sample of corn oil mixture before reduction of water content with mineral oil and corn oil mixture after reduction of water content with mineral oil also have not fulfilled the standard of IEC: 156 -1995 & IEC: 60156 – 1995, while for some samples the mixture of methyl ester with mineral oil have fulfilled IEC standard: 156 1995 & IEC: 60156 - 1995. The addition of vegetable oil into mineral oil can also increase water contaminants and viscosity in oil mixed samples. The highest water contaminant and viscosity in each oil mixed sample are in the ratio of 75% vegetable oil : 25% mineral oil.*

*Keywords: vegetables oil mixture, corn oil, metyl ester, oil insulation, breakdown voltage.*

## 1. Pendahuluan

Pada saat ini listrik merupakan energi yang sangat penting bagi kehidupan sehari-hari baik dalam sektor perindustrian maupun kehidupan bermasyarakat. Dalam pengolahan menjadi energi listrik, sebagian memakai sumber energi yang berasal dari mineral bumi, sebagai contoh batu bara dan minyak bumi. Adapun produk hasil pengolahan minyak bumi dimanfaatkan untuk bahan bakar PLTD dan minyak isolasi transformator.

Transformator merupakan salah satu komponen penting dalam sistem ketenagalistrikan. Bagian-bagian di dalam transformator juga berperan penting untuk mendukung sebuah sistem kelistrikan berjalan dengan baik, salah satunya adalah minyak isolasi. Peran dari minyak isolasi

transformator yaitu sebagai pengaman untuk memisahkan bagian-bagian yang bertegangan di dalam transformator, serta sebagai media pendingin untuk membantu penyerapan panas dari transformator sewaktu terjadi kenaikan temperatur akibat dari pemakaiannya secara terus-menerus (Raharjo, 2014).

Minyak isolasi mineral dalam transformator berasal dari minyak bumi yang pada penggunaannya jika dipakai secara berkelanjutan akan habis dikarenakan sifatnya yang tidak dapat diperbaharui dan membutuhkan waktu yang lama untuk mendapatkannya, selain itu sifatnya yang tidak terdegradasi juga memberikan dampak terhadap pencemaran lingkungan apabila minyak tersebut sudah tidak terpakai lagi dan harus dibuang.

Upaya untuk mencari alternatif minyak isolasi mineral sudah mulai dilakukan, salah satunya adalah pemanfaatan minyak nabati sebagai bahan isolasi cair. Minyak nabati, yaitu minyak jagung (seperti turunan minyak jagung (*Fatty Acid Metil Ester*, dan *Refined Bleached And Deodorized Corn Oil*) memiliki keuntungan baik sebagai minyak isolasi dan pendingin yang ramah lingkungan dan cocok diterapkan pada transformator daya. Selain itu, penggunaan minyak nabati terkhusus minyak jagung memiliki sejumlah keunggulan, beberapa diantaranya mudah terbiodegradasi, tidak beracun, titik nyala yang tinggi, ketahanan isolasi yang baik pada tingkat kandungan air yang rendah bila dibandingkan dengan minyak mineral (Murdiya, 2015), mudah diperoleh sehingga ketersediannya terjamin, sifat kekentalan yang rendah pada metil ester minyak jagung lebih baik dari minyak mineral membuat ketahanan dielektrik metil ester minyak jagung dari terpaan medan elektrik lebih tinggi dibandingkan dengan minyak mineral oleh karena jarak antar atomnya relatif besar dan tidak tersusun rapat, sehingga gaya interaksi antar muatan pada atom-atom penyusun dielektrik cair menjadi lemah dan menyebabkan nilai tegangan tembus menjadi tinggi. Penggunaan minyak nabati juga berpeluang memperpanjang umur pakai isolasi kertas dalam transformator dan juga transformator itu sendiri, dikarenakan laju penuaan isolasi kertas dalam minyak nabati lebih lambat dibanding minyak mineral (Rajab, Pawawoi, Sulaeman, & Mujahidin, 2014). Berbagai jenis minyak jagung dapat diekstrak dari hasil penggilingan kering maupun basah untuk menghasilkan rendeman minyak yang berbeda. Minyak jagung yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak goreng jagung dengan merek, “*Golden Bridge*” yang banyak dijumpai di pasar tradisional maupun modern.

Dari semua penjelasan di atas, maka perlu dilakukan pengujian karakteristik listrik minyak nabati, yaitu minyak jagung (seperti turunan minyak jagung *Fatty Acid Metil Ester*, dan *Refined Bleached And Deodorized Corn Oil*), serta campuran antara minyak jagung dan minyak mineral dengan salah satu parameter pengujian, yaitu besarnya tegangan tembus rata-rata. Dalam penelitian ini, volume perbandingan yang dipakai dalam pencampuran antara minyak jagung dengan minyak mineral, dan metil ester dengan minyak mineral yaitu 25% : 75%, 50% : 50%, dan 75% : 25% terhadap volume wadah (*chamber*) pengujian. Faktor pemberian temperatur juga diberikan untuk

melihat seberapa besar pengaruhnya terhadap perubahan kadar dan nilai tegangan tembus pada sampel minyak isolasi. Diharapkan dari pengujian yang dilakukan memenuhi persyaratan sebagai alternatif minyak isolasi baru.

## **2. Landasan Teori**

### **2.1 Transformator**

Transformator merupakan peralatan listrik yang berfungsi untuk menyalurkan daya/tenaga dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya. Dalam penyaluran daya, transformator menggunakan prinsip Hukum Induksi Faraday dan Hukum Lorentz, dimana arus AC yang mengalir mengelilingi inti besi maka inti besi tersebut akan berubah menjadi magnet. Dan apabila magnet tersebut dikelilingi oleh suatu belitan, maka pada ujung-ujung belitan terjadi beda potensial.

Pada umumnya, suatu transformator memiliki dua kumparan, yakni kumparan primer dan kumparan sekunder dimana masing-masing dililitkan pada suatu rangka gulungan yang terbuat dari kertas keras, kemudian dimasukkan lembaran-lembaran besi lunak bercampur silikon atau lembaran-lembaran plat baja yang diklem menjadi satu.

