

# ANALISIS TEGANGAN TEMBUS MINYAK KELAPA MURNI (VIRGIN COCONUT OIL) SEBAGAI ISOLASI CAIR DENGAN VARIASI ELEKTRODA UJI

Eko Budiyanoro<sup>1</sup>, Abdul Syakur, ST, MT<sup>2</sup>, M Facta, ST, MT<sup>3</sup>

Teknik Elektro  
Universitas Diponegoro  
Semarang

## ABSTRAK

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 ketidakhayuan dan pergerakan dalam isolasi cair. Pengujian tegangan tembus terhadap minyak kelapa murni dimaksudkan untuk mengetahui kelayakan minyak kelapa murni sebagai isolasi cair. Pengujian ini menggunakan sepasang elektroda setengah bola-setengah bidang-bidang dan bidang-setengah bola. Pengujian dilakukan dengan beberapa variasi antara lain variasi jarak sela, diameter elektroda, bentuk elektroda dan posisi elektroda. Hasil pengujian tegangan tembus terhadap dielektrik cair minyak kelapa murni, dijadikan dasar untuk menentukan kelayakan minyak kelapa murni sebagai isolasi cair.

Dari hasil Pengujian, nilai tegangan tembus minyak kelapa murni sebesar 29,17 kV/2,5 mm. Nilai ini belum memenuhi standar IEC 156 yaitu sebesar 30 kV/2,5 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 Kelapa Murni

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada peralatan tegangan tinggi khususnya transformator daya, isolasi sangat diperlukan untuk memisahkan dua atau lebih penghantar listrik yang bertegangan sehingga antara penghantar-penghantar tersebut tidak terjadi lompatan atau percikan listrik. Apabila tegangan yang diterapkan mencapai tingkat ketinggian tertentu maka bahan isolasi tersebut akan mengalami pelepasan muatan yang merupakan bentuk kegagalan listrik.

Isolasi cair yang berasal dari minyak bumi kurang ramah lingkungan. Ada dua alasan yang harus dipertimbangkan dalam rangka mencari alternatif isolasi cair ramah lingkungan diantaranya :

- Isolasi cair yang berasal dari minyak bumi sangat sulit terdegradasi secara biologis, sedangkan minyak nabati dapat terdegradasi secara biologis secara sempurna.
- Produk minyak bumi sewaktu-waktu dapat habis dan dibutuhkan waktu yang lama untuk mendapatkannya lagi, sedangkan minyak nabati persediaannya sangat melimpah.

Berdasarkan pertimbangan diatas maka dilakukan observasi terhadap minyak nabati yang dalam hal ini dipilih minyak kelapa murni. Untuk mengetahui kelayakan minyak kelapa murni sebagai alternatif isolasi cair dilakukan pengujian untuk mengetahui tegangan tembus minyak tersebut.

### 1.2 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari penyusunan tugas akhir ini adalah untuk menganalisis hasil pengujian tegangan tembus minyak kelapa murni dan menentukan kelayakan minyak kelapa murni sebagai isolasi cair dengan mengetahui:

- Nilai tegangan tembus AC minyak kelapa murni dengan menggunakan elektroda standar pengujian IEC 156.
- Pengaruh jarak sela antar elektroda terhadap nilai tegangan tembus minyak kelapa murni.
- Pengaruh diameter elektroda terhadap nilai tegangan tembus minyak kelapa murni.
- Pengaruh posisi elektroda (vertikal dan horisontal) terhadap nilai tegangan tembus minyak kelapa murni.
- Fenomena yang terjadi dalam pengujian tegangan tembus minyak kelapa murni.

### 1.3 Pembatasan Masalah

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

- Sampel uji yang digunakan minyak kelapa murni (Virgin Coconut Oil).
- Pengujian menggunakan variasi elektroda setengah bola dan elektroda bidang.
- Elektroda setengah bola yang digunakan mempunyai diameter 40 mm, 50 mm, dan 60 mm.
- Elektroda bidang yang digunakan mempunyai diameter 45 mm, tebal 5 mm.
- Jarak sela antara elektroda yang digunakan mulai 1,5 mm sampai 2,5 mm dengan interval 0,5 mm.
- Tegangan yang diterapkan untuk pengujian adalah tegangan AC (bolak-balik) frekuensi rendah 50 Hertz.
- Temperatur ruang pengujian yang digunakan adalah temperatur minyak kelapa murni pada suhu 26<sup>0</sup> sampai 30<sup>0</sup> C.
- Analisis difokuskan pada mekanisme terjadinya tegangan tembus minyak kelapa murni (Virgin Coconut Oil).

<sup>1</sup>Mahasiswa teknik elektro

<sup>2</sup>Dosen Pembimbing 1

<sup>3</sup>Dosen Pembimbing 2

## II. MEKANISME KEGAGALAN PADA ISOLASI CAIR

### 2.1 Pembangkitan Tegangan Tinggi AC

Untuk pengujian tegangan tembus digunakan tegangan tinggi AC Untuk membangkitkan tegangan tinggi arus bolak balik.

