

# UJI TEGANGAN TEMBUS ARUS BOLAK-BALIK PADA MINYAK JARAK SEBAGAI ALTERNATIF ISOLASI CAIR

Elia Krismiandaru<sup>1</sup>, Abdul Syakur, ST, MT<sup>2</sup>, M Facta, ST, MT<sup>2</sup>

Teknik Elektro  
Universitas Diponegoro  
Semarang

## ABSTRAK

*Isolasi cair pada peralatan tegangan tinggi digunakan untuk memisahkan dua atau lebih penghantar listrik yang bertegangan sehingga antara penghantar-penghantar tersebut tidak terjadi lompatan listrik atau percikan, fungsi lainnya adalah sebagai media pendingin peralatan listrik. Apabila tegangan yang diterapkan melebihi kekuatan dielektrik isolasi cair maka akan terjadi tegangan tembus yang menandakan kegagalan isolasi.*

*Untuk melakukan pengujian tegangan tembus dipakai sampel dielektrik cair minyak jarak dengan menggunakan tegangan tinggi ac frekuensi jala-jala. Pengujian dilakukan dengan variasi jarak sela, posisi serta diameter elektroda dengan menggunakan sepasang elektroda bola dan setengah bola, sedangkan sebagai tambahan dipakai elektroda bola-bidang khusus untuk pengujian medan tak seragam.*

*Dari hasil pengujian diperoleh bahwa seiring kenaikan jarak sela antar elektroda nilai tegangan tembus menjadi semakin besar, demikian halnya dengan bertambahnya diameter elektroda menghasilkan tegangan tembus yang semakin besar pula. Sedangkan pada pengujian posisi elektroda tidak terdapat pengaruh yang kentara pada tegangan tembusnya antara pengujian dengan posisi elektroda horisontal maupun vertikal. Hasil akhirnya nilai tegangan tembus pada kondisi standar sesuai IEC 156 sebesar 33,67 kV sehingga minyak jarak layak dijadikan sebagai isolasi cair dilihat dari besar tegangan tembusnya yang disesuaikan dengan standarisasi SPLN 49-1 tahun 1982 dan NESC tahun 1990.*

## I. PENDAHULUAN

### 2.1 Latar Belakang

Isolasi minyak merupakan bagian penting dalam peralatan sistem tenaga khususnya pada transformator, circuit breaker dan kapasitor karena berpengaruh pada kinerja peralatan tersebut.

Selama ini minyak bumi digunakan sebagai bahan isolasi karena minyak dari bahan mineral memiliki daya serap panas yang baik dan memiliki karakteristik dielektrik yang bagus sebagai isolator, berkaitan dengan trend dunia yang menuntut suatu produk yang aman dan ramah lingkungan, maka perlu dipertimbangkan untuk mencari pengganti minyak isolasi mineral dengan minyak isolasi organik dengan alasan :

- a. Minyak isolasi dari bahan mineral sangat sulit terdegradasi secara biologis, sehingga menimbulkan kontaminasi terhadap tanah dan air, sedangkan minyak organik dapat terdegradasi secara biologis dengan sempurna dan relatif tidak mencemari tanah dan air.
- b. Produk minyak bumi sewaktu-waktu dapat habis dan butuh waktu yang lama untuk mendapatkannya lagi, sedangkan minyak organik persediaannya melimpah dan kecil kemungkinannya untuk habis.

Bertolak dari uraian tersebut maka dilakukan pengujian minyak organik dalam hal ini dipakai minyak jarak dengan melakukan pengukuran tegangan tembusnya guna mengetahui kelayakan minyak jarak sebagai alternatif minyak isolasi.

### 2.2 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui nilai tegangan tembus minyak jarak pada pengujian sesuai kondisi standarisasi IEC 156 dengan

2. menerapkan tegangan AC pada frekuensi tegangan sumber.
3. Mengetahui pengaruh jarak sela antar elektroda terhadap tegangan tembus minyak jarak.
4. Mengetahui pengaruh besar diameter elektroda terhadap tegangan tembus minyak jarak.
5. Mengetahui pengaruh posisi elektroda uji pada pengujian tegangan tembus minyak jarak baik secara vertikal maupun horisontal.
6. Mengetahui pengaruh medan seragam dan medan tak seragam terhadap besar tegangan tembus.
7. Mengetahui fenomena yang terjadi saat pengujian tegangan tembus minyak jarak.

