

ANALISIS KARAKTERISTIK MINYAK TERHADAP TEGANGAN TEMBUS TIGA JENIS MINYAK SEBAGAI ALTERNATIF MINYAK ISOLASI TRANSFORMATOR

Ika Novia Anggraini¹, Hoklan Roianri Rifki Rinaldi Situngkir², Yuli Rodiah³, Reza Satria Rinaldi⁴, Muhammad Arfan⁵
Universitas Bengkulu
Email : ikanovia@unib.ac.id¹

ABSTRACT

This research seeks to assess the influence of viscosity and moisture content on the breakdown voltage of canola oil, corn oil, and sunflower seed oil, as well as to evaluate the quality and properties of these oils as potential alternative liquid insulations for transformers. Transformer liquid insulation specifications according to SPLN 50-1982 and IEC 60247:1991 standards include a breakdown voltage of 30 kV/2.5 mm, a maximum moisture content of 30 ppm or 0.003%, and a kinematic viscosity of 40 cSt at 20°C. During the assessment of moisture content and viscosity, two oil conditions are examined: fresh oil and old oil after the breakdown voltage test. The test data indicates that moisture content and viscosity influence breakdown voltage. Specifically, canola oil, with a moisture content of 0.17% and a viscosity of 28 cSt, exhibits a breakdown voltage of 20.5 kV/2.5 mm; corn oil, with a moisture content of 0.11% and a viscosity of 27 cSt, demonstrates a breakdown voltage of 25.3 kV/2.5 mm; sunflower seed oil, with a moisture content of 0.12% and a viscosity of 26 cSt, shows a breakdown voltage of 21.5 kV/2.5 mm. Nevertheless, the test findings indicate that the breakdown voltage fails to comply with the transformer insulating oil requirement.

Keywords : Breakdown voltage, insulating liquid, vegetable-based oil, viscosity, water content.

INTISARI

Penelitian ini bertujuan untuk menilai pengaruh viskositas dan kandungan air terhadap tegangan tembus dari minyak kanola, minyak jagung, dan minyak biji bunga matahari, serta untuk mengevaluasi kualitas dan sifat-sifat minyak ini sebagai alternatif isolasi cair potensial untuk transformator. Spesifikasi isolasi cair transformator menurut standar SPLN 50-1982 dan IEC 60247:1991 mencakup tegangan putus 30 kV/2,5 mm, kandungan kelembapan maksimum 30 ppm atau 0,003%, dan viskositas kinematik 40 cSt pada 20°C. Selama penilaian kandungan kelembapan dan viskositas, dua kondisi minyak diperiksa: minyak segar dan minyak tua setelah uji tegangan putus. Data uji menunjukkan bahwa kandungan air dan viskositas mempengaruhi tegangan putus. Secara spesifik, minyak kanola, dengan kandungan air sebesar 0,17% dan viskositas 28 cSt, menunjukkan tegangan putus sebesar 20,5 kV/2,5 mm; minyak jagung, dengan kandungan air sebesar 0,11% dan viskositas 27 cSt, menunjukkan tegangan putus sebesar 25,3 kV/2,5 mm; minyak biji bunga matahari, dengan kandungan air sebesar 0,12% dan viskositas 26 cSt, menunjukkan tegangan putus sebesar 21,5 kV/2,5 mm. Namun demikian, hasil uji menunjukkan bahwa tegangan tembus tidak memenuhi persyaratan minyak isolasi transformator.

Kata kunci: Isolasi cair, kadar air, minyak nabati, tegangan tembus, viskositas.

I. PENDAHULUAN

Dalam system tenaga listrik, transformator berperan dalam meningkatkan dan menurunkan tegangan listrik. Sistem kelistrikan transformator perlu diperhatikan, terutama gangguan yang disebabkan oleh minyak isolasi. Kualitas minyak isolasi harus terjaga dengan dilakukan penggantian minyak atau penyaringan minyak isolasi transformator secara berkala. Saat ini, penggunaan

minyak isolasi transformator menggunakan minyak bumi yang memiliki harga relatif mahal dan langka. Penggantian minyak bumi dengan minyak nabati sebagai minyak isolasi. Minyak nabati digunakan untuk memperbaiki kualitas dan ketahanan sebagai minyak isolasi transformator. Minyak nabati perlu diteliti untuk mengidentifikasi karakteristiknya, termasuk sifat kimia, sifat fisik, dan sifat kelistrikan. Penelitian ini menganalisis

tegangan tembus pada minyak kanola, minyak jagung, dan minyak biji bunga matahari. Minyak kanola memiliki potensi sebagai minyak isolasi karena kandungan asam lemak jenuh yang rendah, sedangkan minyak biji bunga matahari adalah produk minyak terbesar keempat di dunia, tetapi hanya dimanfaatkan sebagai minyak goreng. Oleh karena itu, penelitian diperlukan untuk memanfaatkan minyak tersebut sebagai alternatif minyak isolasi transformator, agar dapat dibandingkan dengan standar yang berlaku. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai tegangan tembus pada minyak kanola, minyak jagung, dan minyak biji bunga matahari, menganalisis pengaruh kadar air terhadap nilai tegangan tembus minyak tersebut, serta mengevaluasi pengaruh viskositas terhadap nilai tegangan tembus minyak yang sama.

II. LANDASAN TEORI

A. Transformator

Transformator merupakan salah satu jenis perangkat listrik yang esensial dalam distribusi tenaga listrik. Transformator (*step-up*) berfungsi untuk meningkatkan tegangan yang dihasilkan oleh generator, yang kemudian disalurkan ke gardu induk. Di sana, tegangan tersebut diturunkan melalui transformator *step-down* menjadi tegangan primer. Transformator dilengkapi dengan minyak yang berperan sebagai isolasi dan pendingin pada perangkat tersebut [3].