Trafo uji yang digunakan adalah trafo satu fasa. Hal ini disebabkan karena pengujian biasanya dilakukan untuk setiap fasa.

### 2.2 Kekuatan Dielektrik

Suatu dielektrik tidak mempunyai elektron-elektron bebas. Misalnya suatu dielektrik ditempatkan diantara dua elektroda kemudian elektroda diberi tegangan, maka akan timbul medan listrik di dalam dielektrik. Medan listrik ini akan memberi gaya kepada elektron-elektron agar terlepas dari ikatannya dan menjadi elektron bebas. Maka dapat dikatakan bahwa medan listrik merupakan suatu beban yang menekan dielektrik agar berubah sifat menjadi konduktor.

Beban yang dipikul dielektrik disebut juga terpaan medan listrik. Setiap dielektrik mempunyai batas kekuatan untuk memikul terpaan listrik. Jika terpaan listrik yang dipikulnya melebihi batas tersebut dan terpaan berlangsung lama, maka dielektrik akan menghantar arus atau gagal melaksanakan fungsinya sebagai isolator. Dalam hal ini dielektrik mengalami tembus listrik atau "breakdown"<sup>[18]</sup>.

### 2.3 Isolasi Cair

#### 2.3.1 Teori Kegagalan Isolasi Cair

Karakteristik pada isolasi cair akan berubah jika terjadi ketidakmurnian di dalamnya. Hal ini akan mempercepat terjadinya proses kegagalan. Faktor-faktor yang mempengaruhi kegagalan isolasi antara lain adanya partikel padat, uap air dan gelembung gas. Teori kegagalan zat isolasi cair dapat dibagi menjadi empat jenis sebagai berikut<sup>[2]</sup>:

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

Teori ini merupakan perluasan teori kegagalan dalam gas, artinya proses kegagalan yang terjadi dalam zat cair dianggap serupa dengan yang terjadi dalam gas. Oleh karena itu supaya terjadi kegagalan diperlukan elektron awal yang dimasukkan ke dalam zat cair. Elektron awal inilah yang akan memulai proses kegagalan.

##### b. 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.

##### c. Teori kegagalan bola cair

Jika suatu zat isolasi mengandung sebuah bola cair dari jenis cairan lain, maka dapat terjadi kegagalan akibat ketidakstabilan 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.

##### d. 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.

### 2.4 Kekuatan Kegagalan

Dari semua teori yang membahas tentang kegagalan zat cair tidak memperhitungkan hubungan antara panjang ruang celah (sela) dengan kekuatan peristiwa kegagalan. Semuanya hanya membahas tentang kekuatan kegagalan maksimum yang dicapai. Namun dari semua teori diatas dapat ditarik suatu persamaan baru yang berisi komponen panjang ruang celah dan komponen kekuatan peristiwa kegagalan pada benda cair, yaitu<sup>[9]</sup>:

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

Dimana :

$V_b$  = tegangan gagal / *breakdown* (kV)

$d$  = panjang ruang celah (mm)

$A$  = konstanta

$n$  = konstanta yang nilainya <1

### 2.5 Minyak Kelapa Murni (Virgin Coconut Oil)<sup>[10]</sup>

Virgin Coconut Oil biasa disebut dengan minyak kelapa murni terbuat dari minyak kelapa yang mengalami proses lanjutan sehingga menghasilkan minyak kelapa yang murni. Sehingga minyak kelapa murni sangat stabil dan tidak mudah teroksidasi oleh hama, cahaya, kelembaban dan oksigen.

#### 2.5.1 Teknik Pemrosesan Minyak Kelapa Murni

Ada dua cara untuk menghasilkan minyak kelapa murni (VCO) yaitu dengan cara pemanasan dan tanpa pemanasan.

##### 1. Teknik Pengolahan Dengan Pemanasan.

Pengolahan dengan pemanasan merupakan cara tradisional yang sudah lama dilakukan dalam mengolah kelapa menjadi minyak. Hanya saja untuk mendapatkan minyak kelapa murni perlu sedikit perbaikan yaitu dengan pemanasan bertahap yang meliputi pemanasan krim santan dan pemanasan minyak.

##### 2. Teknik Pengolahan Tanpa Pemanasan

Tahapan pembuatan minyak kelapa murni menggunakan metode tanpa pemanasan diawali dengan proses pembuatan santan. Pembuatan santan ini sama dengan proses dengan pemanasan. Hanya saja untuk mendapatkan santan digunakan perbandingan 1 kg kelapa parut dan 4-6 liter air.

Proses selanjutnya adalah mendiamkan santan selama 2 jam di ember plastik transparan. Krim yang diperoleh dicampur dengan minyak pancing. Perbandingannya adalah 3 bagian krim dan 1 bagian minyak pancing. Campuran ini diaduk merata, lalu difermentasi selama 10-12 jam.

