

## KORELASI ANTARA SIFAT LISTRIK DENGAN SIFAT FISIKA DAN SIFAT KIMIA DARI MINYAK TRANSFORMATOR

### The Correlation Between Electrical Properties With Physical And Chemical Properties Of Transformer Oil

Ni Made Seniari <sup>[1]</sup>, IB Fery Citarsa <sup>[1]</sup>, Arya Ningsih <sup>[1]</sup>

<sup>[1]</sup> Jurusan Teknik Elektro, Universitas Mataram. Jl. Majapahit 62, Mataram, 83125 Lombok, Indonesia

Email: [seniari\\_nimade@unram.ac.id](mailto:seniari_nimade@unram.ac.id), [gusmanperi@yahoo.com](mailto:gusmanperi@yahoo.com), [ningsihkumala@gmail.com](mailto:ningsihkumala@gmail.com)

#### ABSTRAK

Minyak transformator (trafo) merupakan komponen penting dari trafo yang berfungsi sebagai isolator dan pendingin. Kelayakan minyak trafo harus memenuhi standart sifat listrik, fisika dan kimia. Seiring dengan usia pengoperasian, minyak trafo mengalami kemunduran kualitas (deterioration) akibat tegangan lebih transient (electrical stress) dan pemanasan (thermal stress) di dalam trafo. Kegagalan isolasi minyak berakibat terciptanya busur api, sedangkan pemanasan akan mengoksidasi minyak trafo. Kedua peristiwa tersebut mengurangi kemampuan disipasi panas dan kekuatan isolasi minyak trafo. Pengujian rutin yang dilakukan oleh PT. PLN umumnya terbatas pada pengujian tegangan sifat listrik yaitu tembus saja. Apabila nilai tegangan tembus masih layak, maka minyak trafo tersebut akan terus digunakan. Untuk itu perlu diketahui bagaimana korelasi antara sifat listrik, sifat fisika dan sifat kimia, serta menganalisis hubungan dan pengaruh antara sifat yang satu dengan sifat yang lain dari minyak trafo. Untuk tujuan tersebut dilakukan studi korelasi menggunakan perangkat lunak SPSS yang merupakan aplikasi program statistik. Nilai korelasi tegangan tembus terhadap viskositas, titik nyala, kandungan asam dan kandungan air masing-masing -0,921, 0,977, -0,977 dan -0,944 Nilai ini mengindikasikan antara tegangan tembus dengan viskositas, titik nyala, kandungan asam dan kandungan air berkorelasi sangat erat. Semakin tinggi tegangan tembus maka viskositas, kandungan asam dan kandungan air semakin rendah, sedangkan titik nyala semakin tinggi. Hasil ini mengindikasikan bahwa pengujian kelayakan tegangan tembus tidak mewakili kelayakan viskositas, titik nyala dan kandungan asam, tetapi mewakili hasil kelayakan pengujian kandungan air.

**Kata kunci:** minyak transformator, tegangan tembus, viskositas, titik nyala, korelasi

#### ABSTRACT

*Transformer oil is an important component of a transformer that functions as an insulator and coolant. The feasibility of transformer oil must fulfill the standards of electrical, physical and chemical properties. Along with the age of operation, transformer oil experiences deterioration due to transient overvoltage (electrical stress) and heating (thermal stress) inside the transformer. Failure of insulating oil causes the creation of arc fire, while heating will oxidize transformer oil. Both of these cases reduce the heat dissipation capability and the insulating strength of the transformer oil. Routine testing conducted by PT. PLN is generally limited on testing the electrical properties of the breakdown voltage, which is translucent only. If the breakdown voltage value is still feasible, the transformer oil will continue to be used. For this reason, it is necessary to know how the correlation between electrical properties, physical properties and chemical properties, as well as analyze the relationship and influence between the properties of one with other properties of transformer oil. For this purpose, a correlation study was conducted using SPSS software which is a statistical application program. The correlation values of breakdown voltage to viscosity, flash point, acid content and water content are respectively -0.921, 0.977, -0.977 and -0.944. This value indicates that breakdown voltage and viscosity, flash point, acid content and water content are very closely correlated. The higher the breakdown voltage, the lower the viscosity, acid content and water content, while the flash point is higher. These results indicate that the breakdown voltage feasibility test does not represent the feasibility of viscosity, flash point and acid content, but represents the results of the feasibility test for water content.*

**Key words:** *transformer oil, breakdown voltage, viscosity, flash over, correlation*

## PENDAHULUAN

Minyak trafo berfungsi sebagai media isolasi dan sebagai media pendingin. Dalam menjalankan fungsinya, minyak trafo harus sesuai standar International Electric Comition (IEC) meliputi sifat fisika, sifat listrik dan sifat kimia. Sebagai media isolasi, minyak tafo harus mampu menahan tegangan tembus; sedangkan sebagai media pendingin, minyak harus mampu menyerap panas dan membuang panas tersebut ke udara luar trafo.