### **2.2 Minyak Transformator**

Minyak transformator adalah minyak mineral mineral yang diperoleh dari proses destilasi minyak bumi dan ditambahkan beberapa zat kimia dan fisika tertentu untuk memperoleh kualitas minyak transformator yang lebih baik. Sebagai bahan isolasi cair, minyak transformator harus dapat menahan terpaan medan elektrik yang tinggi. Selain itu, minyak transformator berfungsi sebagai media pendingin untuk mengantisipasi kenaikan suhu dalam transformator. Terjadinya kenaikan temperatur yang terlalu tinggi dalam transformator dapat menyebabkan degradasi isolasi kertas pada gulungan (*coil*) dalam transformator, sedangkan tegangan lebih (*over voltage*) dan pemanasan termal (*thermal stress*) karena disipasi daya dalam transformator dapat menyebabkan timbulnya kontaminan berupa partikel padat, cair ataupun gas pada minyak transformator. Keberadaan kontaminan ini sangat merugikan karena dapat menurunkan kualitas minyak transformator, bahkan untuk gas-gas yang mudah terbakar, jika disertai dengan oksigen dan temperatur yang cukup tinggi

dapat menimbulkan terjadi kebakaran pada transformator (Umiati, 2017).

### 2.3 Minyak Jagung

Minyak jagung dapat diekstrak dari hasil penggilingan kering maupun basah yang berasal dari bagian jagung yang mengandung sekitar 85% dari total minyak jagung, yaitu lembaga (*germ*) (Erickson, 2005). Penggilingan kering (*dry-milling*) minyak jagung dapat dilakukan melalui pengepresan atau ekstraksi hexan, sedangkan penggilingan basah (*wet-milling*) terlebih dahulu dilakukan pemisahan lembaga lalu dilakukan ekstraksi minyak. Secara massa (bahan), untuk menghasilkan 35 kg minyak jagung harus mempersiapkan 1 ton jagung (Nugroho & Syahrawardi, 2013).



Gambar 1. Morfologi biji jagung

Dilihat dari morfologinya, susunan buah jagung secara berurutan dari luar, yaitu: kulit, biji dan tongkol. Biji jagung tersusun atas, kulit (*pericarp*), biji (*endosperm*), dan lembaga (*germ*).

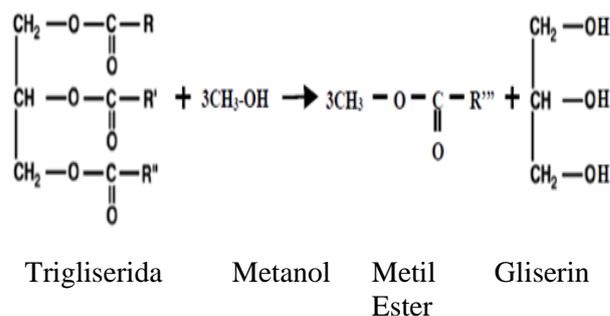
(Dalam 100 gram minyak)			
Karakteristik Kimia	Limits	Karakteristik Fisik	Limits
Trigliserida (gram)	98,8	Viskositas Kinematik, cSt min	
Kejernihan:		At 20°C	91,68
- Saturates (gram)	12,9		
- Monounsaturates (gram)	26	Flash Point, (°C)	332,2 – 337,7
- Polyunsaturates (gram)	59,7	Cloud Point (°C)	-17,2 – (-11,1)
- Rasio P/S	4,8	Density at 15,5°C, g/cm <sup>3</sup>	0,922-928
Profil Asam Lemak		Water Content, (ppm)	min 0,452
Trigliserida			
- Palmitat (%)	11-13		
- Stearat (%)	2-3		
- Linoleat (%)	54-60		
- Linolenat (%)	1		
- Arasidat (%)	0,0 – 0,2		
- Asam lemak bebas (%)	0,02 – 0,03		

Gambar 2 Komposisi Minyak Jagung

Melalui proses reaksi transesterifikasi metanol dengan trigliserida, maka asam lemak

minyak jagung akan lebih mudah dikontrol. Proses transesterifikasi akan menghasilkan 3 molekul metil ester yang berbeda satu sama lain. Kondisi yang berbeda ini dipandang lebih mudah dikontrol dibandingkan dengan mengontrol rantai asam lemak minyak dalam struktur trigliserida.

Berikut proses reaksi transesterifikasi (Setiawan & Murdiya, 2017) :



Gambar 3 Reaksi Kimia Transesterifikasi

#### 2.2.1 Karakteristik dan Standar Metode Pengujian

Berikut merupakan karakteristik dan standar metode pengujian yang digunakan sebagai acuan syarat alternatif minyak isolasi baru (Apudo & Uwour, 2014):

Tabel 4.1 Karakteristik dan standar metode pengujian

Properties	Standard		Limits
	ASTM	Other Standard s	
Tegangan Tembus, elektroda jamur (sela = 2,5 mm, R = 36 mm), minyak isolasi baru, kV	-	IEC 156 & IEC 60156	≥ 30
Viskositas, cSt max 40 °C	D - 445	SPLN 49-1-1982	12
*20 °C			*40
Flash Point °C, min	D - 92	*IEC 60296	145
			*135
Pour Point °C, min	D - 97	*ISO 3016	-30
			*-40

Densitas pada suhu 20 °C, g/cm <sup>3</sup> , max	D – 1298	ISO 3675	0,895
Kadar Air, ppm max	D – 153	IEC 733	35

## 2.3 Parameter Kualitas Minyak Isolasi Transformator

Kondisi dari transformator sangat bergantung pada keseluruhan sistem yang bekerja pada transformator itu sendiri, termasuk peralatan isolasinya yaitu minyak isolasi. Saat ini untuk melihat kualitas dari minyak isolasi dapat dilakukan beberapa pengujian karakteristik minyak isolasi, yaitu karakteristik fisik minyak isolasi, karakteristik kimia minyak isolasi, dan karakteristik listrik minyak isolasi.