Setelah difermentasi, campuran tersebut terpisah menjadi 3 lapisan, yaitu lapisan atas berupa minyak kelapa murni, lapisan tengah berupa blondo (warna putih), dan lapisan bawah berupa air. Lapisan minyak paling ataslah yang diambil secara perlahan jangan sampai tercampur dengan lapisan di bawahnya. Minyak yang diperoleh tersebut dapat digunakan sebagai

minyak pancing untuk proses pengolahan krim berikutnya.

Minyak yang didapat belum bening, maka perlu disaring dengan kertas saring dengan diberi batu zeolit diatasnya. batu eolit ini berfungsi untuk menyerap asam lemak bebas yang masih terdapat dalam minyak.

### 2.5.2 Sifat-sifat Minyak Kelapa Murni

Minyak kelapa murni terdiri atas 90% asam lemak jenuh dan 10% asam lemak tak jenuh. Asam lemak jenuh sebagian besar merupakan asam laurat sehingga minyak kelapa juga sering disebut minyak laurat. Asam laurat ini merupakan salah satu senyawa rantai karbon pendek. Adapun komponen asam lemak jenuh adalah asam laurat 44-52%, asam miristat 13-19%, asam palmitat 7,5-10,5%, asam kaprilat 5,5-9,5%, asam stearat 1,0-3,0%. Sementara asam lemak tak jenuh hanya terdiri dari asam oleat (omega 9) 5,0-8,0%, asam linoleat (omega 6) 1,5-2,5% dan asam palmitoleat 1,3 %. Beberapa sifat fisik lainnya dapat dilihat dalam tabel 2.2.

Dibandingkan dengan minyak nabati lainnya seperti minyak sawit, minyak kedelai, minyak jagung, dan minyak bunga matahari, minyak kelapa murni memiliki beberapa keunggulan, yaitu kandungan asam lemak jenuhnya tinggi, komposisi lemak rantai mediumnya tinggi, dan berat molekulnya rendah.

## 2.6 Standarisasi Pengujian Isolasi cair

### 2.6.1 Prosedur Pengujian

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

#### a. Persiapan Sampling

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

Udara dari suhu ruang yang tidak diperlukan sedapat mungkin dihindarkan.

#### b. Pengisian Kotak Uji

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

#### c. Pemberian Tegangan

Berikan tegangan pada elektroda dengan kenaikan yang seragam (konstan) dimulai dari 0 V sampai sekitar  $2,0 \text{ kV/dt} \pm 0,2 \text{ kV/dt}$  sampai timbul tegangan tembus.

#### d. Pencatatan data

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

#### e. Laporan

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

### 2.6.2 Tegangan Tembus Isolasi Cair

Menurut standarisasi SPLN 49-1 tegangan tembus yang harus dipenuhi untuk spesifikasi minyak isolasi baru adalah  $\geq 30 \text{ kV/2.5 mm}$ <sup>[21]</sup>.

## III. METODOLOGI PENGUJIAN

### 3.1 Peralatan Dan Bahan

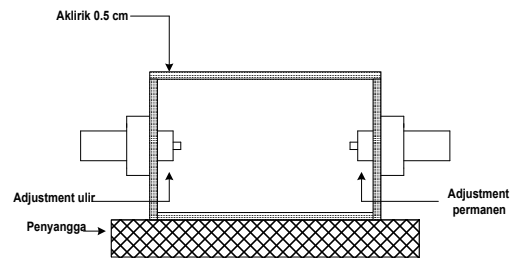
Peralatan yang digunakan meliputi kit pembangkit tegangan tinggi ac, elektroda uji, kotak uji, minyak kelapa murni, thermometer, heater.

### 3.2 Kotak Uji

Kotak uji adalah sebagai sebuah sistem yang berkaitan dengan kerja tertentu dalam ruang dan keseluruhan ruang yang ditutupi oleh lapisan permukaan sebagai pembatas sistem. Kotak uji terbuat dari bahan plastik *acrylic* dengan ketebalan 3 mm. Kotak uji yang digunakan dalam pengujian ini ada 2 macam yaitu :

#### 3.2.1 Kotak uji horisontal

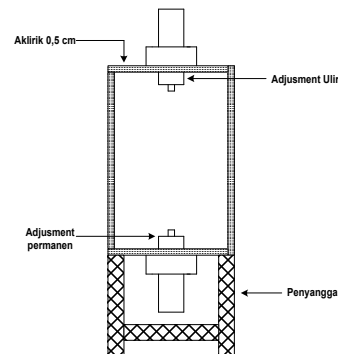
Kotak uji ini digunakan untuk tempat sampel uji dan elektroda yang dipasang secara horisontal



Gambar 3.1 Kotak Uji Horisontal

#### 3.2.2 Kotak uji vertikal

Kotak uji ini digunakan untuk tempat sampel uji dan elektroda yang dipasang secara vertikal.