B. Minyak Isolasi

Minyak transformator, sebagai bahan isolasi, perlu memiliki tegangan tembus yang tinggi. Minyak ini berperan sebagai media pendingin, yang bertujuan untuk mencegah kenaikan temperatur pada transformator. Kelemahan isolasi kertas dapat menyebabkan terjadinya hubungan singkat, yang berpotensi menimbulkan kerusakan pada transformator [4].

C. Syarat Minyak Isolasi

Menurut standarisasi yang dikeluarkan oleh PLN, yaitu SPLN yang merujuk pada IEC, minyak isolasi harus memenuhi syarat-syarat berikut: kejernihan, massa jenis, viskositas, dan titik nyala. Batas maksimum nilai titik nyala untuk minyak isolasi baru pada Kelas 1 ditetapkan pada -30°C , sedangkan untuk Kelas 2 adalah -40°C . Batas standar angka kelarutan untuk minyak isolasi cair baru ditetapkan pada $0,03 \text{ mgKOH/g}$. Tegangan tembus merujuk pada nilai tegangan (dalam kV) yang memicu arus listrik pada isolator bahan isolasi. Batas minimal tegangan minyak isolasi sebelum diolah adalah $30 \text{ kV}/2,5 \text{ mm}$, sedangkan setelah diolah menjadi $50 \text{ kV}/2,5 \text{ mm}$. Nilai maksimum untuk faktor ini adalah $0,05$. Batas nilai maksimal untuk kelarutan dalam pengujian ini adalah $0,40 \text{ mgKOH/g}$, sedangkan nilai persentase kolesterol maksimum adalah $0,10\%$.

Keberadaan air dalam minyak isolasi akan mengurangi tegangan tembus. Nilai maksimum kandungan air pada minyak isolasi ditetapkan sebesar 30 ppm . Batas minimal nilai tegangan permukaan minyak isolasi ditetapkan sebesar 43 mN/m . Gas terlarut dan gas bebas dalam minyak isolasi dapat digunakan untuk menganalisis kondisi transformasi selama operasi. Keberadaan gas H_2 , CH_4 , C_2H_6 , C_2H_4 , dan C_2H_2 menunjukkan terjadinya dekomposisi minyak isolasi dalam kondisi operasi, sedangkan keberadaan CO_2 dan CO mengindikasikan kerusakan pada bahan isolasi [5].

D. Karakteristik Isolasi Cair

Dielektrik cair harus memiliki sifat dielektrik yang baik, karakteristik perpindahan panas yang bagus, dan struktur kimia yang stabil saat pengoperasian.

E. Sifat-sifat Fisika Isolator Minyak

1. Massa Jenis (*Specific Mass*)

$$\rho = \frac{m_1 - m_2}{v} \quad (2.1)$$

2. Kekentalan (*Viscosity*)

$$V = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.2)$$

3. Titik Nyala (*Flash Point*)

4. Titik Tuang (*Pour Point*)

F. *Sifat Kimia Isolator Minyak*

1. Kandungan asam

2. Kandungan gas

3. Kandungan air

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1 - m_2} \times 100\% \quad (2.3)$$

G. *Sifat Listrik Isolator Minyak*

1. Tegangan Tembus (*Breakdown Voltage*)

2. Tahanan Jenis (*Resistivity*)

3. Faktor Kebocoran Dielektrik (*Dielectric Dissipation Factor*) [6].

H. *Teori Kegagalan Isolasi Cair*

Karakteristik isolasi cair akan mengalami perubahan akibat adanya ketidakmurnian di dalamnya. Faktor-faktor yang mempengaruhi kegagalan isolasi mencakup keberadaan partikel padat, uap air, dan gelembung gas. Ada empat jenis kegagalan isolasi zat cair: kegagalan zat cair, kegagalan gelembung gas, kegagalan bola cair, dan kegagalan ketidakmurnian padat [7].

I. *Pengujian Minyak Isolasi*

Penelitian yang dilakukan oleh Inspeksi dan Perusahaan Asuransi menunjukkan bahwa 10% dari kegagalan transformator tenaga disebabkan oleh degradasi bahan isolasi dan kegagalan internal "overload coil" pada lilitan tegangan tinggi akibat penumpukan deposit/sludge. Para ahli yang berwenang telah menetapkan pedoman dalam bentuk standar pengujian dan spesifikasi teknis, termasuk IEC, ASTM, BS, dan lainnya [11].

Tabel 1 Batasan Minyak Isolasi Baru IEC 60296-2003

No	Parameter Uji	Batasan
1	Fungsi	
1.1	Viskositas pada 40°C	Max. 12 cSt
1.2	Titik tuang	Max. - 40 oC
1.3	Kadar air	Max. 30 mg/kg
1.4	Tegangan tembus :	Min.30kV/2.5mm
1.5	Densitas pada 20 oC	Max. 0,895 g/ml
1.6	Faktor kebocoran dielektrik	Max. 0,0005
2	Stabilitas	
2.1	Keasaman	Max. 0,01 mg KOH/kg
2.2	Tegangan AntarMuka	Min. 40 dyne/m
2.3	Korosif Sulfur	Tidak korosif
2.4	Kadar Sulfur	Tidak disyaratkan
2.5	Aditif antioksidan	U: Tidak terdedeksi T: Max. 0,08 % I: 0,08 % - 0,4 %.
2.6	Kadar furfural	Max. 0,1 mg/kg
3	Unjuk Kerja	
3.1	Ketahanan oksidasi : - Sedimen - Keasaman - DDF at 90oC	Max. 0,8 % Max. 1,2 mg KOH/g Max. 0,500
3.2	Gassing tendency	Tidak disyaratkan
4	Keamanan	
4.1	Titik nyala	Min. 135 oC
4.2	PCA	Max. 3 %
4.3	PCB	Tidak terukur