### 2.3.1 Karakteristik Fisik Minyak Isolasi

Beberapa karakteristik fisik minyak isolasi yang penting, diantaranya (Putra & Murdiya, 2017):

1. Massa Jenis (Densitas)
2. Kekentalan (*viscosity*)
3. Titik nyala (*Flash point*)
4. Titik tuang (*Pour point*)

### 2.3.2 Karakteristik Kimia Minyak Isolasi

Produksi minyak isolasi mineral dari minyak bumi memiliki komposisi kimia yang berbeda-beda sesuai dengan sumbernya. Adanya penambahan zat kimia pada minyak isolasi, yaitu: minyak isolasi sintetis akan mengubah struktur kimia minyak isolasi menjadi sangat kompleks, sehingga sangat sukar untuk mengetahui sifat dan jumlah unsur-unsur kimia yang terkandung di dalamnya. Pada umumnya, minyak transformator tersusun atas senyawa-senyawa hidrokarbon dan non hidrokarbon.

1. Kandungan Gas
2. Kandungan air

### 2.3.3 Karakteristik Elektrik Minyak Isolasi

Minyak Isolasi yang baik memiliki karakteristik elektrik, diantaranya:

1. Tegangan Tembus (*Breakdown Voltage*)
2. Faktor Kebocoran Dielektrik (*Dielectric Dissipation Factor*)

#### 2.3.3.1 Tegangan Tembus

Tegangan tembus merupakan kuat medan elektrik yang dapat ditahan oleh bahan dielektrik

tanpa menyebabkan bahan dielektrik tersebut tembus listrik. Bahan dielektrik yang menerima terpaan medan elektrik akan menimbulkan gaya pada elektron-elektron terikat inti atom bahan isolasi untuk memaksa keluar dari ikatannya menjadi elektron bebas, sehingga mengubah sifat bahan isolasi menjadi konduktif. Jika terpaan medan elektrik yang diterima bahan isolasi melebihi kemampuan memikulnya, maka dielektrik akan menghantarkan arus tinggi. Dalam hal ini dielektrik telah mengalami tembus listrik. (Tobing, 2012).

Minyak isolasi baru diharapkan memiliki nilai tegangan tembus minimal 30 kV – 50 kV. nilai tegangan tembus sangat bergantung kepada keberadaan kontaminan dalam minyak isolasi. Keberadaan kontaminan seperti air dan partikel padat akan menurunkan nilai tegangan tembus secara drastis, namun nilai tegangan tembus yang tinggi belum tentu mengindikasikan minyak bebas dari keberadaan kontaminan (Sinuhaji, 2012). Oleh karena itu, pengujian tegangan tembus dapat menjadi indikasi keberadaan kontaminan dalam minyak isolasi dan langkah awal dalam melakukan purifikasi minyak isolasi.

## 3. Metodologi Penelitian

### 3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan September 2017 – April 2018, yang mana lokasi penelitian terdiri dari: a. Proses pengolahan sampel *Refined Bleached And Deodorized Corn Oil* (RBDCO) menjadi metil ester dilakukan di Laboratorium Dasar Teknik Kimia Universitas Riau, dan Laboratorium Teknologi Bahan Alam dan Mineral, Universitas Riau, (b). Pengujian Tegangan Tembus dilakukan di PT Riau Andalan *Pulp And Paper*, Pangkalan Kerinci – Riau, dan PT Indah Kiat *Pulp And Paper*, tbk Perawang – Riau, (c). Pengujian sifat fisik minyak dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Alam Dan Mineral, Universitas Riau, dan Laboratorium Reservoir Perminyakan, Universitas Islam Riau.

### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

#### 3.2.1 Alat Penelitian

Penelitian ini terdiri dari tiga tahap yaitu: pembuatan metil ester, pengujian tegangan tembus, dan pengujian sifat fisik minyak. Ketiga tahap tersebut memerlukan beberapa peralatan pengujian, yakni sebagai berikut.

**Tabel 3.1** Peralatan penelitian

No.	Alat	Fungsi
1.	Satu set <i>water bath</i>	Memanaskan air dalam wadah
2.	Reaktor	Tangki berpengaduk sebagai wadah pencampuran minyak jagung, metanol, dan katalis
3.	Labu erlenmeyer	Wadah untuk mengukur dan menampung bahan kimia atau larutan
4.	Termometer raksa	Alat pengukur suhu minyak dalam reaktor
5.	Corong Pemisah	Alat untuk memisahkan metil ester dan gliserin.
6.	Neraca Analitik	Menimbang berat bahan kimia, larutan, minyak, dsb
7.	Saringan	Menyaring sisa-sisa kontaminan yang ada pada larutan
8.	Corong Gelas	Untuk memindahkan larutan dari satu wadah ke wadah yang lain
9.	Oven	Memanaskan sampel uji
10.	Heater	Memanaskan sampel uji
11.	Satu set alat pengujian tegangan tembus, yakni <i>Megger</i> OTS 100 AF/2 dan <i>Megger</i> OTS 80 PB	Mengukur ketahanan tegangan tembus dielektrik cair

### 3.2.2 Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan sebagai berikut:

**Tabel 3.2** Bahan Penelitian

No.	Bahan Penelitian
1.	Pengujian Tegangan Tembus: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Minyak Jagung dengan Merek "Golden Bridge"</li> <li>- Metil Ester Minyak Jagung</li> </ul>

### 2. Pembuatan Metil Ester:

- Metanol
- NaOH

## 3.3 Prosedur Penelitian

### 3.3.1 Pembuatan Metil Ester

Proses pengolahan minyak jagung menjadi metil ester dilakukan dengan mencampurkan larutan metanol dan NaOH dengan perbandingan 200 ml : 4 gr ke dalam 1000 ml minyak jagung. Sampel yang telah dicampur tadi kemudian dimasukkan ke dalam reaktor yang telah dilengkapi termometer, pemanas, dan *water bath* untuk dipanaskan pada suhu 65°C selama 90 menit sambil diaduk. Setelah 90 menit, sampel kemudian dituang ke dalam corong pisah dan didiamkan selama 24 jam untuk diendapkan. Setelah 24 jam diperoleh dua buah lapisan, yaitu: lapisan atas (metil ester) dan lapisan bawah (gliserin). Lalu dilakukan pemisahan terhadap dua lapisan tersebut dengan cara membuang lapisan bawah gliserin, sehingga diperoleh lapisan metil esternya saja. Sampel metil ester yang diperoleh kemudian dicuci di dalam corong pisah dengan menambahkan aquades panas sebanyak 500 ml, kemudian dikocok selama 15 menit, lalu dilakukan pemisahan antara lapisan metil ester, dan sisa-sisa gliserin serta metanol yang terlarut dalam aquades. Proses pencucian dilakuka sebanyak 3 kali atau lebnih sampai lapisan larutan aquades berwarna putih bening.