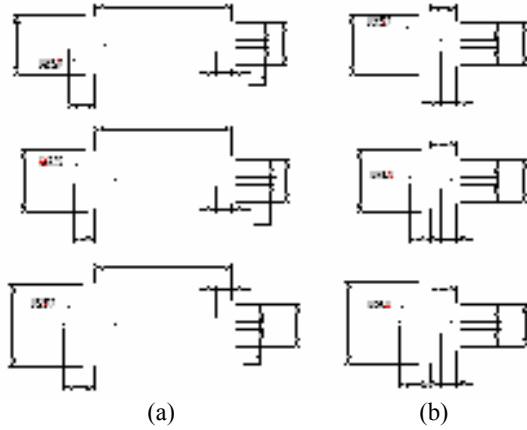
Gambar 3. 2 Kotak Uji Vertikal

### 3.3 Elektroda

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

#### 3.3.1 Elektoda Setengah Bola

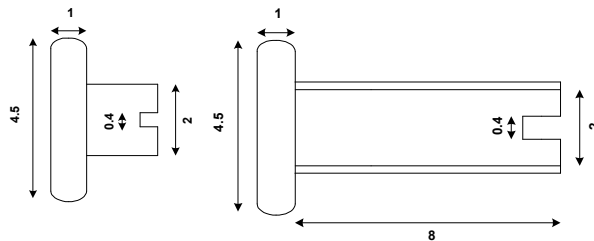
Elektroda setengah bola yang digunakan untuk pengujian ini mempunyai diameter 40 mm, 50 mm dan 60 mm. Dimana elektroda setengah bola dengan diameter 50 mm yang sesuai dengan standar IEC 156, sedangkan yang berdiameter 40 mm dan 60 mm hanya sebagai pembanding.



Gambar 3.3 Elektroda Setengah Bola  
(a) elektroda setengah bola posisi vertikal  
(b) elektroda setengah bola posisi horizontal

### 3.3.2 Elektroda Bidang

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



Gambar 3.4 Elektroda Bidang  
(a) elektroda bidang posisi horisontal  
(b) elektroda bidang posisi vertikal

### 3.4 Urutan Pengujian

Urutan pengujian isolasi cair berdasarkan IEC 156 adalah sebagai berikut :

1. Sampel minyak kelapa murni yang akan diuji terlebih dahulu di filter untuk menghilangkan partikel padat dan minyak sawit dipanaskan pada suhu  $50^{\circ}\text{C}$  untuk menghilangkan uap air yang terkandung dalam minyak kelapa murni.
2. Setelah mencapai suhu tersebut minyak kelapa murni didinginkan kembali sampai pada suhu ruang yaitu sekitar  $26^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$ . Saat pendinginan minyak ditutup menggunakan kertas saring. Sebelum minyak dituang, kotak uji harus dalam keadaan bersih dan kering.
3. Pada saat menuang minyak ke dalam kotak uji harus hati-hati agar tidak menimbulkan gelembung gas dalam minyak.
4. Banyaknya minyak harus sedemikian rupa sehingga tingginya di atas puncak elektroda lebih dari 20 mm atau 40 mm dari sumbu elektroda.
5. Kemudian minyak dibiarkan kira-kira 10 menit untuk menghilangkan gelembung gas yang masih mungkin terjadi saat pengisian minyak ke dalam kotak uji.
6. Selanjutnya tegangan dinaikkan secara bertahap 2 kV/detik sampai terjadi tembus listrik

7. Setelah terjadi tembus listrik minyak diaduk dengan suatu tangkai tipis dan bersih untuk menghilangkan gelembung gas yang timbul saat terjadi tembus listrik.
8. Setelah terjadi tembus listrik elektroda juga harus di periksa untuk meyakinkan bahwa elektroda tidak mengalami kerusakan pada permukaannya yang diakibatkan saat terjadi tembus listrik.
9. Selang dua menit pengujian di ulang kembali sampai dengan enam kali pengujian.
10. Tegangan tembus dari keenam pengujian dijumlahkan untuk mendapatkan tegangan tembus rata-rata.

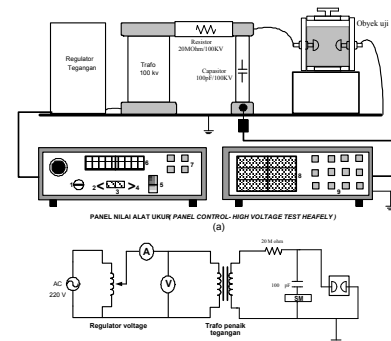
### 3.5 Variasi Pengujian

Variasi pengujian dalam percobaan diperlukan untuk mengetahui nilai tegangan tembus minyak kelapa murni dalam berbagai macam variasi pengujian. Variasi pengujian meliputi variasi jarak sela, diameter elektroda, bentuk medan pada elektroda, dan posisi elektroda.

