

Analisis Karakteristik Minyak Kedelai Dengan Penambahan Antioksidan Sebagai *Alternatif* Minyak Isolasi Transformator Terhadap Tegangan Tembus

Rika Elvan Y¹, Yanolanda Suzantry H^{1*}, Irnanda P¹, Adhadi K¹

¹Teknik Elektro Universitas Bengkulu

*E-mail : yanolanda@unib.ac.id

ABSTRAK

Dengan penambahan antioksidan *butylated hydroxyanisole* (BHA) dan *FENOL* berpengaruh terhadap karakteristik tegangan tembus pada minyak kedelai sebagai alternatif minyak isolasi transformator. Pengujian ini memvariasi penambahan BHA sebesar 2%, 3%, dan 4%, dan variasi penambahan FENOL sebesar 2%, 3%, dan 4%. Sampel dipersiapkan dengan volume sebesar 500 ml. Pencampuran minyak kedelai dengan BHA dan FENOL dengan cara pemanasan dan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan sistem sela bola tegangan tinggi AC dan jarak celah antar sela bola sebesar 2 mm, 2,5 mm, dan 3 mm. Dari hasil pengujian ini didapatkan V_{BD} rata-rata minyak kedelai murni sebesar 8,0 kV pada jarak sela bola 2,5 mm. Namun pada konsentrasi BHA 2% mendapatkan nilai tegangan tembusnya sebesar 8,3 kV mendapatkan peningkatan sebesar 0,3 kV, dari rata-rata minyak kedelai murni. Sedangkan pada konsentrasi 3% mendapatkan penurunan sebesar 0,9 kV, dan pada penambahan konsentrasi FENOL 2%, 3%, dan 4% selalu mengalami peningkatan terus. Pada tegangan tembus rata-rata tertinggi didapatkan pada penambahan 2% FENOL sebesar 30,8 kV atau meningkat sebesar 22,8 kV dari rata-rata minyak kedelai murni. Rata-rata V_{BD} minyak kedelai murni yang menunjukkan bahwa komposisi antioksidan terbaik didapat pada FENOL 2%.

Kata kunci: *Butylate Hydroxyanisole*, FENOL, Minyak Kedelai, Minyak Transformator, Tegangan Tembus

ABSTRACT

With the addition of the antioxidant butylated hydroxyanisole (BHA) and phenol, it affects the breakdown voltage characteristics of soybean oil as an alternative to transformer insulating oil. This test varied the addition of BHA by 2%, 3%, and 4%, and variations in the addition of phenol by 2%, 3%, and

4%. Samples were prepared with a volume of 500 ml. Mixing soybean oil with BHA and PHENOLS by heating and stirring using a magnetic stirrer. The test was carried out using an AC high voltage ball butt system and the gap between the balls was 2 mm, 2.5 mm and 3 mm. From the results of this test, it was found that the average VBD of pure soybean oil was 8.0 kV at a ball spacing of 2.5 mm. but at a concentration of 2% BHA, the breakdown voltage value is 8.3 kV, an increase of 0.3 kV, from the average pure soybean oil. Whereas at a concentration of 3% there was a decrease of 0.9 kV, and at the addition of 2%, 3% and 4% phenolic concentrations it always increased steadily. The highest average breakdown voltage was found in the addition of 2% phenol of 30.8 kV or an increase of 22.8 kV from the average pure soybean oil. The average VBD of pure soybean oil which shows that the best antioxidant composition is obtained from 2% Phenol.

Keywords : *Butylate Hydroxyanisole, Phenol, Soybean Oil, Transformer Oil, Breakdown Voltage*

1. PENDAHULUAN

Transformator adalah perangkat keras utama dalam sistem pada saat mendistribusikan daya listrik dari generator ke konsumen keandalan trafo ini sangat penting. Namun, jika pelepasan muatan terjadi ketika medan dalam isolasi melebihi nilai kritis tertentu, transformator juga memiliki isolasi, yang dapat bekerja untuk mempertahankan kinerja dan mendinginkan bagian-bagian seperti inti, tangki, dan belitan dalam transformator hingga mengalami kerusakan tegangan *breakdown voltage*[1]. Transformator juga sering menggunakan isolasi cair, yang terbuat dari minyak mineral. Namun minyak mineral tidak ramah lingkungan dan ketersediaan terbatas. Oleh karena itu, minyak isolasi trafo harus dikembangkan untuk digunakan dalam aplikasi kelistrikan, salah satunya menggunakan minyak nabati sebagai pengganti atau *alternatif* minyak isolasi trafo.[2].

terdegradasi secara alami dan karenanya bermanfaat secara ekologis (*biodegradable oil*)[11].

Berdasarkan standar Amerika untuk pengujian dan bahan (ASTM) Eksperimen oleh Egbuna et.al menunjukkan bahwa kualitasnya lebih unggul dari minyak mineral, dalam hal viskositas, titik nyala, dan kekuatan dielektrik. Viskositas minyak kedelai didapatkan nilai sebesar 7.29 cSt lebih rendah dari minyak transformator. Titik nyala yang dihasilkan dalam minyak kedelai yaitu 250°C, nilai ini baik dalam mencegah pengapian yang tidak disengaja. Dan kekuatan dielektrik yang dihasilkan yaitu 21 kV pada minyak kedelai artinya dapat menahan tegangan listrik tanpa kegagalan [3].