### 3.3.2 Pengurangan Kadar Air

Metode pengurangan kadar air pada sampel uji minyak dilakukan dengan memanaskan sampel uji minyak di dalam oven pada suhu 105°C, selama 30 menit kemudian wadah didinginkan dalam desikator lalut ditimbang untuk memperoleh beratnya. Metode pengurangan kadar air dilakukan beberapa kali hingga diperoleh berat minyak yang konstan. Kadar air minyak ditentukan dengan persamaan

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

Dimana,

W = Berat wadah kosong (gram)

W<sub>1</sub> = Berat wadah berisi sampel uji (gr)

W<sub>2</sub> = Berat contoh uji setelah dikeringkan (gr)

### 3.3.3 Pengujian Tegangan Tembus Campuran Minyak Tanpa Pengaruh Pemberian Suhu

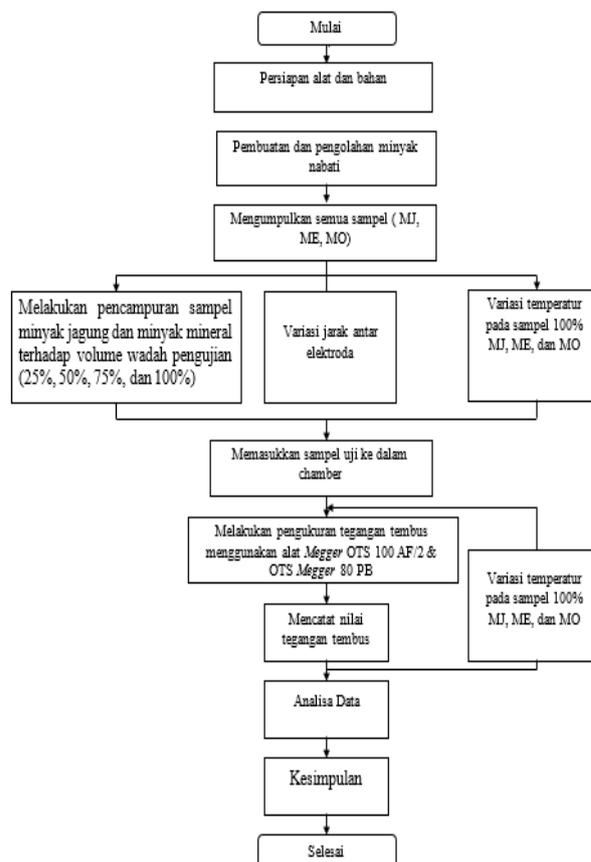
Pengujian tegangan tembus dimulai dengan mempersiapkan sampel uji minyak yang telah dicampur dengan perbandingan pencampuran yang sudah ditetapkan sebelumnya. kemudian sampel uji masukkan ke dalam *chamber* (kotak uji). Untuk mengetahui keadaan ruangan pengujian, maka dilakukan pencatatan terhadap temperatur ruangan, kelembaban udara ruangan, dan tekanan udara. Nyalakan alat uji tegangan tembus, lalu atur jarak sela elektroda dan standar pengujian yang diinginkan pada tombol menu yang terdapat pada alat pengujian. Untuk setiap perbandingan sampel uji, besarnya jarak sela elektroda juga divariasikan mulai dari jarak 2 mm hingga 3 mm, dengan interval 0,5 mm. Setelah pengaturan dilakukan, maka tekan tombol "I" atau tombol *test* pada alat pengujian. Amati kenaikan nilai tegangan yang terbaca, alat pengujian akan berhenti otomatis jika terjadi percikan api dan suara letupan di sela elektroda. Catat nilai tegangan tembus yang terbaca pada alat pengujian.

### 3.3.4 Pengujian Tegangan Tembus Minyak Isolasi Tanpa Pencampuran Dengan Pengaruh Pemberian Suhu

Pengujian tegangan tembus dengan pengaruh pemberian suhu, masing-masing sampel uji *pure* 100% dipanaskan dengan menggunakan *heater* sampai diperoleh suhu yang diinginkan, yaitu : 40 °C, 65 °C, dan 80 °C. Setelah temperatur yang diinginkan tercapai, selanjutnya sampel uji minyak didinginkan dengan cara didiamkan hingga sampel minyak kembali pada suhu 37 °C. Sampel uji minyak yang sudah dingin, kemudian dimasukkan ke dalam *chamber* (kotak uji). Pencatatan terhadap temperatur ruangan, kelembaban udara, dan tekanan udara juga dilakukan untuk mengetahui kondisi ruangan pengujian. Nyalakan alat uji tegangan tembus, kemudian atur jarak sela elektroda dan standar pengujian yang diinginkan pada tombol menu yang terdapat pada alat pengujian. Pengujian tegangan tembus dengan pengaruh pemberian suhu ini hanya dilakukan pada jarak sela 2,5 mm. Setelah pengaturan dilakukan, maka tekan tombol "I" atau tombol *test* pada alat pengujian. Amati kenaikan nilai tegangan yang terbaca, alat pengujian akan berhenti otomatis jika terjadi percikan api dan suara letupan di sela elektroda. Catat nilai tegangan tembus yang terbaca pada alat pengujian.