J. *Breakdown Voltage Test*

Uji tegangan tembus (*Breakdown Voltage Test*) merupakan salah satu metode uji prediktif dalam pemeliharaan yang bertujuan untuk mengukur kemampuan isolasi minyak dalam menghadapi tegangan yang diterapkan. Elektroda dimasukkan secara mendatar ke dalam bejana pengujian untuk tujuan pengukuran medan listrik yang dihasilkan oleh turbulensi dan konduktivitas. Pengujian sampel minyak dapat dilakukan dengan jarak dari elektroda yang dapat ditentukan dengan akurasi 2,5 mm, sebagai jarak pengukuran, tanpa memerlukan pemasangan alat ukur melalui pemadatan material yang diselimuti. Perhitungan tegangan breakdown rata-rata dan ketahanan

dielektrik minyak transformator dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.4 dan persamaan 2.5 sebagai acuan.

$$Vb(\text{rata-rata}) = \frac{\text{jumlah nilai tegangan percobaan}}{\text{jumlah banyaknya percobaan}} \quad (2.4)$$

$$E(\text{rata-rata}) = \frac{Vb(\text{rata-rata})}{d} \left(\frac{Kv}{mm} \right) \quad (2.5)$$

K. Minyak Kanola

Minyak kanola diperoleh dari biji tanaman kanola yang memiliki kandungan asam lemak jenuh yang sangat rendah. Minyak ini berpotensi untuk mencegah kerusakan pada sel-sel darah, meningkatkan kelenturan tulang, serta mengurangi risiko stroke. Selain itu, minyak ini dapat berkontribusi pada perbaikan otak dan membran sel yang esensial untuk perkembangan bayi [8].

L. Minyak Jagung

Minyak jagung adalah jenis minyak goreng yang memiliki stabilitas tinggi, mengandung tokoferol yang larut dalam minyak, berfungsi sebagai antioksidan yang efektif dalam menghambat proses oksidasi. Bobot jenis minyak jagung berada dalam rentang 0,918-0,925, sementara nilai indeks pada suhu 25°C terletak antara 1,4657-1,4659. Menurut SNI 01-3394-1998, syarat mutu minyak jagung sebagai minyak makan mencakup beberapa parameter, yaitu warna kuning, bau dan rasa yang normal, serta batasan untuk air dan kolesterol yang tidak boleh melebihi 0,2%. Selain itu, asam lemak bebas juga dibatasi pada 0,2%, dengan cemaran logam (timbal) maksimal 0,1 mg/kg, belerang maksimal 1,5 mg/kg, dan cemaran arsenik maksimal 0,1 mg/kg [13].

M. Minyak Biji Bunga Matahari

Minyak biji bunga matahari adalah produk yang dihasilkan dari pengolahan biji tanaman bunga matahari. Komposisi minyak biji bunga matahari berada dalam rentang 23–45%, di mana asam linoleat yang terdapat dalam minyak tersebut berkisar antara 44–72%, sementara asam oleat

tercatat sebesar 11,7%. Minyak biji bunga matahari memiliki beragam aplikasi, termasuk sebagai minyak goreng, bahan dalam produk kosmetik, pembuatan margarin, dan dalam industri farmasi [8].

III. METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan adalah penelitian berbentuk uji coba, yaitu pengujian terhadap tiga jenis minyak nabati untuk mengetahui nilai tegangan tembus. Pada penelitian ini juga dilakukan pengujian terhadap viskositas, kadar air, dan massa jenis.

B. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. BDV
2. Oven
3. Neraca Analitik
4. Viskometer
5. Gelas Beaker (Cawan)
6. Piknometer
7. Minyak Isolasi

C. Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ini dilakukan secara berurutan, dengan langkah-langkah yang diambil untuk mengumpulkan data dalam proses penelitian. Tahapan pertama adalah studi literatur yang dilakukan untuk mengumpulkan informasi dari jurnal, buku, dan penelitian sebelumnya guna memahami model-model dalam pengumpulan dan pengolahan data. Selanjutnya, bahan-bahan yang akan diuji, seperti minyak dan alat-alat yang digunakan dalam proses pengujian, disiapkan. Setelah alat dan bahan tersedia, langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian untuk memperoleh data yang diperlukan dalam penelitian. Setelah data diperoleh dari hasil pengujian, maka analisis dapat dilakukan untuk

menghasilkan hasil dan kesimpulan dari penelitian yang telah dilaksanakan.

D. Pengujian Tegangan Tembus

Pengujian ini dilakukan untuk mengukur kekentalan minyak yang diuji. Pada proses pengujian, setiap sampel minyak akan diuji sebanyak lima kali dengan selang waktu lima menit setiap pengujiannya.