Seiring dengan usia pengoperasian trafo, maka secara perlahan-lahan minyak mengalami kemunduran kualitas (deterioration) akibat tegangan lebih transient (electrical stress) dan pemanasan (thermal stress) di dalam trafo. Karena semua komponen trafo yang bertegangan dan bertemperatur tinggi tercelup di dalam minyak, maka kondisi minyak trafo mencerminkan kondisi trafo secara keseluruhan.

Uji kelayakan minyak trafo selama beroperasi oleh PT. PLN cabang Mataram, hanya dilakukan pengujian tegangan tembus. Bila hasil uji tegangan tembus masih layak, maka minyak trafo masih digunakan tanpa pengujian sifat kimia dan sifat fisika dan tanpa perlakuan purifikasi.

Untuk itu perlu di analisa, apakah kelayakan sifat kimia da sifat fisika minyak trafo dapat di wakili oleh kelayakan pengujian sifat listrik yaitu pengujian tegangan tembus.

Beberapa penelitian terkait tentang kondisi kelayakan minyak trafo adalah sebagai berikut.

Menambahkan fenol pada minyak trafo untuk membersihkan kotoran-kotoran sehingga tegangan tembusnya meningkat. Dalam penelitian ini penambahan fenol hanya di uji tegangan tembusnya tanpa menguji viskositas, titik nyala, kadar asam dan kadar air. Juga belum meneliti apakah kelayakan tegangan tembus minyak yang di dapat setelah penambahan fenol mewakili kelayakan viskositas, titik nyala, kadar asam dan kadar air [4].

Pengaruh kimia terhadap sifat listrik minyak trafo dengan tingkat pembebanan yang bervariasi, dengan menggunakan teori kegagalan isolasi. Disimpulkan bahwa tingkat pembebanan merupakan faktor yang sangat berpengaruh pada

penurunan kualitas minyak trafo. Belum diteliti sejauh mana pembebanan trafo berpengaruh terhadap penurunan kualitas tegangan tembus dan pengaruhnya terhadap viskositas, titik nyala, kadar asam serta kadar air minyak trafo[8].

Pengujian minyak trafo yang beroperasi di area Gardu Pondok Gede, Bekasi juga telah dilakukan[9]. Pengujian meliputi nilai tegangan antar muka, kadar air, kadar asam dan tingkat warna terhadap nilai tegangan tembusnya. Hasil menunjukkan bahwa tegangan tembus minyak trafo (32,4 kV/2.5mm), kadar air (15.6 ppm), kadar asam (0.25 mgKOH/gr), tegangan antar muka (28 mN/m), warna (1.3). Hasil dari pengujian tersebut masih dalam batasan yang masih berdasarkan IEC 60422.2007. Penelitian ini belum meneliti viskositas sebagai indikasi kemampuan minyak trafo bersirkulasi untuk membuang panas trafo dan titik nyala sebagai indikasi jumlah gas terlarut dalam minyak yang berpengaruh pada kegagalan minyak trafo saat terjadi busur api.

Kegagalan isolasi minyak akan berakibat pada terciptanya busur api, sedangkan pemanasan akan mengoksidasi minyak trafo yang menghasilkan karbon (C) dan air (H<sub>2</sub>O). Carbon dan air dalam minyak trafo akan mengurangi kemampuan disipasi panas dan kekuatan isolasi minyak trafo.

Kegagalan minyak sebagai media isolasi dan sebagai media pendingin dapat mempercepat umur penggunaan trafo, sehingga perlu dilakukan pengujian sifat listrik meliputi tegangan tembus, sifat fisika meliputi viscositas dan titik nyala, dan sifat kimia meliputi kandungan asam dan kandungan air. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian sifat listrik yaitu hanya sifat tegangan tembus (breakdown voltage) terhadap sifat fisiknya yang meliputi kekentalan (viskositas) dan titik nyala, dan sifat kimia meliputi kandungan air dan kandungan asam.