Salah satu metode untuk membatasi proses oksidasi pada minyak, menurut Indiarto et al. [2022], adalah memanfaatkan antioksidan sintetik dan alami., Antioksidan memiliki kekuatan untuk mempengaruhi proses oksidasi yang terjadi pada minyak. Dalam penggunaan *butylated hydroxyanisole* (BHA) dan FENOL sebagai antioksidan sintesis adalah salah satu contohnya [4]. Penambahan antioksidan pada minyak nabati meningkatkan tegangan tembus, berdampak positif pada stabilitas oksidatif, laju penuaan, dan pembentukan gelembung gas terbakar selama dan setelah pengujian[5].

2. KERANGKA TEORITIS

A. Isolator

Perangkat dengan resistensi terhadap kuantitas atau properti isolasi disebut isolator. Isolasi sering diklasifikasikan sebagai padat, gas, atau cair berdasarkan bentuknya. Celah percikan berada dalam mode aliran dengan kecepatan pengulangan yang cepat, gas pengisolasi memiliki aliran gas bertekanan tinggi, dan kemudian bahan gas terionisasi dan produk dekomposisi perlu dievakuasi dari daerah percikan. Dalam sistem daya portabel, minyak isolasi dari jenis tertentu sering digunakan untuk aplikasi tegangan tinggi. [8].

B. Dielektrik Cair

Bahan dielektrik terbagi dalam dua kategori antara lain organik dan anorganik. Dielektrik organik adalah senyawa kimia yang terbuat dari karbon. Sebelumnya, tumbuhan dan hewan yang membuat digunakan untuk membuat molekul organik. Namun, dengan seiring kemajuan teknologi, ide ini diubah. Minyak mineral sering digunakan sebagai dielektrik cair organik untuk perangkat tegangan tinggi. [9].

Mengenai isolator cair, mereka dapat dibagi menjadi tiga kategori berdasarkan jenis minyak yang dikandungnya yaitu minyak mineral, minyak sintesis, dan minyak nabati. minyak nabati mengacu pada minyak yang terbuat dari ekstrak tumbuhan yang dapat

C. Pengujian Tegangan Tembus (Standar IEC 60156-02)

Untuk dapat mengetahui seberapa baik minyak isolasi dapat menahan tegangan maka digunakan uji tegangan tembus. Nilai tegangan tembus yang tinggi akan ditentukan oleh oli yang jernih dan kering. Tegangan tembus dapat diturunkan secara signifikan dengan mencampurkan air bebas dengan partikel padat. Spesifikasi tabel tegangan tembus oli transformator daya dengan standar IEC 60442 kemudiandapat ditunjukkan dibawa ini :[6].

TABEL 1
Parameter tegangan tembus minyak trafo daya (IEC 60442)[7].

Kategori Tegangan	Tegangan Tembus Minyak (KV)		
	Bagus	Cukup	Buruk
500 KV	>60	50-60	<50
150 KV	>50	40-50	<40
70 KV	>40	30-40	<30

D. Viskositas

Viskositas disebut dengan kekentalan sangat penting pada isolasi cair. Disebabkan karena viskositas berpengaruh pada kemurnian isolasi cair dan pendinginan suatu reralatan listrik. Isolasi yang baik yaitu mempunyai viskositas yang rendah sehingga kemungkinan isolasi cair terkontaminasi akan kecil. Viskositas kinematik yang dinyatakan dengan persamaan:

$$V = \frac{\mu}{\rho^1} \tag{1}$$

Keterangan :

V = viskositas kinematik (St)

μ = viskositas diamik (poise)

ρ^1 = massa jenis isolasi cair (g/cm³)

1 = 100 cSt

E. Kadar Air

Kadar air dalam minyak isolasi dapat menurunkan tegangan tembus dan tahanan jenis minyak isolasi dan dengan adanya air dalam minyak ini akan mempercepat terjadinya kerusakan kertas pengisolasi (*insulating paper*). Batas maksimum nilai dari kadar air pada minyak isolasi adalah 30 ppm. Untuk menghitung nilai kadar air suatu minyak dapat dihitung menggunakan persamaan 2

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{w1-w2}{w1-w} \times 100\% \tag{2}$$

Dengan:

W = Berat wadah kosong (g)

W1 = Berat wadah dengan minyak (g)

W2 = Berat wadah setelah dikeringkan (g)

F. Titik Didih

Titik didih adalah suhu ketika tekanan uap sebuah zat cair sama dengan tekanan eksternal yang dialami oleh cairan. Batas nilai titik didih minyak isolasi baru yaitu 140°C untuk kelas 1 dan 130°C untuk kelas 2.5.

G. Minyak Nabati

Minyak nabati merupakan senyawa ester yang terbuat dari gliserin dan berbagai asam lemak yang larut dalam pelarut organik tetapi tidak larut dalam air. Inilah yang mengubah sifat fisikokimia minyak, dan adanya asam lemak jenuh meningkatkan viskositas, titik beku, dan titik tuang [8]. Minyak nabati merupakan alternatif untuk minyak mineral dalam tegangan rendah tersegel (*sealed*) dan sistem tenaga karena minyak nabati rendah polisaturasi telah menunjukkan oksidasi yang stabil [9].

Karakteristik kelistrikan, aliran, dan stabilitas oksidasi minyak nabati sebagai isolator cair menjadi prioritas dalam penelitian, demikian pula dampak isolator cair terhadap bagian selain transformator yang termasuk kertas isolasi selulosa. Kertas isolasi selulosa, yang ditunjukkan oleh kertas isolasi dan minyak itu sendiri berdampak pada masa pakai trafo, yang biasanya antara 40 sampai tahun yang terpengaruh oleh kertas isolasi selulosa[10].