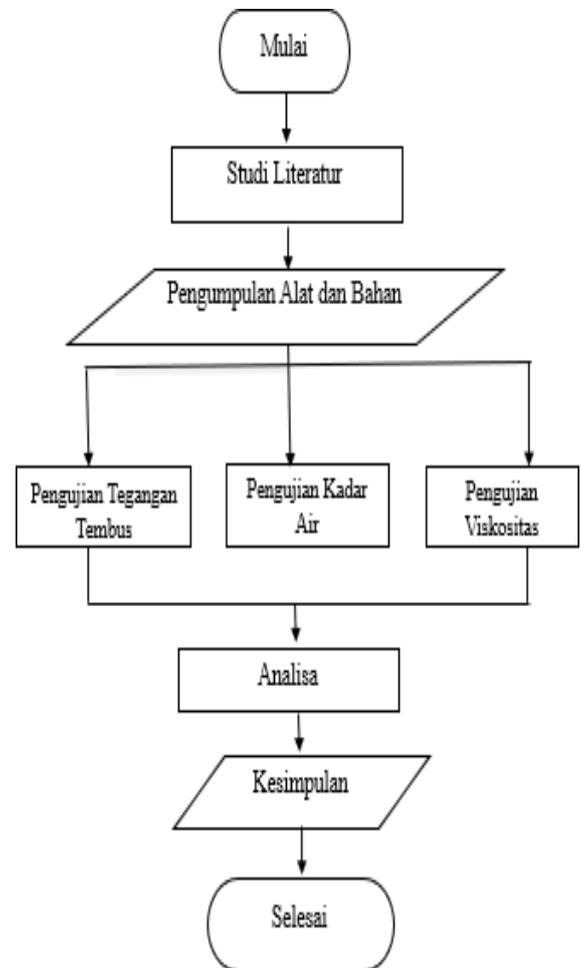
E. Pengujian Kadar Air

Proses pengujian kadar air dilakukan dengan menimbang massa sampel sebelum pemanasan dengan menggunakan neraca analitik. Kemudian, sampel dimasukkan ke dalam oven untuk dipanaskan selama 3 jam pada suhu 100°C. Setelah proses pemanasan selesai, sampel yang telah dipanaskan ditimbang kembali untuk mengetahui besarnya kandungan air yang hilang selama proses pemanasan, sehingga diperoleh hasil kadar airnya.

F. Pengujian Viskositas

Proses penelitian dilakukan dengan mempertimbangkan sampel minyak pada piknometer dan bola uji menggunakan neraca analitik untuk mengukur massa jenis sampel dan bola. Setelah itu, dilakukan pengujian menggunakan viskometer dan pengukuran waktu bola sampai mencapai titik uji menggunakan stopwatch. Selanjutnya, data dihitung untuk mendapatkan nilai viskositas dinamis dan kinematik.

G. Flowchart



Gambar 1 Flowchart Penelitian

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Data Hasil Pengujian

B. Tegangan Tembus

Selama pengujian tegangan tembus menggunakan alat *breakdown voltage test*, diperoleh hasil tegangan tembus yang dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2

Hasil Perhitungan Tegangan Tembus

No	Jenis minyak	Jarak sela (mm)	Tegangan yang diizinkan	Selang waktu 5 menit ke	Hasil (KV/2,5mm)	
1	Minyak Kanola	2,5	30	1	21,9	
				KV/2,5mm	2	16,4
					3	23,9
					4	24,3
					5	16,4
			Rata-rata	20,5		
2	Minyak Jagung	2,5	30	1	16,4	
				KV/2,5mm	2	30,9
					3	19,6
					4	21,5
					5	38,4
			Rata-rata	25,3		
3	Minyak biji bunga matahari	2,5	30	1	24,6	
				KV/2,5mm	2	18,8
					3	25,0
					4	20,7
					5	18,4
			Rata-rata	21,5		

C. Kadar Air

Pengujian kadar air pada ketiga jenis minyak telah dilakukan, dan hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.

TABEL 3
 DATA HASIL PENGUJIAN KADAR AIR

Kondisi	Jenis Minyak	Cawan (g)	Sampel (g)	Cawan + sampel setelah oven (g)	Kadar air (%)
Baru	Kanola	49,1168	10,0556	59,1553	0,17
	Jagung	39,9551	10,0278	49,9714	0,11
	Biji Bunga Matahari	50,5447	10,0343	60,5668	0,12
	Setelah Pengujian Tegangan Tembus	Kanola	59,0470	10,0549	69,0949
	Jagung	73,3052	10,0283	83,3233	0,10
	Biji Bunga Matahari	45,0673	10,0061	55,0666	0,07

D. Viskositas

Setelah dilakukan pengujian viskositas terhadap ketiga jenis minyak, diperoleh data hasil

pengujian yang telah dilaksanakan. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4
 Data Pengujian Viskositas

Kondisi	No	Jenis Minyak	Density sampel (g/cm ³)	Density bola (g/cm ³)	Konstanta (k)	Waktu (s)	Nilai (mPa.s), pada 25°C
Baru	1	Kanola	0,9193	8,137	0,56	6,37	25,75
	2	Jagung	0,9202	8,137	0,56	5,93	24,73
	3	Biji bunga matahari	0,9193	8,137	0,56	6	24,25
Setelah pengujian tegangan tembus	4	Kanola	0,9259	8,137	0,56	6,6	26,65
	5	Jagung	0,9230	8,137	0,56	6,7	27,07
	6	Biji bunga matahari	0,9252	8,137	0,56	5,7	23,02

E. Analisis Kelayakan Minyak

Telah dilakukan pengujian terhadap sampel minyak, sehingga diperoleh data hasil pengujian. Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis untuk memberikan jawaban terhadap rumusan masalah penelitian serta menarik kesimpulan dari pengujian yang telah dilaksanakan.

F. Analisis Tegangan Tembus

Analisis tegangan tembus ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan isolasi sampel minyak terhadap tegangan yang diberikan, sehingga dapat dibandingkan dengan standar tegangan tembus yang diizinkan. Setiap pengujian sampel terdapat 5 kali pengulangan tegangan tembus dengan selang waktu 5 menit untuk setiap pengulangannya. Dari kelima pengujian sampel tersebut, dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai rata-rata dari pengujian tegangan tembus.