Agar minyak berfungsi dengan baik, maka perlu diuji kondisi minyak baru atau yang sedang dipakai dengan suatu standar uji yang mencerminkan uji terhadap kondisi elektrik, fisik dan kimia.

Standar uji spesifikasi minyak trafo dipakai standar IEC seperti pada tabel 1 dan 2. (sumber: Pedoman Penerapan

Metode IEC untuk Analisis Minyak Isolasi, SPLN 49-2, Perusahaan Umum Listrik Negara, Jakarta).

Tabel 1. Spesifikasi Minyak Isolasi Baru berdasarkan Standar IEC.

No	Sifat	Satuan	Batas	Metode Uji
1	Tegangan Tembus : a. Sebelum diolah b. Sesudah diolah	kV/2,5 mm	≥ 30 ≥ 50	IEC 156
2	Faktor kebocoran dielektrik	-	≤ 0,05	IEC 250
2	Viskositas (40 °C)	cSt	≤ 11,0	IEC 296
3	Massa Jenis (20 °C)	g/cm <sup>3</sup>	≤ 0,875	IEC 296
4	Titik Nyala	°C	≥ 130	IEC 296
5	Angka Kenetralan	mgKOH /gr	≤ 0,03	IEC 296

Tabel 2. Spesifikasi Minyak Isolasi Trafo yang Sedang Dipakai berdasarkan Standar IEC

No	Sifat Minyak	Batas yang diizinkan	Metode Uji
1.	Tegangan Tembus	≥ 30 kV/2,5 mm	IEC 156
2.	Kandungan Asam	≤ 0,5 mgKOH/gr	IEC 296
3.	Kandungan Air	≤ 40 mg/l	IEC 296
4.	Tegangan Permukaan	≥ 15x10 <sup>-3</sup> Nm <sup>-1</sup>	IEC 296
5.	Faktor kebocoran dielektrik	≤ 0,2 – 2,0	IEC 247 & IEC 250

### Struktur Minyak Transformator

Minyak trafo tersusun atas senyawa-senyawa hidrokarbon dan non-hidrokarbon. Senyawa hidrokarbon dapat dibagi menjadi tiga kelompok besar, yaitu : Senyawa *Parafin*, Senyawa *Naphtena*, Senyawa *Naphtena* dan Senyawa Aromatik

Senyawa non-hidrokarbon yang terdapat dalam minyak transformator diantaranya adalah: ter, senyawa *sulfur* (belerang), senyawa nitrogen, asam naphtena dan senyawa yang mengandung oksigen, serta senyawa yang mengandung logam.

Sifat-sifat minyak transformator terdiri atas sifat listrik, sifat fisika dan sifat kimia. Sifat listrik adalah sifat benda yang muncul karena adanya muatan listrik. Sifat listrik minyak trafo meliputi tegangan tembus, rugi-rugi dielektrik dan permeabilitas relatif.

Tegangan tembus adalah besarnya tegangan ketika tembus listrik terjadi diantara elektroda yang terpisah 2,5 mm pada laju kenaikan standar (*IEC 156*). Tegangan tembus normal yang diperlukan peralatan adalah 30–50 kV/2,5mm.

Tegangan tembus ini sangat tergantung pada kandungan kontaminan di dalam minyak, terutama air.

Sifat fisika adalah sifat suatu zat yang tampak secara fisik, yang dapat diukur tanpa mengubah komposisi materi. Yang termasuk dalam sifat fisika adalah warna, tegangan permukaan, massa jenis, viskositas, daya hantar panas, titik nyala, titik bakar dan titik tuang.

Viskositas merupakan sifat fisik minyak yang tugasnya sebagai penghantar panas. Agar minyak dapat menghantar panas sebaiknya diperlukan viskositas serendah mungkin.

Viskositas adalah tahanan yang dimiliki fluida yang dialirkan pada pipa kapiler terhadap gaya gravitasi. Viskositas dinyatakan dalam waktu yang diperlukan untuk mengalir pada jarak tertentu. Jika viskositas semakin tinggi, maka tahanan untuk mengalir akan semakin tinggi.