H. Minyak Kedelai

Minyak kedelai memiliki tingkat oksidasinya yang tinggi, dan kaya lemak memiliki umur simpan yang terbatas dan memerlukan perawatan untuk mempertahankan kualitasnya. Menurut penelitian, minyak kedelai merupakan minyak isolasi yang sangat baik dengan sifat dielektrik yang baik. Sederhananya, karena minyak kedelai cepat melalui proses 11 oksidasi, maka harus diberi perlakuan atau diberi antioksidan untuk meningkatkan khasiat minyak kedelai [7].

I. Proses Oksidasi

Minyak kedelai mengalami oksidasi yang signifikan karena proporsi asam lemak jenuh yang besar dibandingkan dengan asam lemak tak jenuh. Akibat interaksi yang melibatkan asam lemak dan oksigen, terjadi proses yang disebut oksidasi *lipid*, yang menurunkan asam lemak penting hilang dari minyak, dan yang menurunkan kualitas dan stabilitasnya saat digunakan[4]. Proses oksidasi jika dibiarkan terus menerus dalam jangka waktu yang lama dapat

melemahkan tegangan tembus minyak isolasi sampai pada titik yang benar-benar merusak transformator [5].

J. Antioksidan *butylated hydroxyanisole* (BHA).

Ketika *butylated hydroxyanisole* terkena cahaya atau mengalami fotolisis, bahan kimia tersebut maka dapat berubah warna dan kehilangan keefektifannya *Butylated hydroxyanisole*, namun *Butylated hydroxyanisole* memiliki sifat antioksidan. Dalam waktu 24 jam asupan, *butylated hydroxyanisole* akan diserap oleh gas *trointestinal dan dimetabolisme* dan dihilangkan dalam urin dengan kurang dari 1% tidak berubah [18].

Antioksidan *butylated hydroxyanisole* memiliki rumus kimia C₁₁H₁₆O₂, titik leleh 48 °C, titik didih 264 °C, berat molekul 180,24 g/mol, dan Kepadatan 1,06 g/cm³[12].

K. Fenol

Fenol merupakan kimia kristal yang tidak berwarna juga dikenal sebagai asam karbol atau benzenol, memiliki bau yang khas. Fenol termasuk komponen hidrokarbon, termasuk senyawa aromatik. Senyawa aromatik ini berfungsi sebagai penstabil dan penghambat oksidasi, namun jika jumlahnya berlebihan akan merugikan dan menurunkan nilai kekuatan dielektriknya[13].

L. Kekuatan Dielektrik

Kekuatan dielektrik adalah ukuran tegangan yang dihasilkan dari arus yang mengalir melalui bahan isolasi. berbagai bahan isolasi memiliki berbagai kekuatan dielektrik. Rasio tegangan antara tegangan tembus dielektrik (kV) dan jarak antara elektroda (mm), yang dapat dinyatakan sebagai persamaan berikut[19]:

$$E = V/d \quad (3)$$

Keterangan :

E = kuat medan listrik yang mampu ditahan material isolasi (kV/mm)

V = tegangan maksimum yang tercatat alat ukur (kV)

d = gap atau jarak celah antar elektroda (mm)

M. Kegagalan (*Breakdown*) Isolasi Cair

Sedikit yang diketahui tentang kegagalan dalam isolasi cair daripada isolasi padat. karena belum ada penjelasan yang benar dan langsung menjelaskan proses terjadinya kegagalan zat cair.

3. METODE RISET

A. Proses Pencampuran Minyak Kedelai Dengan Antioksidan BHA Dan FENOL

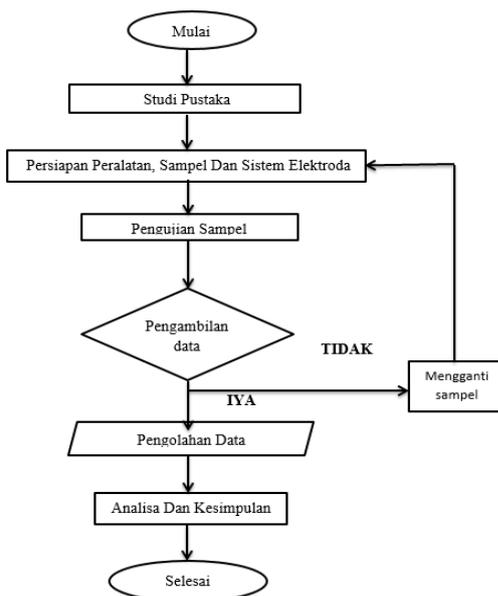
Dari proses pencampuran minyak kedelai dengan BHA dan FENOL yang perlu dilakukan yaitu mempersiapkan sampel uji minyak kedelai, pertama minyak kedelai dapat diukur dengan menggunakan gelas ukur, lalu antioksidan BHA dan FENOL dapat ditimbang menggunakan alat Neraca Analitik setelah penimbangan bahan antioksidan BHA dan FENOL maka selanjutnya dapat mencampurkan minyak kedelai dengan antioksidan BHA dan FENOL menggunakan Magnetic Stirrer. Dibawah ini dapat dilihat bagaimana proses pencampuran minyak kedelai dengan antioksidan BHA maupun dengan FENOL dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses pencampuran minyak kedelai dengan menggunakan antioksidan BHA dan FENOL

B. Alur Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dilingkungan program studi teknik elektro universitas bengkulu, laboratorium kimia dan dikediaman penelitian dengan arahan dosen pembimbing. Adapun diagram alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 2



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

C. Metode Pengujian

Pada Metode pengujian ini akan dijelaskan bagaimana mengetahui nilai tegangan tembus pada minyak kedelai murni tanpa adanya penambahan antioksidan BHA dan FENOL maupun minyak kedelai yang ditambahkan antioksidan BHA dan FENOL. Adapun pengujian yang dilakukan sebagai berikut:

1. Pengujian Metode Sela Bola

Perancangan sistem dengan memvariasikan jarak sela batang elektroda mulai dari 0,5 mm hingga sampai 1,5 mm. Dengan memvariasikan jarak apakah dapat mempengaruhi nilai tegangan tembus pada masing masing objek.