Gambar 2 Breakdown Voltage Test Machine



Gambar 3 Tegangan Tembus Saat Pengujian

1. Analisis tegangan tembus pada minyak kanola

Nilai tegangan tembus terbesar diperoleh pada pengujian keempat senilai 24,3 KV/2,5mm dan tegangan terendah diperoleh pada pengujian kedua dan kelima senilai 16,4 KV/2,5mm. Untuk mendapatkan nilai rata-rata dari kelima pengujian dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.4

$$V_b(\text{rata-rata}) = \frac{21,9+16,4+23,9+24,3+16,4}{5} = 20,5 \text{ KV}/2,5\text{mm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tegangan tembus (V_b) rata-rata pada minyak kanola maka dapat dilakukan perhitungan ketahanan dielektrik dengan menggunakan persamaan 2.5

$$E_{\text{rata-rata}} = \frac{20,5}{2,5} = 8,2 \text{ KV}/\text{mm}$$

2. Analisis tegangan tembus pada minyak jagung

Nilai tegangan tembus terbesar diperoleh pada pengujian kelima senilai 38,4KV/2,5mm dan nilai terkecil diperoleh pada pengujian pertama dengan nilai 16,4 KV/2,5mm. Nilai tegangan tembus rata-rata dilakukan dengan persamaan 2.4

$$V_b(\text{rata-rata}) = \frac{16,4+30,9+19,6+21,5+38,4}{5} = 25,3 \text{KV}/2,5\text{mm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tegangan tembus (V_b) rata-rata pada minyak jagung maka dapat dilakukan perhitungan ketahanan dielektrik dengan menggunakan persamaan 2.5

$$E_{\text{rata-rata}} = \frac{25,3}{2,5} = 10,12 \text{ KV}/\text{mm}$$

3. Analisis tegangan tembus pada minyak biji bunga matahari

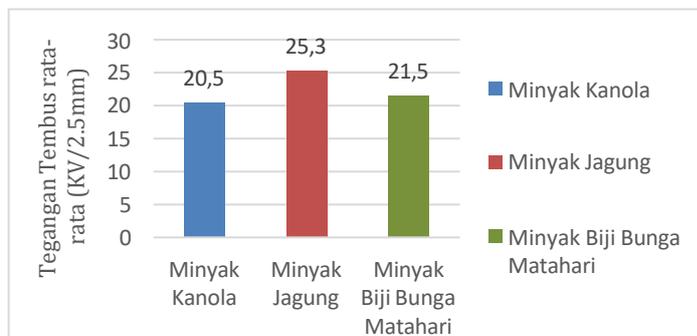
Percobaan dengan sampel minyak biji bunga matahari juga mengalami nilai yang berubah pada setiap pengujianya. Pada kelima pengujian

terdapat nilai terbesar pada pengujian ketiga dengan nilai 25,0 KV/2,5mm dan nilai terkecil diperoleh pada pengujian kelima dengan nilai 18,4 KV/2,5mm. Nilai tegangan tembus rata-rata dilakukan dengan persamaan 2.4

$$V_b(\text{rata-rata}) = \frac{24,6+18,8+25,0+20,7+18,4}{5} = 21,5 \text{ KV}/2,5\text{mm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tegangan tembus (V_b) rata-rata pada minyak biji bunga matahari maka dapat dilakukan perhitungan ketahanan dielektrik dengan menggunakan persamaan 2.5

$$E_{\text{rata-rata}} = \frac{21,5}{2,5} = 8,6 \text{ KV}/\text{mm}$$



Gambar 4 Grafik pengujian tegangan tembus

Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat nilai tegangan tembus rata-rata pada ketiga minyak tersebut. Nilai tegangan tembus yang paling besar diperoleh dari hasil pengujian tegangan tembus pada minyak jagung yaitu sebesar 25,3 kV/2,5 mm dan nilai tegangan tembus yang paling kecil diperoleh dari hasil pengujian tegangan tembus pada minyak kanola yaitu sebesar 20,5 kV/2,5 mm. Disimpulkan bahwa pengujian tegangan tembus minyak kanola, minyak jagung, dan minyak biji bunga matahari belum memenuhi syarat kelakuan minyak isolasi transformator berdasarkan standar SPLN 50-1982 dan IEC 56 tahun 1991, yaitu nilai tegangan tembus yang diizinkan pada minyak transformator minimal 30 kV/2,5 mm.

G. Analisis Kadar Air Terhadap Tegangan Tembus

Pada pengujian kadar air, langkah pertama yang dilakukan adalah dengan menimbang massa cawan dan sampel minyak dengan menggunakan neraca analitik untuk mengetahui massa sampel sebelum dilakukan pemanasan dengan menggunakan oven. Selanjutnya, sampel yang telah diukur dimasukkan ke dalam oven untuk melakukan pemanasan selama 3 jam pada suhu 100°C untuk menghilangkan kadar air yang terkandung pada sampel minyak. Setelah pemanasan selesai dilakukan, maka sampel akan ditimbang kembali untuk dapat menentukan kadar air yang terdapat pada sampel minyak yang diuji.



Gambar 5 Pemanasan sampel minyak pada pengujian kadar air menggunakan oven

1. Kadar air pada minyak kanola

Berdasarkan data pada Tabel 3 dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai kadar air yang terdapat pada minyak kanola dengan menggunakan persamaan 2.3

a. Minyak baru

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{(59,1724 - 59,1153)}{(59,1724 - 49,1168)} \times 100\% = 0,17\%$$

b. Minyak setelah pengujian tegangan tembus

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{(69,1019 - 69,0949)}{(69,1019 - 59,0470)} \times 100\% = 0,07\%$$

2. Kadar air pada minyak jagung

Berdasarkan data pada Tabel 4.2 dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai kadar air yang terdapat pada minyak jagung dengan menggunakan persamaan 2.3.

a. Minyak baru

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{(49,9829 - 49,9714)}{(49,9829 - 39,9551)} \times 100\% = 0,11\%$$

b. Minyak setelah pengujian tegangan tembus

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{(83,3335 - 83,3233)}{(83,3335 - 73,3052)} \times 100\% = 0,10\%$$