## 3.4 Diagram Alir Penelitian

Berikut ditampilkan gambar diagram alir penelitian ini:



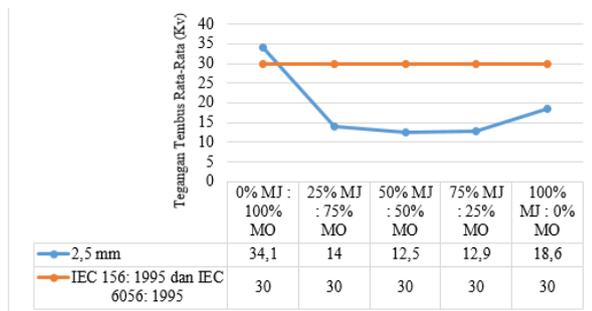
Gambar 4. Diagram alir penelitian

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1. Analisa Tegangan Tembus Campuran Minyak Jagung Sebelum Pengurangan Kadar Air Dengan Minyak Minyak Mineral

Prosedur pengujian tegangan tembus yang dilakukan mengacu pada standar IEC: 156 – 1995 & IEC: 6056 – 1995. Untuk melihat kelayakan sampel campuran minyak dalam hal karakteristik tegangan tembus sebagai alternatif isolasi cair, maka hasil pengujian tegangan tembus rata-rata campuran minyak dibandingkan dengan hasil pengujian 100% *pure* minyak mineral. Berikut hasil grafik perbandingan pengujian tegangan tembus rata-rata dengan jarak sela elektroda 2,5 mm pada

sampel minyak sebelum pengurangan kadar air yang kemudian dicampur dengan minyak mineral.



**Gambar 5** Karakteristik tegangan tembus rata-rata campuran minyak jagung sebelum pengurangan kadar air dengan minyak mineral pada jarak 2,5 mm

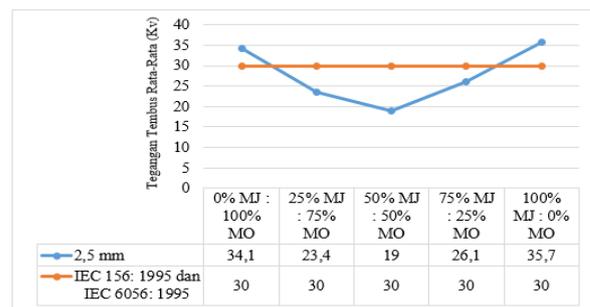
Dari grafik biru hasil pengujian memperlihatkan bahwa nilai tegangan tembus rata-rata 100% *pure* minyak mineral, yaitu sebesar 34,1 kV. Kemudian grafik memperlihatkan penurunan nilai tegangan tembus rata-rata pada pencampuran sampel 25% minyak jagung sebelum pengurangan kadar air : 75% minyak mineral, dengan nilai tegangan tembus rata-rata terukur, yaitu 14 kV dan nilai tegangan tembus semakin turun hingga pada pencampuran sampel 50% minyak jagung sebelum pengurangan kadar air : 50% minyak mineral menjadi 12,5 kV.

Dalam penelitian ini parameter fisis telah diatur sedemikian rupa, namun kondisi yang terjadi pada setiap bahan dielektrik cair tidak bisa dipastikan selalu sama. Seperti yang terlihat pada sampel 75% minyak jagung sebelum pengurangan kadar air : 25% minyak mineral dan 100% *pure* minyak jagung sebelum pengurangan kadar air, yang mana nilai tegangan tembus rata-rata mengalami peningkatan. Namun begitu, kenaikan nilai tegangan tembus belum mencapai atau sebanding dengan tegangan tembus rata-rata pada kondisi 100% *pure* minyak mineral yang diuji dan juga tidak melebihi nilai tegangan tembus sesuai dengan standar IEC: 156 – 1995 & IEC: 60156 – 1995. Secara berurutan kenaikan tegangan tembus rata-rata yang dicapai pada kedua sampel tersebut, yaitu: 12,9 kV dan 18,6 kV. Faktor-faktor salah satunya gas terlarut yang ada dalam dielektrik cair dapat mengubah besar-kecilnya nilai tegangan tembus. Gas terlarut dapat mempercepat terjadinya tembus listrik, dikarenakan gas memiliki medan listrik yang dianggap lebih besar daripada cairan dielektrik. Karena penelitian ini tidak membahas

atau menguji karakteristik gas yang dalam cairan dielektrik, maka tidak dapat dipastikan jumlah kandungan gas pada setiap pencampuran minyak yang bisa mengubah nilai tegangan tembus.

Dari semua nilai tegangan tembus yang telah diperoleh pada setiap pencampuran sampel dan 100% *pure* minyak jagung sebelum pengurangan kadar air, lalu dibandingkan dengan tabel 3.1 mengenai standar kelayakan nilai tegangan tembus menurut IEC: 156 – 1995 & IEC: 60156 – 1995, maka disimpulkan bahwa setiap perbandingan pencampuran antar minyak isolasi dan 100% *pure* minyak jagung sebelum pengurangan kadar air belum memenuhi syarat kelayakan sebagai alternatif minyak isolasi baru dari segi tegangan tembus.

#### 4.2. Analisa Tegangan Tembus Campuran Minyak Jagung Setelah Pengurangan Kadar Air Dengan Minyak Mineral



**Gambar 6** Karakteristik tegangan tembus rata-rata pada sampel campuran minyak jagung sesudah pengurangan kadar air dengan minyak mineral pada jarak 2,5 mm

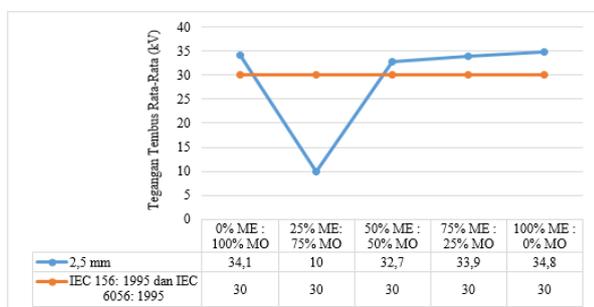
Dari grafik biru hubungan antara persentase campuran minyak dengan tegangan tembus rata-rata pada jarak 2,5 mm secara keseluruhan menjelaskan bahwa nilai tegangan tembus rata-rata hasil pengujian ini lebih baik dibandingkan hasil pengujian tegangan tembus rata-rata menggunakan sampel minyak jagung yang belum melewati proses pengurangan kadar air.