### 1.3 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah dilakukan pada hal-hal sebagai berikut :

1. Sampel uji yang digunakan adalah minyak jarak (castor oil).
2. Pengujian menggunakan elektroda setengah bola-setengah bola, elektroda bola-bola dan elektroda bola-bidang.
3. Elektroda setengah bola yang digunakan mempunyai diameter 60 mm, 50 mm, dan 40 mm.
4. Elektroda bola yang digunakan mempunyai diameter 30 mm, 25 mm, dan 20 mm.
5. Elektroda bidang yang digunakan berdiameter 45 mm dikhususkan untuk analisa pengaruh medan tak seragam terhadap besar tegangan tembus.
6. Jarak sela antar elektroda yang digunakan pada pengujian adalah 1,5 mm, 2 mm, dan 2,5 mm.
7. Tegangan yang diterapkan untuk pengujian adalah tegangan AC (bolak-balik) frekuensi rendah 50 Hertz.
8. Temperatur minyak jarak yang digunakan adalah temperatur pada suhu sekitar 26<sup>o</sup> sampai 30<sup>o</sup>C.

1. Mahasiswa Teknik Elektro
2. Staf pengajar Teknik Elektro

9. Tekanan dan kelembaban pada saat pengujian tidak diperhitungkan.
10. Analisis terbatas pada proses terjadinya tegangan tembus minyak jarak.

## II. DASAR TEORI

### Pembangkitan 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.

### Kekuatan Dielektrik

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>[6]</sup>.

Sehingga bisa disimpulkan bahwa kekuatan dielektrik adalah terpaan listrik tertinggi yang dapat dipikul suatu dielektrik tanpa menimbulkan dielektrik tersebut tembus listrik. Sedangkan tegangan tembus adalah besarnya tegangan yang menimbulkan terpaan listrik pada dielektrik sama dengan atau lebih besar daripada kekuatan dielektriknya.

### Isolasi Cair

#### Jenis Minyak Isolasi

Ada berbagai jenis isolasi cair diantaranya<sup>[5]</sup>:

- a. Minyak Organik  
Kelompok minyak organik meliputi minyak sayur, minyak damar, dan ester. Jenis minyak ini mulai banyak dipakai sebagai bahan isolasi pada akhir abad ke-19, terlebih dengan semakin menipisnya cadangan mineral tak terbaharukan dan masih kecilnya pemakaian minyak sintetis membuat minyak organik mendapatkan perhatian lebih.
- b. Minyak Mineral  
Minyak mineral diketahui berisi berbagai jenis molekul dan secara luas dapat digolongkan kedalam jenis yang mengandung malam (*paraffin*) dengan rumus kimianya  $C_nH_{2n+2}$ , *naphthenic* ( $C_nH_{2n}$ ), aromatis ( $C_nH_n$ ) atau kelompok molekul tingkat menengah lainnya.
- c. Minyak Sintetis  
Minyak jenis ini merupakan hasil pengembangan pada bidang industri kimia. Kelebihan utamanya adalah bersifat tidak mudah terbakar. Contoh minyak sintetis diantaranya adalah askarel dan silikon.

#### Teori Kegagalan Isolasi Cair

Teori kegagalan isolasi cair dapat digolongkan dalam empat jenis sebagai berikut<sup>[2]</sup>:

- a. Teori kegagalan zat murni atau elektronik  
Menganggap proses kegagalan dalam zat cair serupa dengan yang terjadi dalam gas, sehingga diperlukan elektron awal yang akan memulai proses kegagalan.
- b. Teori kegagalan gelembung gas

Kegagalan ini disebabkan oleh adanya gelembung-gelembung gas didalam isolasi cair yang bisa terbentuk diantaranya karena permukaan elektroda tidak rata, sehingga terdapat kantong-kantong udara pada permukaannya ataupun karena adanya tabrakan elektron saat terjadi tegangan tembus, sehingga muncul produk-produk baru berupa gelembung gas.

Karena pengaruh medan yang kuat diantara elektroda maka gelembung-gelembung gas yang terbentuk tersebut akan saling sambung-menyambung membentuk jembatan yang akan mengawali terjadinya kegagalan.

- c. Teori kegagalan bola cair  
Air dan uap air terdapat pada minyak, terutama pada minyak yang telah lama digunakan. Jika terdapat medan listrik, maka molekul uap air terpolarisasi membentuk suatu dipol. Jika jumlah molekul molekul uap air ini banyak, maka akan tersusun semacam jembatan bertahanan lebih rendah dibanding isolasi cair itu sendiri sehingga terbentuk suatu kanal peluahan. Kanal ini akan merambat dan memanjang sampai menghasilkan tembusan listrik.
- d. Teori kegagalan tak murnian padat  
Partikel debu atau serat selulosa yang ada seringkali ikut tercampur dengan minyak, selain itu partikel padat ini pun dapat terbentuk ketika terjadi tegangan tembus. Pada saat diberi medan listrik, partikel-partikel ini akan terpolarisasi dan membentuk jembatan yang menyebabkan terjadinya kegagalan.