3. Kadar air pada minyak biji bunga matahari

Berdasarkan data pada Tabel 4.2 dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai kadar air yang terdapat pada minyak biji bunga matahari dengan menggunakan persamaan 2.3

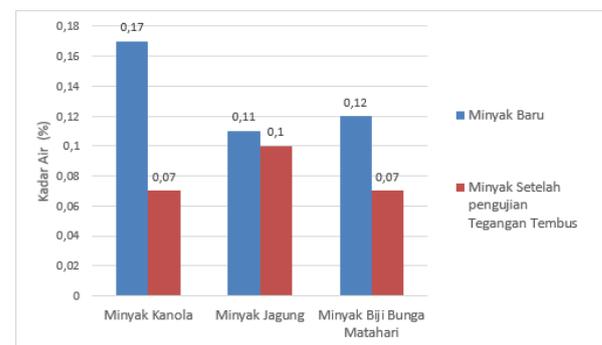
a. Minyak Baru

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{(60,5790 - 60,5668)}{(60,5790 - 50,5447)} \times 100\% = 0,12\%$$

b. minyak setelah pengujian tegangan tembus

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{(55,0734 - 55,0666)}{(55,0734 - 45,0673)} \times 100\% = 0,07\%$$

Berdasarkan data hasil pengujian yang dilakukan maka dapat dibuat grafik pengujian kadar air untuk dapat mempermudah dalam analisis dan pembacaan data hasil pengujian yang dapat dilihat pada Gambar 6 dibawah ini

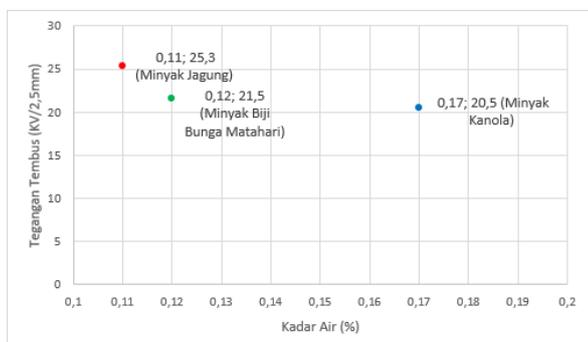


Gambar 6 Grafik perbandingan kadar air minyak baru dan minyak setelah pengujian tegangan tembus

Berdasarkan Gambar 6 minyak dalam kondisi baru dan minyak dalam kondisi setelah dilakukan proses pengujian tegangan tembus. Pada minyak baru setiap jenis minyak memiliki kadar air yang berbeda-beda seperti pada minyak kanola memiliki kadar air yang paling banyak yaitu 0,17 % dan minyak jagung memiliki kadar air yang paling sedikit yaitu 0,11 % dan minyak biji bunga matahari memiliki kadar air sebanyak 0,12 %. Pada minyak dengan kondisi setelah pengujian tegangan tembus memiliki kadar air yang cukup berbeda dengan minyak baru. Minyak kanola dan minyak biji bunga matahari memiliki kadar air yang sama yaitu sebanyak 0,07 % dan minyak jagung memiliki kadar air sebanyak 0,1 %.

Minyak pada kondisi awal pengujian tegangan tembus mengalami penurunan kadar air setelah dilakukan pengujian tegangan tembus. Hal ini disebabkan karena panas yang dihasilkan oleh alat Breakdown Voltage Test selama pengujian berlangsung, sehingga kandungan air dalam minyak mengalami penguapan dan mengurangi kadar air dalam minyak tersebut.

Dari seluruh data hasil pengujian kadar air yang dipaparkan di atas dapat disimpulkan bahwa kadar air yang terdapat pada minyak kanola, minyak jagung, dan minyak biji bunga matahari belum memenuhi kelakuan minyak isolasi transformator berdasarkan standar SPLN 50-1982 dan IEC 56 tahun 1991, yaitu nilai kadar air yang diizinkan maksimal 30 ppm (0,003 %).



Gambar 7 Grafik perbandingan kadar air terhadap tegangan tembus masing-masing minyak

Berdasarkan Gambar 7 pada minyak kanola dengan tegangan tembus 20,5 kV/2,5 mm memiliki kadar air sebanyak 0,17%, pada minyak biji bunga matahari dengan tegangan tembus 21,5 kV/2,5 mm memiliki kadar air sebanyak 0,12%, dan minyak jagung dengan tegangan tembus 25,3 kV/2,5 mm memiliki kadar air sebanyak 0,11%. Berdasarkan nilai pada grafik di atas, maka dapat disimpulkan bahwa semakin sedikit kadar air yang terdapat pada minyak akan menghasilkan nilai tegangan tembus yang semakin besar, dan sebaliknya, semakin banyak kadar air yang terdapat pada minyak akan menurunkan nilai tegangan tembusnya.

H. Analisis Viskositas Terhadap Tembus

Pengujian viskositas dilakukan untuk mengetahui tingkat kekentalan dari sampel minyak yang diuji, sehingga dapat dianalisis dan dibandingkan dengan standar tingkat kekentalan yang diizinkan. Langkah pertama yang dilakukan adalah dengan menimbang massa jenis bola dan sampel yang digunakan untuk pengujian dengan menggunakan neraca analitik. Selanjutnya, sampel minyak dimasukkan ke dalam viskometer dan dilakukan pengujian dengan memasukkan bola ke dalam viskometer berisi minyak sampel, kemudian dilakukan penghitungan waktu laju bola dari titik A ke titik B. Setelah selesai, maka dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai viskositas dinamisnya.