#### 3.5.1 Pengesetan Peralatan

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

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



Gambar 3.5 Rangkaian Pengujian  
(a) bagan peralatan uji  
(b) rangkaian pengujian

5. Memastikan rangkaian telah tersusun dan terhubung dengan baik dan benar untuk menghindari kesalahan dalam pengujian.
6. Menuangkan sampel minyak yang akan diuji dan mengatur jarak sela antar elektroda.
7. Menghidupkan trafo uji dari panel kontrol dengan menggunakan kunci khusus sebagai saklar penghubung atau pemutus aliran.
8. Menekan tombol ready agar tegangan dapat menuju ke alat uji, kemudian tegangan dinaikkan dengan tombol penaik tegangan pada panel kontrol (Panel Control Operating Terminal OT 276) sampai terjadi tegangan tembus.
9. Menurunkan tegangan dengan tombol penurun tegangan pada panel kontrol (Panel Control Operating Terminal OT 276).
10. Mencatat nilai tegangan tembus yang muncul pada panel kontrol (Digital Measuring Instrumen DMI/551)

### 3.6 Perencanaan Tahapan Pengujian

#### 3.6.1 Tahap-tahap Pengujian Tegangan Tembus Minyak Kelapa Murni (Virgin Coconut Oil)

Pengujian direncanakan dalam 5 (empat) tahap yang dilaksanakan di laboratorium tegangan tinggi dengan menggunakan tegangan AC (bolak balik).

Tahap 1 : Pengujian dengan menggunakan variasi isolasi cair minyak kelapa murni (VCO). Elektroda yang digunakan adalah elektroda setengah bola–setengah bola. Posisi pengujian secara horisontal dengan diameter 40mm,50mm,60mm, jarak sela 1,5mm,2mm,dan 2,5mm.

Tahap 2 : Pengujian dengan menggunakan variasi isolasi cair minyak kelapa murni (VCO). Elektroda yang digunakan adalah elektroda bidang-bidang. Posisi pengujian secara horisontal dengan diameter 45mm, jarak sela 1,5mm,2mm,dan 2,5mm.

Tahap 3 : Pengujian dengan menggunakan variasi isolasi cair minyak kelapa murni (VCO). Elektroda yang digunakan adalah elektroda setengah bola–setengah bola. Posisi pengujian secara vertikal dengan diameter 40mm,50mm,60mm, jarak sela 1,5mm,2mm,dan 2,5mm.

Tahap 4 : Pengujian dengan menggunakan variasi isolasi cair minyak kelapa murni (VCO). Elektroda yang digunakan adalah elektroda bidang-bidang. Posisi pengujian secara vertikal dengan diameter 45mm, jarak sela 1,5mm,2mm,dan 2,5mm.

Tahap 5 : Pengujian dengan menggunakan variasi isolasi cair minyak kelapa murni (VCO). Elektroda yang digunakan adalah elektroda bidang–setengah bola. Posisi pengujian secara horisontal dengan elektroda bidang mempunyai diameter 45 mm dan elektroda setengah bola berdiameter 50 mm, , jarak sela 1,5mm,2mm,dan 2,5mm.

## IV. DATA DAN ANALISIS

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

### 4.1 Hasil Pengujian

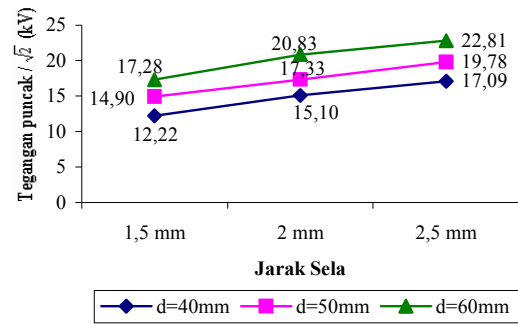
#### 4.1 Tabel pengujian Tegangan tembus

Posisi	Elektroda	Diamtr Elktrod (mm)	Tegangan Tembus (kV)		
			Jarak sela (mm)		
			1.5	2	2.5
Horisontal	Setengah bola–setengah bola	40	17,40	23,01	25,89
		50	19,60	25,99	29,17
		60	22,12	28,08	30,44
Vertikal	Setengah bola –setengah bola	40	12,22	15,10	17,09
		50	14,90	17,33	19,78
		60	17,28	20,83	22,81
Horisontal	Bidang-bidang	45	15,84	17,17	19,63
Vertikal	Bidang-bidang	45	10,89	13,83	14,92
Horisontal	Setengah Bola - bidang	50 dan 45	14,71	16,76	18,01

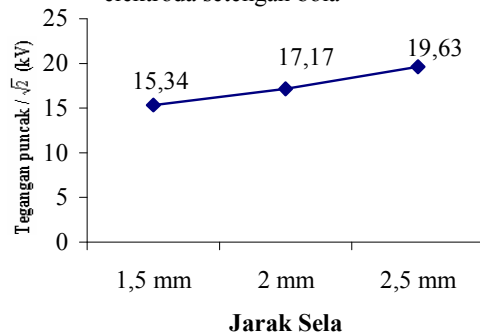
## 4.2 Analisis

### 4.2.1 Analisis Pengaruh Jarak Sela

#### 1. Posisi Elektroda Horisontal

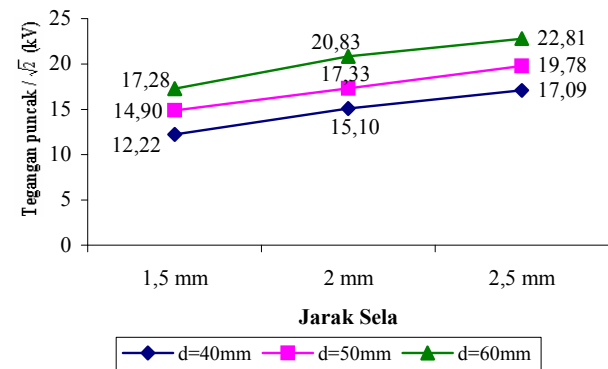


Gambar 4.1 Tegangan tembus minyak kelapa murni (VCO) sebagai fungsi jarak sela dengan elektroda setengah bola