### Kekuatan Kegagalan

Dari semua teori yang membahas tentang kegagalan zat cair tidak memperhitungkan hubungan antara panjang ruang celah (sela) dengan kekuatan peristiwa kegagalan. Namun berdasarkan teori-teori yang ada dapat ditarik suatu persamaan baru yang berisi komponen panjang ruang celah dan komponen kekuatan peristiwa kegagalan pada benda cair yaitu :

$$V_b = A \cdot d^n \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

$V_b$  = tegangan gagal (kV)

A = Konstanta

d = panjang ruang celah (mm)

n = konstanta yang nilainya < 1

### Minyak Jarak (Castor Oil)

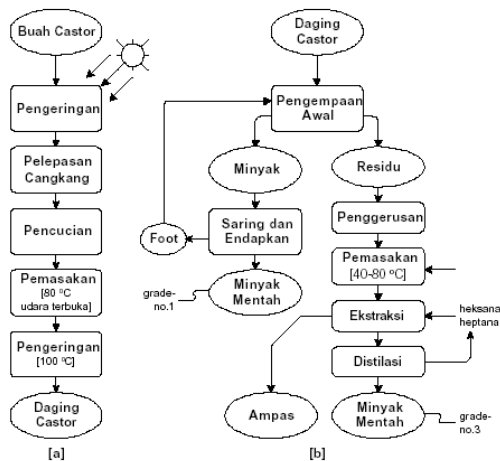
#### Karakteristik Minyak Jarak

Minyak jarak tergolong kedalam minyak organik atau minyak nabati. minyak jarak merupakan dielektrik yang baik untuk kapasitor tenaga pada tegangan tinggi karena karakteristik resistansi koronanya cukup tinggi, konstanta dielektrik tinggi, tidak beracun, titik nyalanya tinggi, titik lebur pada  $-10^0$  sampai  $-18^0$  C, dan tidak terlarut<sup>[8]</sup>. Warna minyak kuning pucat bahkan hampir transparan (tak berwarna), dan memiliki bau khas yang cukup menyengat. Agar tidak berbau tengik minyak tidak boleh dibiarkan terbuka dalam waktu yang lama pada suhu diatas  $40^0$  C.

## Pemrosesan Minyak Jarak

Buah pohon jarak yang telah matang dipanen dan dijemur, dan dikeringkan agar mudah dalam pengambilan daging biji yang berwarna putih yang mudah rusak. Setelah terpisah dari kulit cangkangnya, biji dicuci dan dimasak, kemudian dikeringkan sebelum akhirnya dimasukkan ke dalam alat ekstraksi. Pemasakan daging biji castor tersebut dilakukan untuk menggumpalkan protein dan untuk melepaskan minyak. Pemasakan dilakukan pada suhu  $80^{\circ}\text{C}$  dengan kondisi udara terbuka. Setelah pemasakan, bahan dikeringkan pada suhu  $100^{\circ}\text{C}$  untuk mendapatkan kandungan pengotor sebanyak kurang lebih 4%.

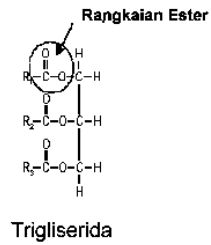
Daging biji castor yang telah melalui pengolahan awal dimasukkan ke pengempa awal bertekanan tinggi menghasilkan minyak tingkat 1 (*grade 1*) dan ampas. Minyak disaring dan diendapkan untuk memisahkan pengotor yang disebut *foot*. *Foot* tersebut kemudian dialirkan kembali ke pengempa awal, dan minyak yang diperoleh disimpan dalam tangki penyimpanan untuk dilakukan pemurnian. Sedangkan ampas yang diperoleh dari proses pengempaan awal dimasukkan ke alat penggerus dan hasilnya diekstraksi dengan pelarut heksana atau heptana atau campuran keduanya. Produknya kemudian didistilasi untuk mendapatkan kembali pelarut yang dapat digunakan kembali sebagai pelarut ampas, sedangkan produk minyak mentah diperoleh dan disimpan untuk dilakukan pemurnian seperti pada minyak tingkat 1.