Gambar 8 Menimbang massa jenis bola viskometer



Gambar 9 Menimbang massa jenis sampel minyak



Gambar 10 Viskometer

1. Viskositas minyak kanola

Setelah didapatkan nilai dari viskositas dinamis pada minyak kanola maka untuk mencari nilai viskositas kinematiknya menggunakan persamaan 2.2

a. Minyak baru

$$\text{Viskositas dinamis } (\mu) = 6,37 \times (8,137-0,9193) \times 0,56$$

$$= 25,75 \text{ mPa.s}$$

$$\text{Viskositas Kinematik} = \frac{0,2575}{0,9193} = 0,28 \text{ cm}^2/\text{s} = 28$$

cSt

b. Minyak setelah pengujian tegangan tembus

$$\text{Viskositas dinamis } (\mu) = 6,6 \times (8,137-0,9259) \times 0,56$$

$$= 0,2665 \text{ g/cm-s}$$

$$\text{Viskositas Kinematik} = \frac{0,2665}{0,9259} = 0,29 \text{ cm}^2/\text{s} = 29$$

cSt

2. Viskositas minyak jagung

Setelah didapatkan nilai dari viskositas dinamis pada minyak jagung maka untuk mencari nilai viskositas kinematiknya menggunakan persamaan 2.2

a. Minyak baru

$$\text{Viskositas dinamis } (\mu) = 5,93 \times (8,137-0,9202) \times 0,56$$

$$= 0,2473 \text{ g/cm-s}$$

$$\text{Viskositas kinematik} = \frac{0,2473}{0,9202} = 0,27 \text{ cm}^2/\text{s} = 27$$

cSt

b. Minyak setelah pengujian tegangan tembus

$$\text{Viskositas dinamis } (\mu) = 6,7 \times (8,137-0,9230) \times 0,56$$

$$= 0,2707 \text{ g/cm-s}$$

$$\text{Viskositas kinematik} = \frac{0,2707}{0,9230} = 0,29 \text{ cm}^2/\text{s} = 29$$

cSt

3. Viskositas minyak biji bunga matahari

Setelah didapatkan nilai dari viskositas dinamis pada minyak biji bunga matahari maka untuk mencari nilai viskositas kinematiknya menggunakan persamaan 2.2

a. Minyak baru

$$\text{Viskositas dinamis } (\mu) = 6 \times (8,137-0,9193) \times 0,56$$

$$= 0,2425 \text{ g/cm-s}$$

$$\text{Viskositas kinematik} = \frac{0,2425}{0,9193} = 0,26 \text{ cm}^2/\text{s} = 26$$

cSt

b. Minyak setelah pengujian tegangan tembus

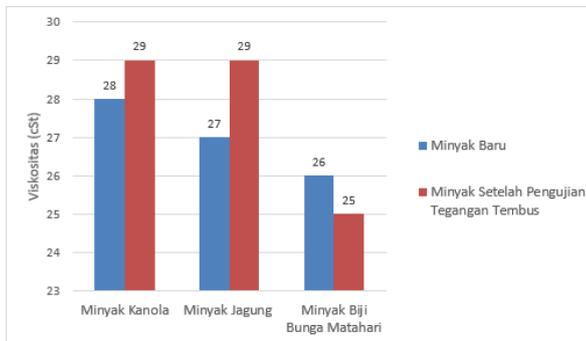
$$\text{Viskositas dinamis } (\mu) = 5,7 \times (8,137-0,9252) \times 0,56$$

$$= 0,2302 \text{ g/cm-s}$$

$$\text{Viskositas kinematik} = \frac{0,2302}{0,9252} = 0,25 \text{ cm}^2/\text{s} =$$

25 cSt

Dalam rangka mempermudah analisis viskositas minyak kanola, minyak jagung, dan minyak biji bunga matahari, data hasil pengujian viskositas disajikan dalam bentuk grafik. Penyajian data secara visual memungkinkan perbandingan dan interpretasi nilai viskositas ketiga jenis minyak tersebut secara lebih mudah dan jelas, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 11 di bawah ini.

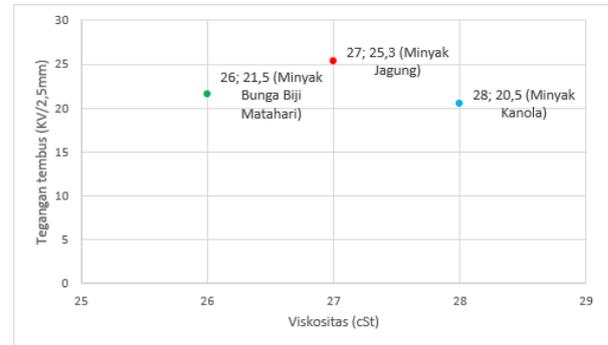


Gambar 11 Grafik perbandingan viskositas minyak baru dan minyak setelah pengujian tegangan tembus

Berdasarkan Gambar 11, pada kondisi minyak baru memiliki nilai viskositas yang berbeda pada setiap jenis minyak. Seperti pada minyak kanola memiliki nilai viskositas terbesar yaitu sebesar 28 cSt, minyak jagung memiliki nilai viskositas sebesar 27 cSt, dan minyak biji bunga matahari memiliki nilai viskositas terkecil yaitu sebesar 26 cSt. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat kelenturan pada ketiga minyak hampir sama dan tidak menunjukkan perbedaan nilai yang signifikan.

Pada minyak kanola memiliki viskositas sebesar 29 cSt, minyak jagung memiliki viskositas sebesar 29 cSt, dan minyak biji bunga matahari sebesar 25 cSt. Perubahan viskositas ini dipengaruhi oleh adanya partikel kecil yang terkandung seperti debu saat proses pengujian tegangan tembus atau wadah yang digunakan sebagai tempat minyak. Pemanasan minyak menyebabkan minyak mengalami pembekuan sehingga minyak mengalami kekentalan.