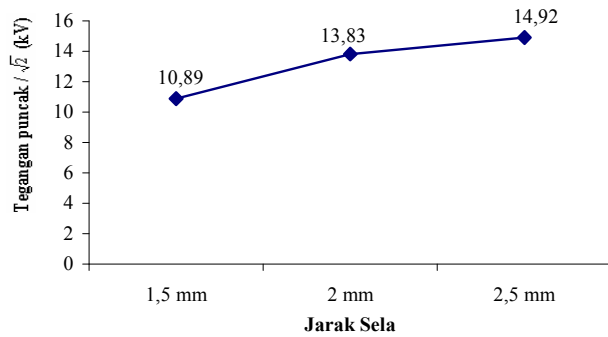


Gambar 4.2 Tegangan tembus minyak kelapa murni (VCO) sebagai fungsi jarak sela dengan elektroda bidang

#### 1. Posisi Elektroda Vertikal



Gambar 4.3 Tegangan tembus minyak kelapa murni (VCO) sebagai fungsi jarak sela dengan elektroda setengah bola



Gambar 4.4 Tegangan tembus minyak kelapa murni (VCO) sebagai fungsi jarak sela dengan elektroda bidang

Berdasarkan grafik pada gambar 4.1, 4.2, 4.3, dan 4.4, dapat diketahui bahwa hasil pengujian tegangan tembus pada posisi kotak uji vertikal maupun horisontal elektroda setengah bola dan bidang, 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  $V_b = Ad^n$ , 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.

Jika dilihat dari nilai gradiennya (m), maka  $m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$

Sehingga dapat diketahui gradien untuk masing masing elektroda adalah sebagai berikut :

Tabel 4.2 Nilai Gradien Karena Pengaruh Jarak Sela

Elektroda horisontal	Nilai Gradien
Setengah Bola-Setengah Bola	Diameter 40 mm = 8,32
	Diameter 50 mm = 9,6
	Diameter 60 mm = 8,49
Elektroda vertikal	Nilai Gradien
Setengah Bola-Setengah Bola	Diameter 40 mm = 5,53
	Diameter 50 mm = 4,88
	Diameter 60 mm = 4,87

Semakin tinggi jarak sela, nilai tegangan tembus semakin besar, tetapi nilai gradien cenderung tetap meskipun diameter elektroda yang digunakan besarnya berbeda untuk interval jarak sela 1,5 mm sampai 2,5 mm.

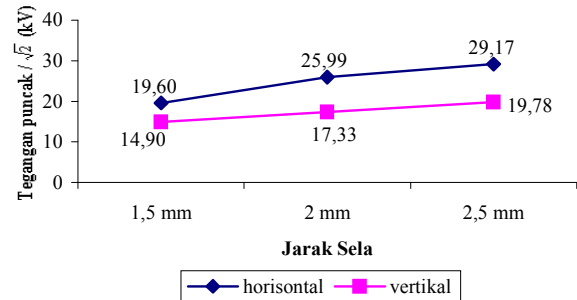
#### 4.2.2 Analisis Pengaruh Diameter Elektroda

Berdasarkan grafik pada gambar 4.1 dan 4.3 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.

#### 4.2.3 Analisis Pengaruh Posisi Elektroda



Gambar 4.5 Tegangan tembus minyak kelapa murni (VCO) sebagai fungsi Jarak sela dengan elektroda setengah bola

Berdasarkan gambar 4.5, didapat nilai tegangan tembus minyak kelapa murni dengan elektroda setengah bola pada posisi horisontal maupun vertikal. Pada posisi horisontal nilai tegangan tembus minyak kelapa murni dengan elektroda setengah bola berdiameter 50 mm (ukuran sesuai standar IEC 156) pada jarak sela 1,5 mm, 2 mm, 2,5 mm berturut-turut 19,60 kV, 25,99 kV, 29,17 kV, sedangkan pada posisi vertikal didapat nilai 14,90 kV, 17,33 kV, 19,78 kV, berdasarkan hasil pengujian tegangan tembus tersebut maka dapat dikatakan bahwa nilai tegangan tembus posisi horisontal relatif lebih besar dibandingkan dengan hasil pengujian posisi vertikal. Hal ini disebabkan karena pada posisi vertikal, setelah terjadi tembus listrik karbon hitam akibat tembus listrik sulit untuk turun ke bawah yang lamanya dipengaruhi oleh nilai viskositas dari minyak kelapa murni, semakin tinggi nilai viskositasnya maka semakin lama karbon hitam tersebut turun ke bawah, sehingga memungkinkan dielektrik minyak kelapa murni terkontaminasi oleh karbon hitam tersebut. Di samping itu, pada posisi vertikal laju elektron juga dipengaruhi oleh gaya gravitasi bumi sehingga laju elektron menjadi lebih cepat dibandingkan dengan posisi horisontal. Dengan begitu nilai tegangan tembus posisi vertikal relatif lebih kecil dibandingkan posisi horisontal.