Gambar 2.1 Proses sederhana pengolahan biji jarak  
(a) Pengolahan awal (b) Proses ekstraksi

## Struktur Kimia Minyak Jarak

Biji pohon jarak mengandung 40–50% minyak jarak (oleum ricini, kastrol) yang mengandung bermacam-macam trigliserida, asam palmitat ( $\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$ ), asam risinoleat, asam isorisinoleat, asam oleat ( $\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$ ), asam linoleat ( $\text{C}_{18}\text{H}_{32}\text{O}_2$ ), asam linolenat ( $\text{C}_{18}\text{H}_{30}\text{O}_2$ ), asam stearat ( $\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$ ), dan asam dihidroksistearat. Juga mengandung alkaloida risinin, beberapa macam toksalbumin yang dinamakan risin (risin D, risin asam, dan risin basa), dan beberapa macam enzim diantaranya lipase.



Gambar 2.2 Rumus kimia trigliserida yang terkandung pada castor oil

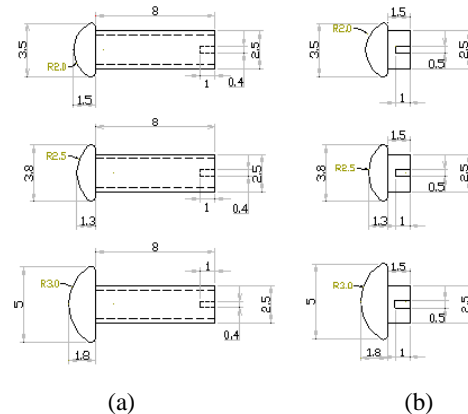
## III. METODOLOGI PENGUJIAN

### Elektroda Uji

Elektroda untuk pengujian dibuat dari bahan aluminium yang berupa elektroda setengah bola, bola dan bidang

#### Elektroda setengah bola

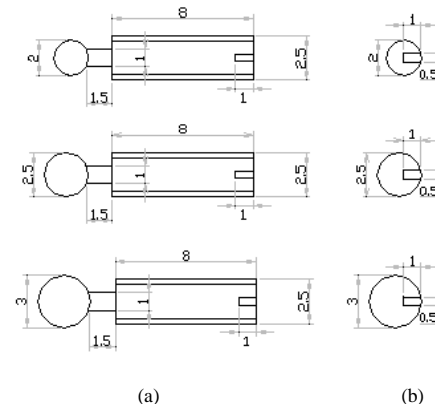
Elektroda ini mempunyai diameter 40, 50, dan 60 mm dengan elektroda setengah bola diameter 50 mm disesuaikan standarisasi IEC 156 dan diameter lainnya sebagai pembanding.



Gambar 3.1 Elektroda setengah bola  
(a) elektroda setengah bola posisi vertikal  
(b) elektroda setengah bola posisi horizontal

#### Elektroda Bola

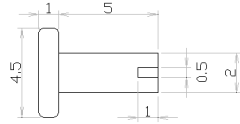
Elektroda bola yang dipakai mempunyai diameter 20, 25, dan 30 mm.



Gambar 3.2 Elektroda bola  
(a) elektroda bola posisi vertikal  
(b) elektroda bola posisi horizontal

### Elektroda Bidang

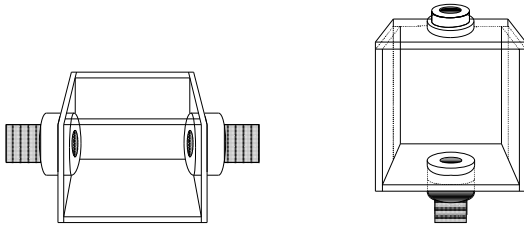
Dipakai elektroda bidang diameter 45 mm dan secara khusus dipasangkan dengan elektroda bola diameter 20 mm untuk melakukan pengujian pengaruh medan tak seragam.