Tabel 3. Harga *Kinematic Viscosity*

<i>Saybolt Universal</i>	<i>Kinematic Viscosity</i>
31 < t < 100	$V = 0,00226 \cdot t - 1,95/tV$
t ≥ 100	$= 0,00220 \cdot t - 1,35/t$

(Sumber : ASTM D 445, 1981)

### Titik Nyala

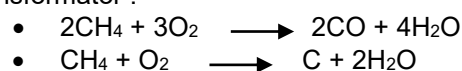
Titik nyala adalah temperatur pada keadaan dimana uap diatas minyak akan terbakar dengan cepat (sambaran api) apabila nyala api didekatkan padanya. Gas yang terbentuk dalam minyak trafo berasal dari reaksi yang terjadi antara minyak trafo tersebut dengan udara disekitar.

### Pembentukan Kontaminan Minyak Trafo

Minyak trafo yang sedang beroperasi akan mengalami banyak proses. Beberapa proses kimiawi salah satunya adalah pembentukan Air ( $H_2O$ )

Air dapat timbul akibat pengaruh dari udara luar dan dapat juga karena adanya reaksi kimia di dalam minyak. Dalam minyak terdapat  $O_2$  (oksigen) maka pada temperatur tertentu minyak akan bereaksi membentuk asam dan air. Secara teoritis tidak mungkin menghilangkan  $O_2$  dalam minyak trafo meskipun telah dilakukan proses vakum[6].

Reaksi Thermolysis dari minyak transformator :



### Pembentukan oksida logam

Reaksi oksidasi pada minyak transformator:



Reaksi oksidasi menghasilkan  $CH_3COOH$  (asam asetat) yang akan mempercepat degradasi selulosa dan mengoksidasi logam disekelilingnya (misalnya  $Cu$ ,  $Fe$ ). Logam-logam tersebut juga berfungsi sebagai katalisator reaksi diatas.

## METODOLOGI

Pengolahan data menggunakan program statistika yaitu program SPSS (*Statistical Product and Service Solution*) versi 17.

### a. Korelasi

Korelasi merupakan suatu hubungan antara satu variabel dengan variabel lainnya. Hubungan antara variabel tersebut bisa secara korelasional dan bisa juga secara kausal. Jika hubungan tersebut tidak menunjukkan sifat sebab akibat, maka korelasi tersebut dikatakan korelasional, artinya sifat hubungan variabel satu dengan variabel lainnya tidak jelas mana variabel sebab dan mana variabel akibat. Sebaliknya, jika hubungan tersebut menunjukkan sifat sebab akibat, maka korelasinya dikatakan kausal, artinya jika variabel yang satu merupakan sebab, maka variabel lainnya merupakan akibat.

Hasil perhitungan korelasi dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) yaitu Korelasi positif kuat, Korelasi negatif kuat dan tidak ada korelasi.

### b. Koefisien

#### Korelasi

Korelasi merupakan angka yang menunjukkan arah dan kuatnya hubungan antar dua variabel (atau lebih). Arah dinyatakan dalam bentuk hubungan positif (+) atau negatif (-), sedangkan kuatnya hubungan dinyatakan dengan besarnya koefisien korelasi.

Kuatnya hubungan antar variabel dinyatakan dengan besarnya koefisien korelasi. Koefisien korelasi memiliki rentang antara -1 sampai 1. Jika hubungan antara 2 variabel memiliki korelasi -1 atau 1 berarti kedua variabel tersebut memiliki hubungan yang sempurna, sebaliknya jika hubungan antara 2 variabel memiliki korelasi 0 berarti tidak ada hubungan antara kedua variabel tersebut.

Untuk memudahkan melakukan interpretasi mengenai kekuatan hubungan antara dua variabel, maka dapat dilihat dari kriteria-kriteria berikut:

- 0 : tidak ada korelasi antara dua variabel
- > 0 – 0,25 : korelasi sangat lemah[5].

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Korelasi antara sifat listrik yaitu tegangan tembus minyak terhadap sifat fisika yang meliputi kekentalan (*viskositas*) dan titik nyala, serta korelasi antara tegangan tembus dengan sifat kimia yaitu kandungan air dan kadar asam adalah sebagai berikut. Selanjutnya di analisis bagaimana hubungan dan pengaruh antara sifat yang satu dengan sifat yang lain dari minyak trafo.