#### 4.2.4 Fenomena Yang Terjadi Pada Pengujian Tegangan Tembus Minyak Kelapa Murni

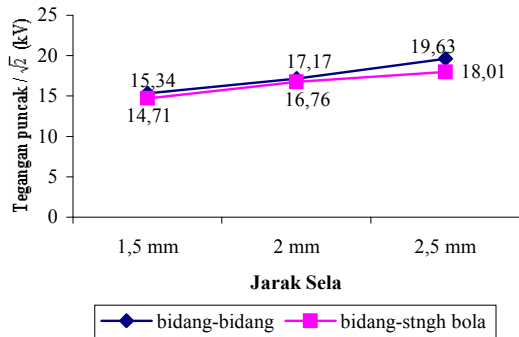
Proses sebelum terjadi tembus dimulai dari menaikkan tegangan uji secara bertahap, dalam kondisi mendekati nilai tegangan tembus timbul suara mendesis. Hal ini terjadi karena adanya tekanan yang terus-menerus dan semakin besar pada minyak kelapa murni.

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. Hal ini menurut Arismunandar<sup>[2]</sup> 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

#### 4.2.5 Pengaruh Bentuk Elektroda



Gambar 4.6 Tegangan tembus minyak kelapa murni (VCO) sebagai fungsi jarak sela dengan elektroda bidang-bidang dan bidang-setengah bola

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, menunjukkan bahwa nilai tegangan tembus dengan elektroda seragam (elektroda bidang-bidang) lebih besar dari pada tegangan tembus dengan elektroda tak seragam (elektroda setengah bola-bidang). Hal ini dikarenakan bentuk elektroda seragam (elektroda bidang-bidang) mempunyai luas penampang yang lebih besar daripada elektroda tak seragam (elektroda setengah bola-bidang), hal tersebut mengakibatkan rapat muatan yang dihasilkan lebih kecil sehingga sulit dalam pembentukan elektron awal untuk menghasilkan kegagalan atau tembus pada minyak kelapa murni. Sedangkan pada bentuk elektroda setengah bola-bidang atau elektroda tak seragam proses pembentukan elektron awal lebih mudah karena bentuk elektroda setengah bola lebih runcing dibandingkan elektroda bidang. Sehingga dengan luas penampang yang kecil akan mengakibatkan rapat muatan yang dihasilkan lebih besar sehingga mudah dalam pembentukan elektron awal untuk menghasilkan kegagalan atau tembus pada minyak kelapa murni

#### 4.2.6 Perbandingan Nilai Tegangan Tembus Minyak Kelapa Murni dengan Standarisasi

Berdasarkan hasil pengujian kondisi standar (menurut IEC 156) yang dilakukan pada minyak kelapa murni didapat nilai tegangan tembus sebesar 29,17 kV pada jarak sela 2,5 mm. Hal ini masih jauh dengan nilai standar yang ditetapkan oleh IEC 156. Berdasarkan IEC 156, nilai tegangan tembus yang harus dipenuhi oleh minyak jika akan digunakan sebagai isolasi minyak trafo harus berkisar antara 30 kV sampai 50 kV.

Jika hanya dilihat dari tegangan tembusnya maka minyak kelapa murni dapat digunakan sebagai alternatif isolasi cair untuk peralatan listrik dengan tegangan kerja  $\leq 2.4$  kV, berdasarkan standarisasi NESC (National Electrical Safety Code) tahun 1990.