Gambar 3.3 Elektroda bidang

### Kotak Uji

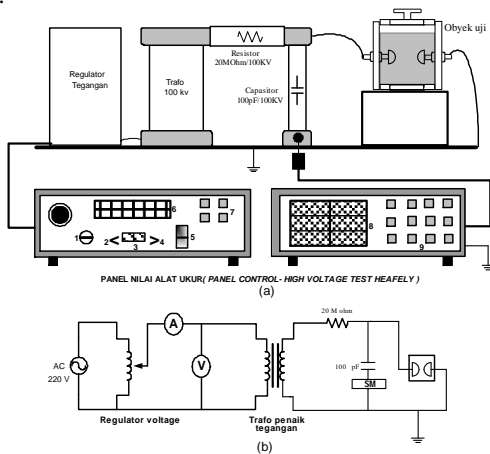
Kotak uji adalah sebagai sebuah sistem yang berkaitan dengan kerja tertentu dalam ruang dan keseluruhan ruang yang ditutupi oleh lapisan permukaan sebagai pembatas sistem. Kotak uji terbuat dari bahan plastik *acrylic*. Kotak uji mempunyai dimensi luar yaitu untuk posisi horisontal dengan panjang 100 mm, lebar 150 mm dan tinggi 150 mm. Sedangkan untuk posisi vertikal dengan panjang 100 mm, lebar 150 mm dan tinggi 150 mm. Khusus pengujian medan tak seragam menggunakan kotak uji horisontal ukuran panjang 180 mm, lebar 150 mm dan tinggi 150 mm. Kotak uji digunakan untuk meletakkan elektroda uji dan sebagai wadah isolasi cair yang dimasukkan dalam sistem untuk pengujian tegangan tembus.



Gambar 3.4 Kotak uji horisontal dan vertikal

### Rangkaian Pengujian

Rangkaian pembangkitan AC seperti pada gambar 3.5 adalah rangkaian yang digunakan untuk melakukan pengujian tegangan tembus minyak isolasi berupa minyak jarak.



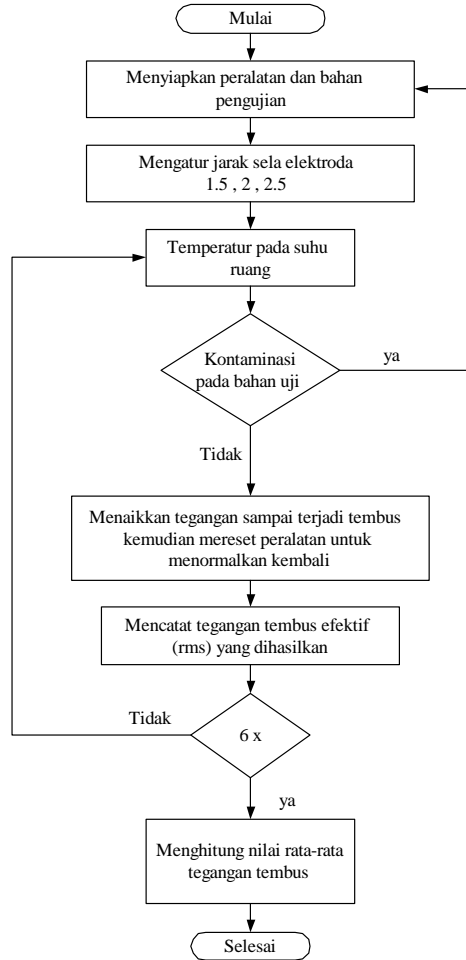
Gambar 3.5 Rangkaian Pengujian

- (a) Bagan peralatan uji
- (b) Rangkaian pengujian

### Teknik Pengambilan Data

Pengujian tegangan tembus dilakukan dengan beberapa variasi meliputi variasi jarak sela, diameter elektroda, bentuk medan pada elektroda, dan variasi posisi elektroda.

Langkah-langkah yang dilakukan dalam melakukan pengujian tegangan tembus adalah :



Gambar 3.6 Diagram Alir Proses Pengujian Tegangan Tembus Minyak jarak

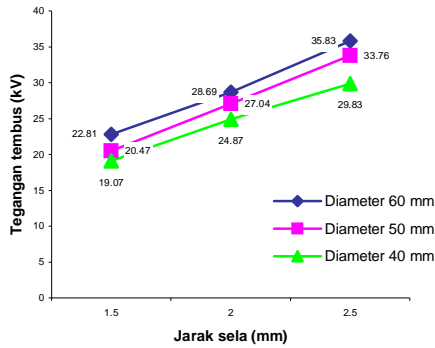
## IV. HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS Hasil Pengujian

Tabel 4.1 Hasil pengujian tegangan tembus minyak jarak

Posisi	Elektroda	Diameter (mm)	Tegangan Tembus (kV)		
			1,5 mm	2 mm	2,5 mm
Horisontal	Setngh bola-setngh bola	40	19,07	24,87	29,83
		50	20,47	27,04	33,76
		60	22,81	28,69	35,83
Vertikal	Setngh bola-setngh bola	40	20,13	25,94	29,60
		50	21,13	26,96	33,45
		60	21,83	27,67	34,50
Horisontal	Bola-Bola	20	15,16	19,69	22,71
		25	17,08	21,19	24,29
		30	19,90	23,74	28,02
Vertikal	Bola-Bola	20	15,47	19,17	22,09
		25	17,11	21,10	24,28
		30	20,18	23,89	27,78
Horisontal	Bola-bidang		11,22	14,85	18,53