2. Pengujian Viskositas

Pada pengujian viskositas ini dilakukan menggunakan minyak dan air kemudian diukur temperaturnya dengan menggunakan thermometer dengan diatur temperatut pada suhu 40°C.

3. Pengujian Kadar Air

Pada pengujian kadar air dalam minyak kedelai murni dilakukan dengan cara memanaskan minyak kedelai dalam oven pada suhu 105°C selama waktu 30 menit, kemudian untuk wadah didinginkan kedalam desikator kemudian ditimbang hasil data tersebut.

4. Pengujian Titik Didih

Dalam melakukan pengujian titik didih pada minyak kedelai ini dengan menggunakan minyak kedelai sebanyak 500 ml, lalu dipanaskan setelah minyak tersebut mendidih maka dapat mengukur suhu minyak menggunakan alat thermometer untuk mendapatkan hasil suhu pada saat minyak kedelai mendidih.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Kadar Air Minyak Kedelai

Berdasarkan pengujian kadar air pada minyak kedelai, maka dihasilkan nilai yang dapat dilihat pada Tabel 2.

TABEL 2
 Kadar Air Minyak Kedelai

Berat Wadah (g)	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Kadar Air	
			%	Mg/Kg
84,6772	10,1079	94,778	99,93	11,354

Berdasarkan Tabel 2 hasil uji kadar air minyak kedelai, nilai berat wadah awal sebelum diisi yaitu sebesar 84.6772 gram, setelah berat wadah awal ditambahkan dengan minyak kedelai didapatkan berat

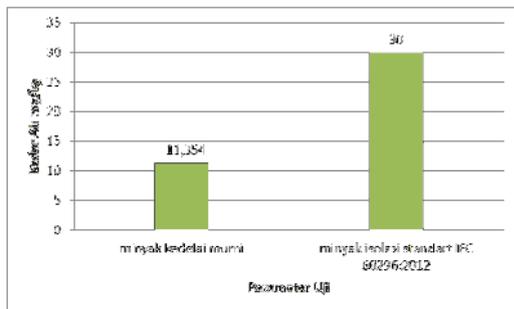
sebesar 10.1079 gram dan berat wadah akhir sebesar 94.778 gram. Adapun hasil kadar air yang dapat dihitung menggunakan rumus yang dilihat berikut ini :

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{10,1079 - 94,778}{10,1079 - 84,677} \times 100\% = 1,1354\% \times 10.000 = 11.354 \text{ mg/kg}$$

Setelah melakukan perhitungan kadar air maka didapatkan hasil sebesar 11.354 mg/kg yang mana akan dibandingkan dengan nilai standart IEC 6029:2012 yang dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 3 berikut ini:

TABEL 3
 Hasil Pengujian Kadar Air Minyak Transformator

Parameter Uji	Minyak Kedelai	Standar IEC 60296:2012
Kandungan air (mg/Kg)	11,354	≤30mg/Kg



Gambar 3. Grafik Perbandingan Nilai Kadar Air

Berdasarkan hasil pada Tabel 3 dan Gambar 3 dapat dilihat nilai dari kadar air minyak kedelai yang diperoleh yaitu 11,354mg/kg yang mana nilai standart IEC 60296:2012 minyak transformator yaitu ≤30mg/kg.

B. Pengujian Viskositas Minyak Kedelai

Setelah dilakukan pengujian viskositas, maka diperoleh hasil pengujian yang dapat dilihat pada Tabel 4

TABEL 4
 Hasil Perhitungan Viskositas

Massa Piknometer Kosong (gram)	Aquades t (ml)	Massa Piknometer dengan Sampel (gram)	Massa Jenis Sampel (g/cm ³)	Massa Jenis Bola (Kg/m ³)	Waktu (s)	Viskositas Dinamis (mPa.s)
12,6180	17,7847	17,3864	0,9229	0,56	6,46	26,10

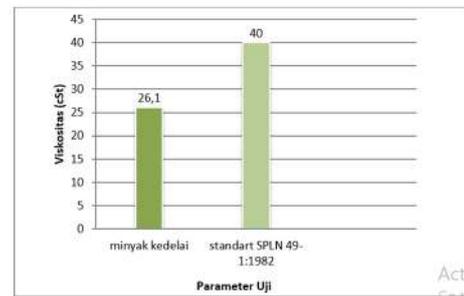
Berdasarkan pada Tabel 4 hasil perhitungan viskositas yaitu sebesar 26,10 mPa.s. nilai yang diperlukan yaitu viskositas kinematik namun disini yang diuji menggunakan viskositas dinamis. Namun nilai viskositas dinamis dapat dikonversikan menjadi viskositas kinematik yaitu dengan cara menghitung menggunakan persamaan 2

$$V = \frac{0,2610 \text{ cms}}{0,9229 \text{ g/cm}^3} = 0,28 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}} = 28 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}} = 28 \text{cSt}$$

Dari hasil perhitungan nilai viskositas kinematik minyak kedelai dengan menggunakan suhu yaitu sebesar 20°C maka didapatkan hasil nilai viskositas sebesar 28cSt.