Dari grafik di atas, hasil pengujian tegangan tembus rata-rata pada sampel pencampuran 25% minyak jagung : 75% minyak mineral, yaitu sebesar 23,4 kV. Grafik kemudian menunjukkan penurunan nilai tegangan tembus menjadi 19 kV pada pencampuran sampel 50% minyak jagung sesudah pengurangan kadar air : 50% minyak mineral. Untuk hasil pengujian pada sampel pencampuran

75% minyak jagung sesudah pengurangan kadar air : 25% minyak mineral dan 100% *pure* minyak jagung sesudah pengurangan kadar air dihasilkan nilai tegangan tembus rata-rata yang meningkat dengan nilai yang terukur secara berurutan, yaitu: 26,1 kV dan 35,7 kV. Meskipun pada kondisi pencampuran ini terjadi peningkatan tegangan tembus, akan tetapi faktor-faktor seperti kelarutan gas dalam minyak bisa mengubah besar nilai tegangan tembus. Karena pengujian ini tidak membahas jumlah kelarutan gas dalam minyak isolasi, sehingga tidak bisa dipastikan seberapa besar pengaruhnya terhadap kenaikan nilai tegangan tembus pada setiap persentasi campuran antar kedua minyak isolasi.

Dari semua hasil pengujian tegangan tembus rata-rata yang telah dipaparkan di atas, dapat disimpulkan bahwa pada kondisi campuran 25% minyak jagung sesudah pengurangan kadar air : 75% minyak mineral, 50% minyak jagung sesudah pengurangan kadar air : 50% minyak mineral dan 75% minyak jagung sesudah pengurangan kadar air : 25% minyak mineral belum memenuhi syarat kelayakan minyak isolasi baru dari segi tegangan tembus menurut standar IEC: 156 – 1995 & IEC: 60156 – 1995. Sedangkan untuk kondisi 100% *pure* minyak jagung sesudah pengurangan kadar air telah memenuhi syarat kelayakan minyak isolasi dari segi tegangan tembus menurut standar IEC: 156 – 1995 & IEC: 60156 – 1995, bahkan pengujian nilai tegangan rata-rata yang diperoleh lebih baik dari nilai tegangan tembus rata-rata 100% *pure* minyak mineral yang diuji.

### 4.3 Analisa Tegangan Tembus Campuran Metil Ester Dengan Minyak Mineral



**Gambar 7** Karakteristik tegangan tembus rata-rata pada sampe campuran metil ester dengan minyak mineral pada jarak 2,5 mm

Dari grafik yang ditampilkan di atas, terlihat bahwa nilai tegangan tembus rata-rata yang terukur dengan jarak sela elektroda 2,5 mm pada persentasi campuran 25% metil ester : 75% minyak mineral diperoleh sebesar 10 kV. Nilai ini sangat rendah dibandingkan dengan hasil uji tegangan tembus rata-rata pada kondisi 100% *pure* minyak mineral dengan nilai 34,1 kV. Akan tetapi, berikutnya terjadi kenaikan nilai tegangan tembus pada pencampuran sampel 50% metil ester : 50 % minyak mineral, 75% metil ester : 25% minyak mineral, dan 100% *pure* metil ester. Secara berurutan, ketiga sampel tersebut memperoleh nilai tegangan tembus rata-rata sebesar, 32,7 kV, 33,9 kV, dan 34,8 kV.

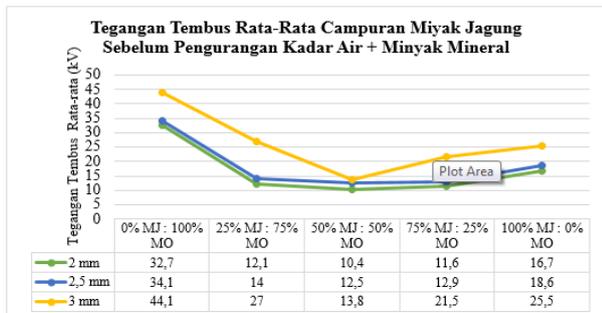
Penurunan nilai tegangan tembus rata-rata pada pencampuran 25% metil ester : 75% minyak mineral bisa dikarenakan adanya kontaminan berupa karbon, *chamber* yang tidak tertutup rapat sehingga memungkinkan masuknya debu, uap air/air yang tertinggal sewaktu pembersihan *chamber*, maupun gas terlarut di dalam minyak. Pengujian tegangan tembus pada pencampuran sampel 25% metil ester : 75% minyak mineral memang perlu diteliti lebih lanjut, melihat hasil uji tegangan tembus rata-rata yang diperoleh pada kondisi ini untuk setiap jarak elektroda 2 mm, 2,5 mm, dan 3 mm (gambar 8 – gambar 10) lebih rendah dengan hasil uji tegangan tembus rata-rata pada persentasi campuran metil ester lainnya dengan jarak sela elektroda yang sama.

Dengan demikian, dari semua hasil pengujian tegangan tembus rata-rata yang ditampilkan di atas, diambil kesimpulan bahwa pada sampel pencampuran 25% metil ester : 75% minyak mineral belum memenuhi syarat sebagai alternatif minyak isolasi baru dar segi tegangan tembus menurut standar IEC: 156 – 1995 & IEC: 60156 – 1995. Akan tetapi untuk persentasi campuran metil ester lainnya sudah memenuhi syarat sebagai alternatif minyak isolasi baru dari segi tegangan tembus menurut IEC: 156 – 1995 & IEC: 6056 – 1995.