## Analisis

### Analisis Pengaruh jarak Sela



Gambar 4.1 Tegangan tembus minyak jarak elektroda setengah bola-setengah bola posisi horizontal berdasarkan laju jarak sela

Gambar 4.1 memperlihatkan pengaruh jarak sela terhadap besar tegangan tembus minyak jarak. Disini ditunjukkan bahwa dengan bertambahnya jarak sela diikuti dengan semakin besarnya tegangan tembus yang dihasilkan. Sehingga disimpulkan bahwa kekuatan kegagalan dari minyak isolasi tergantung pada besarnya jarak sela antara kedua elektroda.

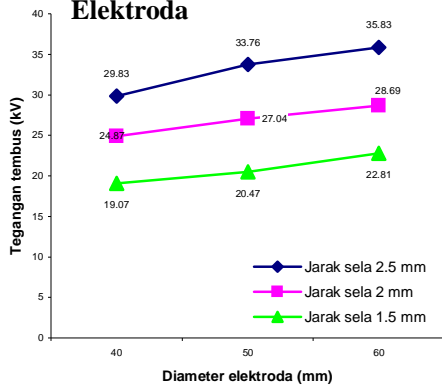
Hubungan antara tegangan tembus dan besar jarak sela dapat dilihat pada persamaan 2.1 yaitu :

$$V_b = A \cdot d^n$$

Dari persamaan diatas dapat diketahui bahwa besar jarak sela berbanding lurus dengan tegangan tembusnya.

Hal ini dapat dianalisa sebagai berikut apabila jarak sela antar elektroda setengah bola maupun pada elektroda bola semakin besar, maka dibutuhkan energi yang semakin besar pula untuk mencapai terjadinya kegagalan pada minyak jarak yang pada gilirannya membuat nilai tegangan tembus juga semakin besar.

### Analisis Pengaruh Diameter Elektroda



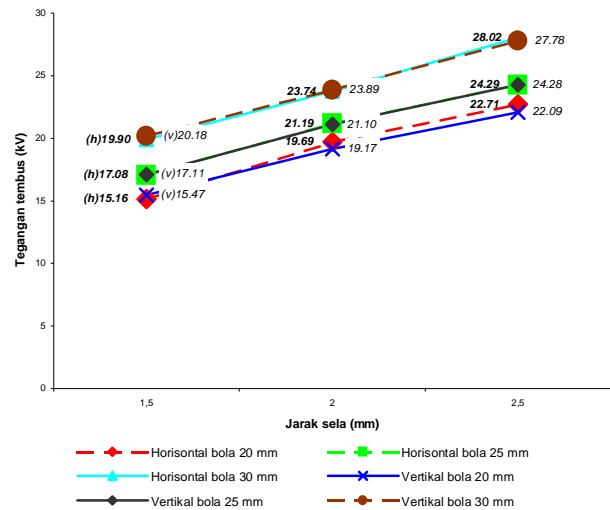
Gambar 4.2 Tegangan tembus minyak jarak menggunakan elektroda setengah bola posisi horizontal berdasarkan besar diameter

Gambar 4.2 memperlihatkan bahwa tegangan tembus minyak jarak akan mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya diameter elektroda uji. Hal tersebut diatas terjadi karena elektroda berdiameter besar lebih sulit untuk melepaskan elektron sehingga dibutuhkan energi

yang besar untuk proses terjadinya pelepasan elektron. Energi besar tersebut diperoleh dari arus bolak-balik yang terus dinaikkan sampai energi yang dihasilkan mampu untuk membuat elektron terlepas dari molekul-molekul dielektrik cair minyak jarak yang merupakan proses awal terjadinya kegagalan

Dengan kata lain dapat diumpamakan bahwa semakin kecil diameternya dianggap semakin runcing permukaannya dan kuat medan yang terbesar terdapat pada bagian yang runcing (diameter semakin kecil) tersebut. Kuat medan maksimum yang terbentuk akan mengeluarkan elektron yang akan memulai terbentuknya banjir elektron sebagai pemercepat terjadinya tegangan tembus.