TABEL 5
 Hasil Pengujian Viskositas Minyak Kedelai

Parameter Uji	Minyak Kedelai	Standar SPLN 49-1:1982
Viskositas (cSt)	26,10	40



Gambar 4. Grafik Perbandingan Viskositas Minyak Kedelai

Berdasarkan pada Grafik diatas bawhasanya nilai viskositas yang telah diuji mendapatkan nilai yaitu 26,1 cSt, dimana nilai standart 49-1:1982 minyak transformator yaitu sebesar ≤40cSt.

C. Pengujian Titik Didih

Setelah dilakukan pengujian titik didih, maka diperoleh hasil pengujian yang dapat dilihat pada Tabel 6

TABEL 6
 Hasil Pengujian Titik Didih Minyak Kedelai

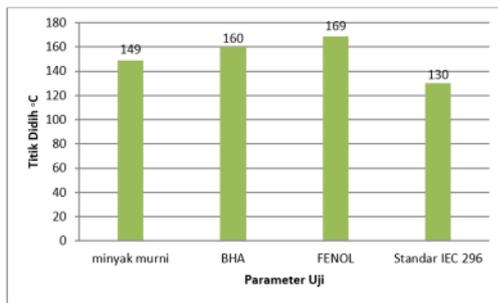
Kapasitas Sampel Minyak Kedelai (ml)	Titik Didih (°C)		
	Minyak Kedelai Murni	BHA	FENOL
500	149	160	169

Berdasarkan Tabel 4.5 pada pengujian titik didih minyak kedelai pada sampel minyak kedelai sebanyak 500 ml untuk mengukur nilai titik didih minyak kedelai murni, dengan alat ukur yang digunakan yaitu thermometer dan diperoleh nilai titik didih minyak kedelai murni sebesar 149°C, BHA sebesar 160°C, dan FENOL sebesar 169°C. Kemudian dibandingkan dengan nilai standar IEC 296, maka dapat dilihat pada Tabel 7 dan Gambar 6 berikut ini.

TABEL 7
 Hasil Pengujian Titik Didih Minyak Transformator

Parameter Uji	Minyak Kedelai Murni	BHA	FENOL	Standar IEC 296

Titik Didih °C	149°C	160	169	130°C
----------------	-------	-----	-----	-------



Gambar 5. Grafik Hasil Pengujian Titik Didih Minyak Transformator

Berdasarkan pada Tabel 7 dan Gambar 5 maka didapat nilai titik didih pada minyak kedelai murni yaitu sebesar 149°C, kemudian nilai BHA yaitu sebesar 160°C dan FENOL mendapatkan nilai sebesar 169°C.

D. Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus

Data hasil pengujian ini diperoleh berdasarkan setiap sampel yang telah diuji. Berikut ini merupakan pengujian minyak kedelai dengan campuran BHA dan FENOL ini yaitu sebesar 2% 3% Dan 4

Pada tabel dan Gambar di bawah menunjukkan tegangan tembus minyak kedelai dengan penambahan antioksidan *butylated hydroxyanisole* (BHA) dan FENOL. Pada tabel dan gambar dibawah ini dapat dinyatakan bahwa besar nilai tegangan tembus dengan beberapa variasi dari penambahan *antioksidan* BHA dan FENOL dapat dilihat pada Tabel 8 dibawah ini:

TABEL 8

Data Uji Sampel Rata-Rata Perbandingan Sela Bola Tanpa BHA Dan BHA Suhu Dengan Jarak Variasi 2 mm, 2,5 mm, Dan 3 mm

Sampel Minyak	Kapasitas (ml) Minyak Kedelai	Jarak (mm)	Nilai Rata-rata Tegangan Tembus (KV)
Minyak Kedelai Murni	500	2	6,6
	500	2,5	8,0
	500	3	8,1
Minyak Kedelai + BHA 2%	500	2	10,1
	500	2,5	10,5
	500	3	10,5
Minyak Kedelai + BHA 3%	500	2	6,4
	500	2,5	7,1
	500	3	6,3
Minyak Kedelai + BHA 2%	500	2	18,9
	500	2,5	19,1
	500	3	7,3
Minyak Kedelai +	500	2	10,1
	500	2,5	30,8

BHA 3%	500	3	10,5
Minyak Kedelai + BHA 2%	500	2	7,3
	500	2,5	8,3
	500	3	42,6
Minyak Kedelai + BHA 3%	500	2	7,1
	500	2,5	8,6
	500	3	31,2

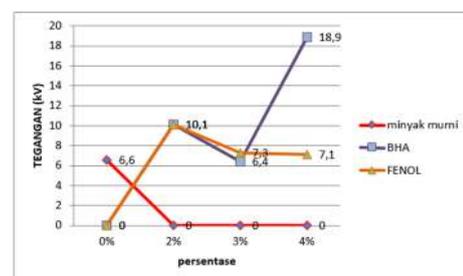
Dari data-data pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, yaitu untuk memprediksi nilai tegangan tembus sebelum dan sesudah ditambahkan Variasi minyak kedelai dengan BHA dan FENOL. Berikut Tabel prediksi nilai tegangan tembus sebelum dan sesudah penambahan *antioksidan* BHA dan FENOL. Dimana pada penelitian ini terdapat 3 sampel dengan penambahan variasi *antioksidan* BHA dan FENOL jarak yang berbeda.