Nilai viskositas pada ketiga jenis minyak tersebut telah memenuhi syarat minyak isolasi transformator berdasarkan standar SPLN 50-1982, yaitu nilai viskositas yang diizinkan maksimal 40 cSt.



Gambar 12 Grafik perbandingan viskositas terhadap tegangan tembus masing-masing minyak

Berdasarkan Gambar 12, grafik perbandingan viskositas terhadap tegangan tembus menunjukkan nilai yang melonjak dan mengalami kenaikan. Pada minyak kelapa memiliki nilai tegangan tembus terkecil yaitu 20,5 KV/2,5 mm namun memiliki nilai viskositas terbesar yaitu 28 cSt. Minyak biji bunga matahari memiliki tegangan tembus sebesar 21,5 KV/2,5 mm namun memiliki viskositas 26 cSt. Sedangkan minyak jagung memiliki nilai tegangan tembus terbesar yaitu 25,3 KV/2,5 mm dengan viskositas sebesar 27 cSt.

Berdasarkan teori, tegangan tembus semakin tinggi, nilai viskositas atau semakin kentalnya sifat isolasi cair akan menyebabkan penurunan nilai tegangan tembus isolasi cair. Sebaliknya, semakin kecil nilai viskositas akan meningkatkan nilai tegangan tembus isolasi cair. Seperti pada grafik, minyak kelapa memiliki nilai viskositas terbesar dan menghasilkan nilai tegangan tembus yang terkecil, walaupun nilai viskositas pada pengujian tidak terlalu signifikan.

V. KESIMPULAN

Minyak jagung menghasilkan tegangan tembus rata-rata terbesar yaitu sebesar 25,3 kV/2,5 mm. Minyak biji bunga matahari menghasilkan tegangan tembus rata-rata sebesar 21,5 kV/2,5 mm, sedangkan minyak kanola menghasilkan tegangan tembus rata-rata terkecil yaitu sebesar 20,5 kV/2,5 mm. Nilai tegangan tembus ketiga

minyak tersebut belum memenuhi syarat minyak isolasi berdasarkan standar SPLN 50-1982 dan IEC 56 tahun 1991, yang mensyaratkan nilai tegangan tembus minimal 30 kV/2,5 mm.

Kadar air sangat memengaruhi tegangan tembus pada minyak, seperti pada minyak jagung yang memiliki kadar air 0,11% menghasilkan tegangan tembus sebesar 25,3 kV/2,5 mm dan merupakan kadar air yang paling baik dari masing-masing minyak. Hasil pengujian kadar air yang telah dilakukan belum memenuhi syarat minyak isolasi transformator berdasarkan standar IEC 56 tahun 1991 dengan kandungan air 30 ppm (0,003%).

Viskositas sangat mempengaruhi nilai tegangan tembus, yaitu pada minyak biji bunga matahari memiliki viskositas sebesar 26 cSt pada suhu 25 °C menghasilkan tegangan tembus sebesar 21,5 kV/2,5 mm. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, nilai viskositas masing-masing minyak sudah memenuhi syarat minyak isolasi transformator berdasarkan standar SPLN 50-1982 dengan batas maksimal 40 cSt pada suhu 20 °C.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Panjavi, I. Tanjung, dan F. Mulia. 2018. "Karakteristik Tegangan Tembus AC Campuran Minyak Jarak dan Minyak Mineral Sebagai Pertimbangan Alternatif Isolasi Cair" . Pekanbaru: Universitas Riau.
- [2] S. Samsulrizal, A. Makkulau, dan S. A. Zahra. 2022. "Studi Pengujian Karakteristik Minyak Nabati Terhadap Tegangan Tembus Sebagai Alternatif Pengganti Minyak Trafo" . Jakarta Barat: Institut Teknologi PLN.
- [3] C. Widyastuti dan R. A. Wisnu Lajuwijaya. 2019. "Analisis Tegangan Tembus Minyak Transformator di PT. PLN (Persero) Bogor" . Bogor: Sekolah Tinggi Teknik PLN.
- [4] F. R. A. Bulaiti. 2021. "Analisis Kekuatan Dielektrik Minyak Campuran Metil Ester Bunga Matahari Sebagai Isolasi Cair pada Transformator" . Medan: Universitas Sumatera Utara.
- [5] E. Seltiyandani, Widjonarko, dan Sulprihadi Prasetyonoo. 2021. "Uji Karakteristik Bio Minyak Trafo Berbahan Dasar Minyak Kelapa Dengan Penambahan Zat Aditif Butilatet Hidroksitoluen (BHT) Sebagai Alternatif Isolasi Cair Transformator Daya 150 KVA" . Jember: Universitas Jember.
- [6] R. Kamelia Putra. 2017. "Karakteristik Tegangan Tembus Arus Bolak Balik Pada Minyak Jarak Pagar (*Jatropha Curcas*) Sebagai Alternatif Isolasi Cair" . Pekanbaru: Universitas Riau.
- [7] S. Ferolim. 2022. "Karakteristik Tegangan Tembus Pada Canola Oil Dengan Penambahan Nanopartikel Aluminium Sebagai Alternatif Pengganti Minyak Transformator" . Palembang: Universitas Sriwijaya.
- [8] H. T. Kurrahman, S. Abdulah. 2016. "Studi Tegangan Tembus Minyak Kelapa Sebagai Alternatif Pengganti Isolasi Transformator Daya" . Jakarta Barat: Universitas Trisakti.
- [9] J. A. Wigny dan B. E. Prasetyo. 2005. "Preliminary Design Pembuatan Minyak Canola dengan Metode Cold Pressing" . Surabaya: Universitas Katolik Widya Mandala.