### Analisis Pengaruh Posisi Elektroda

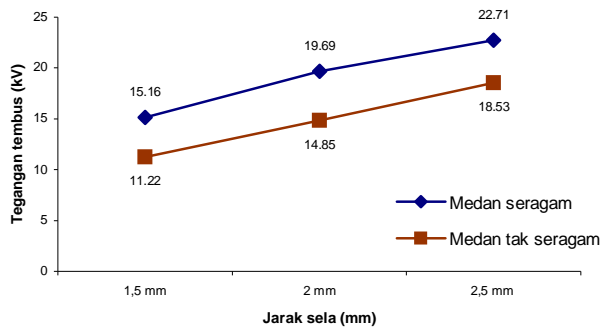


Gambar 4.3 Tegangan tembus minyak jarak elektroda bola berdasarkan posisi kotak uji,

Dari hasil pengujian dapat dianalisis bahwa nilai tegangan tembus berdasarkan posisi elektroda uji terdapat perbedaan yang tidak begitu besar antara posisi horizontal dan vertikal. Sehingga disimpulkan bahwa posisi elektroda dalam pengujian tegangan tembus tidak berpengaruh terhadap besar tegangan tembus yang diperoleh.

Bentuk susunan vertikal dipakai pada diameter elektroda yang besar dengan asumsi apabila digunakan susunan horizontal akan memerlukan ruang yang lebih besar sehingga kurang efisien.

### Analisis Medan Seragam dan Tak Seragam



Gambar 4.4 Tegangan tembus minyak jarak pada medan seragam dan tidak seragam.

Pada pengujian medan seragam diwakilkan oleh sepasang elektroda bola diameter 20 mm sedangkan untuk medan tak seragam diwakilkan oleh elektroda bola diameter 20 mm dan elektroda bidang diameter 45 mm.

Dari hasil pengujian diperoleh bahwa tegangan tembus rata-rata medan seragam lebih besar dibandingkan pada pengujian medan tak seragam. Hal ini karena pada elektroda medan tak seragam proses pembentukan elektron awal lebih mudah terjadi karena bentuk elektroda bola jauh lebih runcing dibandingkan elektroda bidang.

### Fenomena Yang Terjadi Pada Pengujian Tegangan Tembus Minyak Jarak

Untuk memperoleh tegangan tembus pada setiap pengujian, tegangan uji diberikan pada sistem secara bertahap dengan tingkat kenaikan yang sama per satuan waktu menggunakan peralatan pengontrol. Dengan demikian dapat diamati fenomena apa saja yang terjadi selama pelaksanaan pengujian dengan digolongkan kedalam kelompok sebagai berikut :

#### 1. Saat sebelum terjadi tembus

Proses sebelum terjadi tembus dimulai dari menaikkan tegangan uji secara bertahap dari keadaan tegangan rendah sampai mendekati tegangan tembus. Dalam kondisi mendekati nilai tegangan tembus timbul suara mendesis, Hal ini terjadi karena adanya tekanan yang terus-menerus dan semakin besar pada minyak isolasi<sup>[2]</sup>.

#### 2. Saat terjadi tembus

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.

#### 3. Saat sesudah terjadi tembus

Dalam kondisi sesudah terjadi tegangan tembus timbul gelembung gas dan kabut hitam (arang) pada minyak isolasi. Hal ini dapat dianalisis berdasarkan unsur kimia yang terkandung didalam minyak jarak, yaitu trigliserida dan asam-asam penyusun yang lainnya, kesemuanya tersusun atas karbon, hidrogen, dan oksigen. Setelah terjadi tegangan tembus unsur karbon yang ada berubah menjadi kabut hitam (arang) sedangkan unsur hidrogen dan oksigen membentuk gelembung-gelembung gas.

Sedangkan fenomena munculnya gelembung gas dan kabut hitam (arang) menurut Arismunandar<sup>[2]</sup> disebabkan oleh :

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

### Analisis Kelayakan Minyak Jarak Sebagai Alternatif Isolasi Cair

Menurut IEC 156 pengujian tegangan tembus isolasi cair pada kondisi standar dilakukan dengan sepasang elektroda setengah bola diameter 50 mm dengan jarak sela 2,5 mm. Selanjutnya SPLN 49-1 menyebutkan bahwa tegangan tembus yang harus dipenuhi untuk spesifikasi minyak isolasi baru adalah  $\geq 30 \text{ kV}/2,5 \text{ mm}$ .

Untuk pengujian minyak jarak kondisi standar diperoleh tegangan tembus sebesar 33,76 kV sehingga memenuhi persyaratan untuk dijadikan alternatif isolasi cair.