Berikut tabel dan grafik perbandingan minyak kedelai murni dengan penambahan BHA dan FENOL 2%, 3%, dan 4% dengan jarak 2 mm dapat dilihat pada Tabel 9 Dan Gambar 7 untuk tabel dan grafik perbandingan minyak kedelai murni dengan penambahan BHA dan FENOL 2%, 3%, dan 4% dengan jarak 2,5 mm dapat dilihat pada Tabel 10 Dan Gambar 8 sedangkan pada tabel dan grafik perbandingan minyak kedelai murni dengan penambahan BHA dan FENOL 2%, 3%, dan 4% dengan jarak 3 mm dapat dilihat pada Tabel 11 Dan Gambar 9 berikut:

Tabel 9

Perbandingan Tegangan Tembus Minyak Kedelai Murni Dengan Antioksidan BHA Dan FENOL Pada Jarak 2 mm

Parameter Uji	Minyak Kedelai						Jarak	SPLN 49-1:1982
	Kedelai Murni	BHA 2%	BHA 3%	BHA 4%	FENOL 2%	FENOL 3%		
Tegangan tembus (kV)	6,6	10,1	6,4	18,9	10,1	7,3	7,1	2 mm 30 kV



Gambar 6 Perbandingan Uji Tegangan Tembus Minyak Kedelai Dengan Persentase 2%, 3% Dan 4% Dengan Jarak Elektroda 2 mm

Berdasarkan Tabel 9 dan Gambar 6 Pada Pengujian ini bahwa nilai tegangan tembus minyak kedelai murni

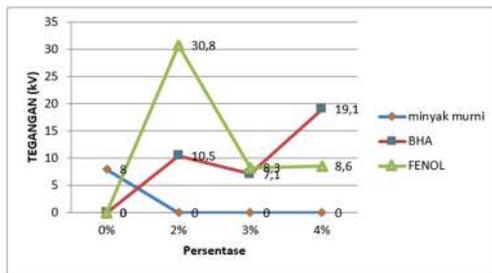
dengan nilai rata-rata sebesar 6,6 kV. Sedangkan nilai tegangan tembus dengan penambahan persentase BHA 2% dengan nilai rata-rata yaitu 10,1 kV, BHA 3%, nilai rata-rata sebesar 6,4 kV, sedangkan BHA 4% nilai rata-rata sebesar 18,9 kV. Artinya dalam penambahan *antioksidan* BHA ini dapat berpengaruh untuk meningkatkan nilai tegangan tembusnya. Dalam pengujian ini berbanding lurus dengan hasil yang telah diuji tegangan tembusnya, karena semakin besar penambahan persentase pada BHA ini semakin besar juga nilai yang dihasilkan walaupun nilai yang dihasilkan ini belum juga memenuhi standar SPLN 49-1:1982 ≥ 30 kV.

Sedangkan dengan penambahan FENOL pada minyak kedelai ini nilai tegangan tembus yang didapatkan pada FENOL 2% mendapatkan nilai rata-rata yaitu 10,1 kV, pada FENOL 3% nilai rata-rata sebesar 7,3 kV, dan pada FENOL 4% nilai rata-rata sebesar 7,1 kV.

Tabel 10

Perbandingan Tegangan Tembus Minyak Kedelai Murni Dengan Antioksidan Bha Dan Fenol Pada Jarak 2.5 mm

Parameter	Minyak Kedelai						Jarak	SPLN	
	Uji	Kedelai Murni	BHA			FENOL			
Tegangan tembus (kV)			8,0	2%	3%	4%	2%	3%	4%
		10,5	7,1	19,1	9,2	8,3	8,6		30 kV



Gambar 7 Perbandingan Uji Tegangan Tembus Minyak Kedelai Dengan Persentase 2%, 3% Dan 4% Dengan Jarak Elektroda 2,5 mm

Berdasarkan Tabel 10 dan Gambar 7 Pada Pengujian ini mengambil parameter nilai tegangan tembus pada minyak kedelai dengan penambahan *antioksidan Butylated Hydroxyanisole* (BHA) dan FENOL pada jarak 2,5 mm. Maka didapatkan nilai tegangan tembus minyak kedelai murni dengan nilai rata-rata sebesar 8,0 kV. Sedangkan nilai tegangan tembus dengan persentase BHA 2% dengan nilai rata-rata yaitu 10,5 kV, untuk BHA 3%, nilai rata-rata sebesar 8,3 kV, sedangkan BHA 4% mendapatkan nilai rata-rata sebesar 8,6 kV.

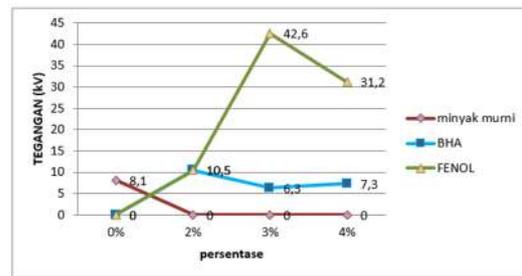
Sedangkan dengan penambahan FENOL pada minyak kedelai dengan persentase FENOL 2% dengan nilai rata-rata yaitu 30,8 kV, FENOL 3% mendapatkan

nilai rata-rata sebesar 7,1 kV, dan FENOL 4% mendapatkan nilai rata-rata sebesar 19,1 kV.