## V. PENUTUP

Dari hasil pengukuran tegangan tembus minyak kelapa murni (Virgin Coconut Oil menggunakan variasi elektroda setengah bola dan bidang dalam posisi vertikal maupun horisontal pada temperatur suhu ruang 26°C-30°C dengan kelembaban relatif (RH) sebesar 41 % dan tekanan atmosfer 991 mm Hg, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Nilai tegangan tembus pada minyak kelapa murni pada kondisi pengujian menurut IEC 156 sebesar 29,17 kV pada jarak sela 2,5 mm.
- Nilai tegangan tembus pada minyak kelapa murni cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya jarak sela antar elektroda.
- Nilai tegangan tembus pada minyak kelapa murni cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya ukuran diameter elektroda yang digunakan.
- Pada kondisi pengujian standar menurut IEC 156, nilai tegangan tembus posisi vertikal relatif lebih kecil daripada posisi horisontal, hal ini ditunjukkan dengan nilai gradien posisi vertikal lebih kecil dibandingkan dengan posisi horisontal.
- 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.
- Nilai tegangan tembus dengan elektroda seragam (elektroda bidang-bidang) lebih besar dari pada tegangan tembus dengan elektroda tak seragam (elektroda setengah bola-bidang).
- Nilai A cenderung naik seiring dengan besarnya diameter elektroda, pada jarak sela dan elektroda yang digunakan sama, sedangkan n berpengaruh terhadap bentuk grafik.
- Semakin tinggi jarak sela, nilai tegangan tembus semakin besar, tetapi nilai gradien cenderung tetap meskipun diameter elektroda yang digunakan besarnya berbeda dengan jarak sela dan elektroda yang digunakan sama.
- Pada kondisi pengujian menurut standar IEC 156, nilai tegangan tembus minyak kelapa murni lebih besar daripada minyak trafo bekas. Nilai Tegangan tembus minyak kelapa murni sebesar 29,17 kV / 2,5 mm, sedangkan minyak trafo bekas sebesar 18,4 kV / 2,5 mm.
- Nilai tegangan tembus minyak kelapa murni pada pengujian kondisi standar menurut IEC 156, belum memenuhi persyaratan jika digunakan sebagai isolasi cair.
- Jika hanya dilihat dari nilai tegangan tembusnya, minyak kelapa murni (virgin coconut oli) dapat digunakan sebagai isolasi minyak trafo pada tegangan kerja 2,4 kV.

### 5.2 Saran

Saran yang dapat dikemukakan bagi para pembaca dan peminat dalam bidang isolasi cair yang berupa minyak nabati, dapat meneruskan penelitian ini dengan berbagai jenis minyak nabati lainnya, dan dengan penerapan tegangan searah maupun tegangan impuls.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Abduh, Syamsir, *Teori Kegagalan Isolasi*, Universitas Trisakti, 2003.
2. Arismunandar, A, *Teknik Tegangan Tinggi Suplemen*, Ghalia, 1982.
3. \_\_\_\_\_, *Teknik Tegangan Tinggi*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 2001.
4. Baktiman, Philemon., *Pengujian Tegangan Tembus Pada Media Isolasi Cair Minyak Trafo Dan Minyak Sawit Dengan Menggunakan Elektroda Setengah Bola Dan Jarum*, Skripsi S-1, Universitas Diponegoro, Semarang, 2005.
5. Hadi, Sutrisno, *Statistik 2*, Penerbit ANDI OFFSET, Yogyakarta, 1994.
6. Kind, Dieter, *An Introduction to High Voltage Experimental Technique*, Willev Eastern Limited 1993.
7. \_\_\_\_\_, *Pengantar Teknik Eksperimental Tegangan Tinggi* “ terjemahan K.T. Sirait, ITB, Bandung 1993.
8. \_\_\_\_\_, *High Voltage Insulation Technology*, Indian Institut of Technology, India 1993.
9. Maller and Naidu, et al, *High Voltage Engineering*, second edition, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi, 1995.
10. Rindengan, Berlina and Novarianto, Hengky, *Pembuatan dan Pemanfaatan Minyak Kelapa Murni*, Penebar Swadaya, Jakarta, 2004.
11. Rusdianawati, Rofi, *Perbandingan Nilai Tegangan Tembus Pada Media Isolasi Udara, Minyak Trafo dan Polimer Resin Epoxy*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik – UNDIP, Semarang, 2005.
12. Santoro, *Pemurnian Minyak Trafo Di PT. PLN (Persero) UPT Semarang*, Laporan Kerja Praktek, Universitas Diponegoro, Semarang, 2006.
13. Salam, Abdel, ” High Voltage Engineering” , Marcel Dekker Inc, New York
14. Schwenk, Klaus, *Operating Instruction PZTL Test Transformer Cylinder Type With Air Gap*, HAEFELY High Voltage Test, 2002.
15. Syakur, Abdul, *Modul Praktikum Gejala Medan & Tegangan Tinggi*, Laboratorium Konversi Energi dan Sistem Tenaga Listrik Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik – UNDIP, Semarang, 2004
16. Tadjuddin, *Analisis Kegagalan Minyak Transformator*, Elektro Indonesia Edisi ke Dua Belas, maret 1998
17. Tadjudin, *Partial Discharge dan Kegagalan Bahan Isolasi*, Elektro Indonesia Edisi ke Tiga Belas, Juni, 1998
18. Tobing, Bongas L, *Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2003.
19. \_\_\_\_\_, “ Peralatan Tegangan Tinggi ”, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2003
20. ---, IEC-156, *Insulating Liquid Determinan of Breakdown Voltage at Power Frequency Tes Method*, 1995.
21. ---, SPLN 49 -1, *Minyak Isolasi*, Perusahaan Umum Listrik Negara, 1982.
22. ---, SNI 04-6950, *Nilai Ambang Batas Medan Listrik dan Medan Magnet*, BSN, 2003.



Eko Budiyanoro (L2F 304 229)  
Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro,  
Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
Semarang dengan pilihan Konsentrasi  
Tenaga Listrik

Menyetujui,  
Dosen Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

Abdul Syakur, ST, MT  
NIP. 131 231 132

M. Facta, ST, MT  
NIP. 131 231 134