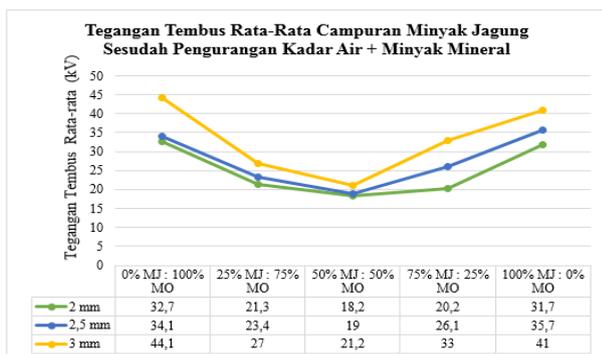
### 4.4 Analisa Pengaruh Jarak Elektroda Terhadap Tegangan Tembus

Penerapan medan elektrik yang tinggi antara penghantar bermuatan pada bahan dielektrik dapat menyebabkan kehilangan kemampuan bahan dielektrik tersebut sebagai material isolasi. Jika dua buah penghantar dalam bahan dielektrik dipisahkan oleh suatu jarak dan diterapkan medan elektrik yang tinggi , maka dapat diketahui besarnya tegangan

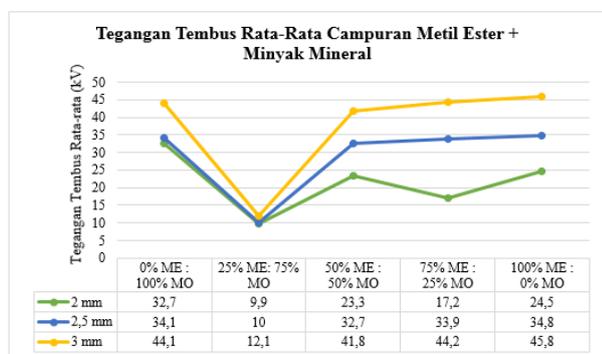
tembus yang terjadi. Dari pengujian yang telah dilakukan dalam skripsi ini, maka diperoleh grafik hubungan antara jarak sela elektroda dengan nilai tegangan tembus rata-rata yang terukur adalah sebagai berikut:



**Gambar 8** Pengaruh perubahan jarak sela elektroda terhadap tegangan tembus rata-rata pada sampel campuran minyak jagung sebelum pengurangan kadar air dengan minyak mineral



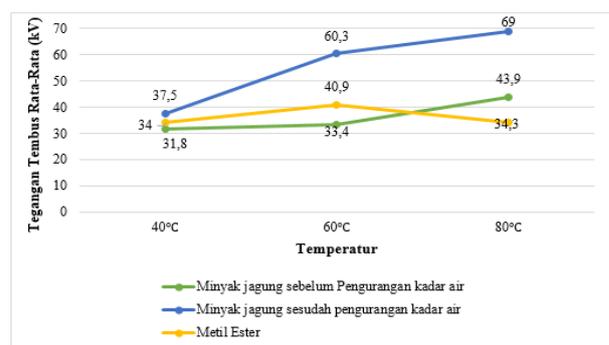
**Gambar 9** Pengaruh perubahan jarak sela elektroda terhadap tegangan tembus rata-rata pada sampel campuran minyak jagung sesudah pengurangan kadar air dengan minyak mineral



**Gambar 10** Pengaruh perubahan jarak sela elektroda terhadap tegangan tembus rata-rata pada sampel campuran metil ester dengan minyak mineral

Dari ketiga gambar di atas memperlihatkan bahwa perubahan jarak elektroda yang dilakukan akan mempengaruhi besar-kecilnya nilai tegangan tembus rata-rata yang diperoleh. Artinya, jika jarak sela elektroda diperbesar maka nilai tegangan tembus rata-rata yang terjadi akan semakin besar. Begitu juga sebaliknya, nilai tegangan tembus rata-rata akan semakin kecil jika jarak sela elektrodanya diperkecil.

### 3.5 Analisa Pengaruh Temperatur Terhadap Tegangan Tembus



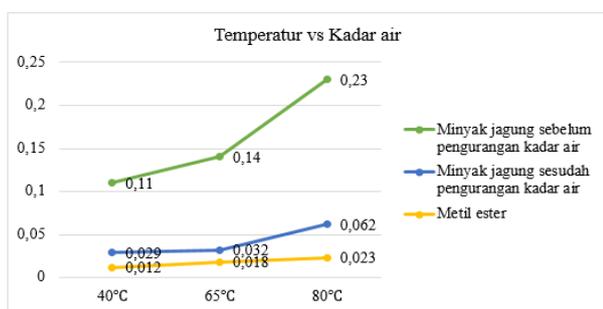
**Gambar 10.** Pengaruh perubahan temperatur terhadap tegangan tembus rata-rata pada sampel 100% pure minyak isolasi

Berdasarkan gambar di atas, secara keseluruhan terlihat bahwa kenaikan temperatur yang diberikan pada minyak isolasi dapat meningkatkan nilai tegangan tembus rata-ratanya. Kenaikan tersebut terjadi dikarenakan faktor kontaminasi atau ketidakmurnian zat dalam minyak isolasi, seperti ditemukannya bola cair dari jenis cairan lain (air), sehingga proses pemanasan minyak yang dilakukan akan membuat bola cair tersebut menguap. Penguapan ini akan mengurangi jumlah bola cair yang berada dalam minyak.

Penelitian ini hanya mengambil tiga temperatur, sehingga pengaruh naiknya temperatur terhadap penurunan tegangan tembus sampel 100% pure metil ester dengan suhu 80°C tidak dapat disimpulkan meskipun kadar air yang menguap pada kondisi ini juga meningkat. Akan tetapi, berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Jonathan F Simamora mahasiswa Universitas Indonesia pemberian temperatur dalam waktu yang cukup lama dapat menurunkan nilai tegangan tembusnya. Hal ini dikarenakan pemuaihan yang terjadi pada sampel metil ester akibat dari pemanasan yang diberikan terjadi lebih cepat

dibandingkan dengan sampel minyak jagung, sehingga timbul kehilangan dielektrik oleh karena pemecahan molekul-molekulnya. Jika temperatur terus dinaikkan dalam waktu (t) yang ditentukan, maka faktor kehilangan dielektriknya akan semakin tinggi, sehingga kegagalan minyak isolasi akan lebih cepat terjadi dan tegangan tembus akan kecil (Simamora, 2011).

Untuk melihat hubungan antara temperatur dengan jumlah kadar air yang menguap, maka sampel minyak yang digunakan pada saat pengujian tegangan tembus dihitung kadar airnya melalui pemanasan sampel di dalam oven hingga konstan.