Tabel 11

Perbandingan Tegangan Tembus Minyak Kedelai Murni Dengan Antioksidan Bha Dan Fenol Pada Jarak 3 Mm

Parameter	Minyak Kedelai						Jarak	SPLN	
	Uji	Kedelai Murni	BHA			FENOL			
Tegangan tembus (kV)			8,1	2%	3%	4%	2%	3%	4%
		10,5	6,3	7,3	10,5	42,6	31,2		30 kV



Gambar 8 Perbandingan Uji Tegangan Tembus Minyak Kedelai Dengan Persentase 2%, 3% Dan 4% Dengan Jarak Elektroda 3 mm

Berdasarkan Tabel 11 dan Gambar 8 Pada Pengujian ini dengan parameter nilai tegangan tembus pada minyak kedelai dengan penambahan BHA dan FENOL pada jarak 2,5 mm. Maka didapatkan nilai tegangan tembus minyak kedelai murni dengan nilai rata-rata sebesar 8,1 kV. Sedangkan nilai tegangan tembus dengan BHA 2% didapatkan nilai rata-rata yaitu 10,5 kV, untuk BHA 3%, nilai rata-rata sebesar 6,3 kV, sedangkan BHA 4% nilai rata-rata sebesar 7,3 kV. Pada penambahan persentase BHA ini berbanding terbalik dengan hasil yang telah diuji tegangan tembusnya,

Sedangkan dengan penambahan FENOL pada minyak kedelai dengan persentase FENOL 2% mendapatkan nilai rata-rata yaitu 10,5 kV, FENOL 3% nilai rata-rata sebesar 42,6 kV, dan FENOL 4% nilai rata-rata sebesar 31,2 kV. Maka dapat disimpulkan bahwa penambahan persentase FENOL ini semakin besar dalam pencampuran FENOL maka nilai yang dihasilkan semakin besar. Artinya dengan penambahan fenol ini berbanding lurus dengan hasil uji tegangan tembus, Maka nilai tegangan tembus yang dihasilkan memenuhi standar SPLN 49-1:1982 ≥ 30 kV.

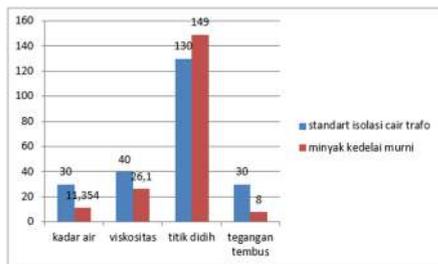
E. Analisis Kelayakan Minyak Kedelai Sebagai Isolasi Cair

Berdasarkan hasil data yang telah diuji yaitu kadar air, viskositas, titik didih dan tegangan tembus, maka didapatkan nilai dari hasil pengujian menggunakan

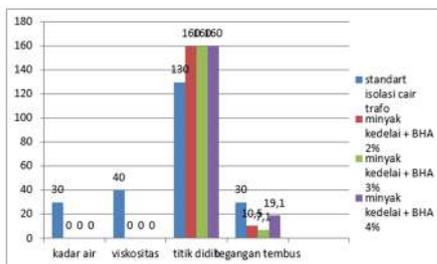
minyak kedelai murni, dengan penambahan *antioksidan* BHA dan FENOL. Kemudian hasil tersebut dibandingkan sesuai standart yang telah digunakan. Dari hasil tersebut dapat dilihat nilai perbandingan minyak kedelai dengan minyak transformator pada Tabel 12

Tabel 12
 Perbandingan Kelayakan Minyak Kedelai Dengan Srandat

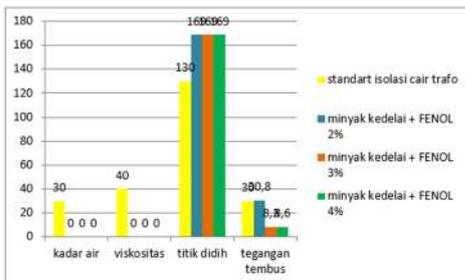
Variable Uji	Standart Minyak Isolasi	Hasil Pengujian Sampel Minyak Kedelai						
		Minyak Kedelai Murni	Minyak Kedelai Dengan Penambahan BHA			Minyak Kedelai Dengan Penambahan FENOL		
			2%	3%	4%	2%	3%	4%
Kadar Air	≤30 mg/kg (IEC6029 6:2012)	11,354	-	-	-	-	-	-
Viskositas	≤40cSt (SPLN 49-1:1982)	26,10cSt	-	-	-	-	-	-
Titik Didih	130°C (IEC296)	149	160	160	160	169	169	169
Tegangan Tembus	≥30kV/2.5 mm (SPLN 4901:192)	8,0	10,5	7,1	19,1	30,8	8,3	8,6



(A)



(B)



(C)

Gambar 9 (a) Perbandingan Pengujian Minyak Kedelai Murni Dengan Standart Isolasi Transformator (b) Cair Perbandingan Pengujian Minyak Kedelai + Bha Dengan Standart Isolasi

Berdasarkan pada Tabel 12 dan Gambar 9 mengenai perbandingan pengujian minyak kedelai murni, minyak kedelai + BHA dan minyak kedelai + FENOL dengan standart isolasi transformator cair, dengan adanya beberapa variasi penambahan antioksidan yaitu 2%, 3%, 4% dan variasi jarak yaitu 2mm, 2,5mm, 3mm, namun dalam grafik diatas menggunakan jarak 2.5 mm karena yang sesuai standart IEC 60442 yaitu digunakan yaitu 2.5mm/30kV.

Pada tabel diatas bahwasanya ada beberapa pengujian variable yaitu kadar air, viskositas, titik didih, dan tegangan tembus minyak kedelai yang dibandingkan dengan standart isolasi transformator cair. dimana nilai kadar air pada minyak kedelai sebesar 11,354. nilai viskositas pada minyak kedelai nilainya yaitu sebesar 149°C untuk minyak murni, 160°C dengan penambahan BHA, dan 169°C dengan penambahan FENOL. nilai tegangan tembus yang memenuhi standart IEC 60442 yaitu pada FENOL 2% pada jarak 2,5 nilai sebesar 30,8 kV.