Sedangkan menurut standarisasi NESC tahun 1990 menyatakan untuk tegangan kerja 2,4 kV batas tegangan tembus yang ditanggung sebesar 20 kV dan untuk tegangan kerja 6,9 kV batas tegangan tembusnya 39 kV. Berdasarkan standarisasi tersebut maka minyak jarak yang diuji dapat dipakai pada peralatan listrik pada tegangan kerja  $\geq 2,4 \text{ kV}$  dan  $< 6,9 \text{ kV}$ .

## V. PENUTUP

### Kesimpulan

Dari hasil pengujian tegangan tembus minyak jarak dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Karakteristik tegangan tembus minyak jarak dipengaruhi oleh sifat fisik zat yang mengurangi ketahanan isolasi cair seperti adanya ketidakmurnian dalam isolasi cair tersebut.
2. Pada kondisi standar menurut IEC 156 (menggunakan sepasang elektroda setengah bola diameter 50 mm posisi horisontal dengan jarak sela 2,5 mm) diperoleh nilai tegangan tembus sebesar 33,76 kV/2,5 mm.
3. Dengan bertambahnya jarak sela antar elektroda uji akan diperoleh nilai tegangan tembus yang semakin besar, hal ini ditunjukkan dengan persamaan  $V_b = A \cdot d^n$ . Sehingga dapat disimpulkan apabila nilai konstanta  $n < 1$  akan diperoleh grafik tegangan tembus berbentuk garis eksponensial.
4. Dengan bertambahnya besar diameter elektroda uji akan diperoleh nilai tegangan tembus yang bertambah besar pula.
5. Posisi elektroda uji dalam pengujian baik horisontal maupun vertikal kurang begitu berpengaruh terhadap besar nilai tegangan tembus.
6. Pada pengujian medan seragam dengan sepasang elektroda bola diameter 20 mm diperoleh nilai tegangan tembus yang lebih besar dibandingkan pada pengujian medan tak seragam dengan susunan elektroda bola diameter 20 mm-elektroda bidang diameter 45 mm.

7. Pada saat sebelum mengalami tembus fenomena yang terjadi berupa suara mendesis akibat tekanan karena tumbukan elektron, saat terjadi tembus muncul kilatan cahaya yang kemudian menghasilkan gelembung gas dan kabut hitam (arang).
8. Jika hanya dilihat dari nilai tegangan tembus yang dihasilkan pada kondisi standar (d disesuaikan dengan standarisasi IEC 156) minyak jarak mempunyai kualifikasi yang mencukupi untuk dijadikan sebagai minyak isolasi, dan sesuai dengan ketentuan SPLN 49-1 tahun 1982 dapat dipergunakan untuk peralatan dengan tegangan kerja  $\leq 70$  kV. Sedangkan menurut standarisasi NESC tahun 1990 minyak jarak yang diuji dapat dipakai untuk peralatan listrik pada tegangan kerja  $\geq 2,4$  kV dan  $< 6,9$  kV.

Abdul Syakur, ST, MT  
NIP. 131 231 132

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

### Saran

Saran yang dikemukakan dapat meneruskan penelitian ini dengan berbagai jenis minyak nabati lainnya dan dengan penerapan tegangan searah maupun tegangan impuls.

### DAFTAR PUSTAKA

1. Abduh, Syamsir., *Dasar Pembangkitan dan Pengukuran Teknik Tegangan Tinggi*, Penerbit Salemba Teknika, Jakarta, 2001.
2. Arismunandar, A., *Teknik Tegangan Tinggi Suplemen*, Ghalia, 1982.
3. Kind, Dieter, *Pengantar Teknik Eksperimental Tegangan Tinggi*, terjemahan K.T. Sirait, ITB, Bandung, 1993.
4. Naidu, M, S., Karamaju, V., *High Voltage Engineering*, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi, 1982.
5. Salam, Abdul. M., A. Hussein., El-Morshedy. Ahdab, and R. radwan., *High-voltage Engineering: Theory and Practice*, Marcel Dekker, Inc., 2000.
6. Tobing, L, Bonggas., *Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*, Penerbit PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2003.
7. Ulul, Ihwan F., *Analisa Investasi Jarak (Kaliki)*, <http://www.nawapanca.com/>, Agustus 2006.
8. ---, *Insulating Liquid Determination of The Breakdown Voltage at power Frequency – Test Method*, IEC Publication 156, 1995.



**Elia Krismiandaru (L2F 304 231)**  
Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro,  
Fakultas Teknik UNDIP Semarang  
dengan pilihan Konsentrasi Tenaga Listrik

Menyetujui

Dosen Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II