**Gambar 11.** Diagram hubungan temperatur vs kadar air pada sampel 100% pure minyak isolasi

Dari gambar yang ditampilkan, terlihat bahwa terjadi peningkatan persentasi kadar air yang menguap seiring dengan meningkatnya suhu yang diberikan. Titik didih air berada pada suhu 100°C. Ketika minyak dipanaskan dengan suhu 40°C, maka molekul air dalam minyak menyerap energi panas dengan memperlihatkan gerakan molekul-molekul air. Gerakan molekul uap air akan terjadi semakin cepat pada saat minyak sudah panas atau mencapai suhu tertingginya, sehingga menyebabkan terlepasnya ikatan-ikatan molekul air dalam bentuk gas (menguap). Hal yang menarik adalah, jumlah kadar air yang menguap pada sampel minyak sebelum pengurangan kadar air melebihi jumlah kadar air totalnya yang sudah diukur sebelumnya, yaitu sebesar 0,043%. Begitu pula pada sampel minyak jagung sesudah pengurangan kadar air, dan metil ester. Padahal sebelum dilakukan pengujian tegangan tembus, kedua sampel tersebut telah melewati proses pemanasan di dalam oven untuk menghilangkan kadar airnya secara konstan. Patut diduga diduga molekul uap air masuk ke dalam botol pada saat botol dibuka-tutup untuk dimasukkan ke dalam kotak uji (*chamber*) selama proses pengujian tegangan tembus, sehingga

menambah persentasi kontaminan air dalam minyak. Hal ini sesuai dengan pernyataan bahwa kemurnian minyak isolasi bergantung pada beberapa penyebab, seperti pada proses pernapasan trafo dimana udara lembab bisa masuk ke dalam minyak melalui *silica gel* yang telah jenuh sehingga menimbulkan gelembung-gelembung air, dan kemurnian minyak trafo bergantung pada kondisi drum penyimpanan minyak.

### 3. Kesimpulan

Dari analisa data yang dibahas, maka dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Nilai tegangan tembus rata-rata sampel 100% pure minyak jagung sebelum pengurangan kadar air, 100% pure minyak jagung sesudah pengurangan kadar air, dan 100% pure metil ester lebih rendah dibandingkan dengan nilai tegangan tembus rata-rata pada sampel 100% pure minyak mineral.
2. Dari pegujian tegangan tembus yang dilakukan, campuran minyak jagung sebelum pengurangan kadar air dengan minyak mineral belum menjadi rekomendasi alternatif isolasi cair baru menurut standar IEC: 156-1995 & IEC: 60156-1995
3. Berdasarkan data tegangan tembus rata-rata yang diperoleh, minyak isolasi yang masuk kategori syarat minyak isolasi baru menurut standar IEC: 156 – 1995 dan IEC: 60156 – 1995, yaitu: 100% pure minyak jagung sesudah pengurangan kadar air, 50% metil ester : 50% minyak mineral, 75% metil ester : 25% minyak mineral, dan 100% pure metil ester.
4. Dengan mengubah jarak sela elektroda, maka juga akan mengubah nilai tegangan tembus minyak isolasi. Jarak sela elektroda yang besar akan menghasilkan nilai tegangan tembus yang besar, sedangkan jarak sela elektroda yang kecil akan menghasilkan nilai tegangan tembus yang kecil.

### DAFTAR PUSTAKA

- Apudo, M., & Uwour, G. (2014). Spesification For Mineral Insulating Oil (Transformator & Switchgear). *Kenya Power*, 5(2), 1-11.

- Cahyaningrum, D. K. (2017). *Analisis Karakteristik Fenomena Pre-Breakdown Voltage Berbasis Pengujian Pada Media Isolasi Minyak*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Jauhari, R. (2017). *Analisis Karakteristik Fisik Dan Elektrik Untuk Estimasi Umur Minyak Transformator Menggunakan Hukum Arrhenius*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Murdiya, F. (2015). Telaah Prospek Minyak Kelapa Sawit Sebagai Minyak Isolasi Transformator. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 14(1), 1-6.
- Nugroho, B. A., & Syahrawardi. (2013). Pengaruh Persentasi Fenol Terhadap Kekuatan Dielektrik Minyak Jagung. *SINGUDA ENSIKOM*, 1(2), 35-40.
- Putra, R. K., & Murdiya, F. (2017). Karakteristik Tegangan Tembus Arus Bolak-Balik Pada Minyak Jarak Pagar (Jatropha Curcas) Sebagai Alternatif Isolasi Cair. *Jom FTEknik*, 4(2), 1-11.
- 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. *Mikrotiga*, 1(3), 23-31.
- Rajab, A., Pawawoi, A., Sulaeman, A., & Mujahidin, D. (2014). Studi Penggunaan Metil Ester Minyak Sawit Sebagai Minyak Isolasi Peralatan Listrik. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 3(1), 1-7.
- Setiawan, R., & Murdiya, F. (2017). Perancangan Alat Dan Pengujian Tegangan Tembus Dengan Isolasi Minyak RBDPO Olein Menggunakan Elektroda Bola-Bola. *Jom FTEKNIK*, 4(2), 1-14.
- Simamora, J. F. (2011). *Analisis Pengaruh Kenaikan Temperatur Dan Umur Minyak Transformator Terhadap Degradasi Tegangan Tembus Minyak Transformator*. Depok: Universitas Indonesia.
- Sinuhaji, Y. P. (2012). *Analisis Keadaan Minyak Isolasi Transformator Daya 150 kV Menggunakan Metode Dissolved Gas Analysis (DGA) Dan Fuzzy Logic Pada Gardu Induk Wilayah Sidoarjo*. Jember: Universitas Jember.
- Tobing, B. L. (2012). *Dasar-Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi* (2<sup>nd</sup> ed.). Jakarta: Erlangga.
- Umiati, N. A. (2009). Pengujian Kekuatan Dielektrik Minyak Sawit Dan Minyak Castrol Menggunakan Elektrode Bola-Bola Dengan Variasi Jarak Antar Elektrode Dan Temperatur. *Transmisi, Jurnal Teknik Elektro*, 11(1), 23-36.