5. KESIMPULAN

- Dengan jarak 2,5 mm maka diperoleh hasil pengujian nilai tegangan tembus pada minyak kedelai murni yaitu sebesar 8,0 kV, sedangkan pada minyak kedelai dengan penambahan BHA 2% didapatkan nilai 10,1 kV, BHA 3% didapatkan nilai 7,1 kV, dan BHA 4% didapatkan nilai 19,1 kV. Dan pada penambahan FENOL 2% didapatkan nilai 30,8 kV, pada FENOL 3% didapatkan nilai 8,3 kV, pada FENOL 4% didapatkan nilai 8,6 kV. Sehingga, disimpulkan bahwa antioksidan *butylated hydroxyanisole* (BHA) dan FENOL dapat meningkatkan nilai tegangan tembus pada minyak kedelai. Hal ini dikarenakan sifat dari BHA dan FENOL mempunyai sifat antioksidan yang tinggi. Pengujian tegangan tembus pada minyak kedelai yang memenuhi kelayakan standar IEC 60442 hanya pada FENOL dengan konsentrasi 2% .
- Nilai tengangan tembus rata-rata tertinggi didapat pada komposisi penambahan antioksidan FENOL 3% dengan jarak 2,5mm sebesar 30,8 kV, nilai ini meningkat dari tegangan tembus rata-rata minyak kedelai murni dengan selisih nilai sebesar 22,8kV. Sedangkan pada pengisian antioksidan BHA 3% nilai tegangan tembus pada rata-rata sebesar 8,3 kV juga mengalami peningkatan nilai tegangan tembus rata-rata minyak kedelai dengan selisih nilai sebesar 0,3 kV.

6. REFERENSI

- [1] and S. T. M. Koch, M. Fischer, "The breakdown voltage of insulation oil under the influences of humidity, acidity, particles and pressure," *Sci. Pap. Inst. Electr. Eng. Fundam. Wroclaw Tech. Univ. Conf.*, p. no 46, pp. 98-103, 2007.
- [2] M. S. I. and A. K. K. M. R. Ahmed, "Experimental Investigation of Electrical and Thermal Properties of Vegetable Oils for Used in Transformer," "2021 Int. Conf. Autom. Control Mechatronics Ind. 4.0 (ACMI)", pp. 1-4, doi: 10.1109/ACMI53878.2021.9528278...
- [3] C. N. Egbuna, S.O.*, Ude, O.C., and Ude, "Suitability of Soybean Seed Oil as Transformer Oil," *Int. J. Eng. Sci. Res. Technol. – Enugu-Nigeria*, vol. doi: 10.52, pp. 105-112, 2016.
- [4] and M. A. H. Q. Rossi Indiarito, "A Review of Soybean Oil Lipid Oxidation and Its Prevention Techniques," *Int. J. Adv. Sci. Technol.*, vol. Vol. 29, no. No. 6, pp. 5030-5037, 2020.
- [5] M. W. I. and M. B. M. Karthik, "Investigation of vegetable oil blended with antioxidant," "2015 IEEE Int. 39 Conf. Electr. Commun. Technol. (ICECCT)", vol. doi: 10.11, pp. 1-7, 2015.
- [6] A. Learner, "Penguujian Karakteristik Minyak Trafo pada Transformator (Standar IEC 60442)," <https://ilmubebarengan.wordpress.com/2020/04/20/penguujian-karakteristik-minyak-trafo-pada-transformator-standar-iec-60442/>.
- [7] A. Munajad *et al.*, "Pelaksana Pembangkitan Belawan Oil Age Analysis of 150Kv Transformer Temperature Due To Reducing Breakdown Voltage," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 11, no. 2, pp. 63-71, 2019.
- [8] M. Martins, "Vegetable oils, an alternative to mineral oil for power transformers-experimental study of paper aging in vegetable oil versus mineral oil," *IEEE Electr. Insul. Mag.*, vol. 26, no. 6, pp. 7-13, 2010, doi: 10.1109/MEI.2010.5599974.
- [9] A. Raymon, P. Pakianathan, M. P. E. Rajamani, and R. Karthik, "Enhancing the critical characteristics of natural esters with antioxidants for power transformer applications," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 20, no. 3, pp. 899-912, 2013, doi: 10.1109/TDEI.2013.6518959.
- [10] et al. Mohammed, L. Syed, "Studies on critical properties of vegetable oil based insulating fluids." "2015 Annu. IEEE India Conf.
- [11] N. Fitri, "Butylated hydroxyanisole sebagai Bahan Aditif Antioksidan pada Makanan dilihat dari Perspektif Kesehatan," *J. Kefarmasian Indones.*, vol. Vol 4(1):, pp. 41-50, 2014.
- [12] P. D. Anne Marie Helmenstine, "Chemistry of BHA and BHT Food Preservatives," 2019.
- [13] J. T. Elektro, F. Teknik, and U. Jember, "Digital Digital Repository Repository Universitas Universitas Jember Jember Digital Digital Repository Repository Universitas Universitas Jember Jember," 2019.
- [14] F. Hariyanto, "Analisis Tegangan Tembus dan Viskositas Minyak Transformator dengan Aditif Amina, BHT, dan Fenol." vol. doi: 10.11, pp. 839-842, 2014.