Pengolahan data menggunakan program statistika yaitu program SPSS (*Statistical Product and Service Solution*) versi 17.

### a. Hasil Pengukuran Minyak trafo

Data sifat listrik yang meliputi tegangan tembus dan sifat fisika meliputi viskositas dan titik nyala, serta sifat kimia meliputi kandungan asam dan kandungan air dari minyak trafo tercantum pada tabel 4 dan 5.

Tabel 4. Tegangan tembus minyak trafo terhadap viskositas dan titik nyala

Nama Gardu	Tegangan Tembus ( $V_{BD}$ ) (kV/2,5mm)	Viskositas (v) (cSt)	Titik Nyala ( $^{\circ}C$ )
AM 27	25,12	6,19	138,33
AM 03	24,04	7,15	136,67
AM 69	23,72	7,57	136,33
AM 13	22,60	8,59	135,67
AM 45	19,52	10,16	131,00
MM 09	27,79	5,56	139,67
MM 47	21,02	7,77	133,67
Standar IEC	$\geq 30$	$\leq 11$	$\geq 130$

Tabel 5. Tegangan tembus minyak trafo terhadap kandungan asam dan kandungan air.

Nama Gardu	Tegangan Tembus ( $V_{BD}$ ) (kV/2,5 mm)	Kandungan Asam (mgKOH/gr)	Kandungan Air (mg/L)
AM 27	25,12	0,28	40,00
AM 03	24,04	0,31	42,21
AM 69	23,72	0,34	44,00
AM 13	22,60	0,34	45,80
AM 45	19,52	0,42	53,00
MM09	27,79	0,25	26,00
MM 47	21,02	0,37	44,80
Standar	$\geq 30$	$\leq 0,5$	$\leq 30$

IEC			
-----	--	--	--

**b. Korelasi antara Tegangan Tembus dengan Viskositas**

Berdasarkan standar IEC (tabel 2), standar tegangan tembus ≥ 30 kV/2,5mm. Hasil pengujian pada tabel 4, tegangan tembus di bawah standar (19,52 – 27,79 kV/2,5 mm). Nilai viskositas memenuhi standar, yaitu ≤ 11 cSt. Hal ini berarti tidak layak tegangan tembusnya, tapi nilai viskositas layak.

Selanjutnya dihitung nilai korelasinya dengan menggunakan program SPSS menggunakan metode korelasi Pearson di perlihatkan tabel 6.

Tabel 6. Nilai Korelasi antara tegangan tembus dengan viskositas

		tegangan tembus	Kekentalan (Viskositas)
tegangan tembus	Pearson Correlation	1	-.921**
	Sig. (2-tailed)		.003
	N	7	7
Kekentalan (Viskositas)	Pearson Correlation	-.921**	1
	Sig. (2-tailed)	.003	
	N	7	7
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).			

Tampilan Output SPSS tabel 6 menunjukkan koefisien korelasi Pearson sebesar -0,921. Pada kolom sig. (2-tailed) diperoleh taraf kritik (peluang untuk menolak H<sub>0</sub>) yaitu sebesar 0,003. Karena nilainya kurang dari α = 0,05, maka H<sub>0</sub> ditolak. Jadi, ada hubungan antara tegangan tembus dengan viskositas dengan jumlah sampel sebanyak 7 sampel.

Dari tabel 6 dapat dibuat penjelasan seperti tabel 7.

Tabel 7. Hasil perhitungan korelasi tegangan tembus terhadap viskositas

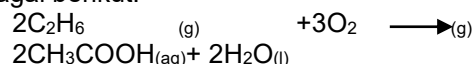
Korelasi Pearson	-0,921
Signifikan	0,003
Jumlah sampel	7

Angka 0,921 menunjukkan kuatnya korelasi antara tegangan tembus terhadap viskositas. Sedangkan tanda negatif ( - ) menunjukkan bahwa semakin besar nilai viskositas minyak trafo akan menyebabkan tegangan tembusnya menjadi semakin rendah, dan sebaliknya semakin kecil nilai viskositas minyak transformator akan menyebabkan tegangan tembus minyak

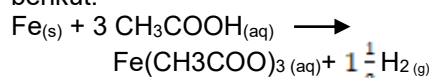
menjadi semakin tinggi. Dapat disimpulkan bahwa meskipun nilai korelasi antara keduanya cukup besar, tetapi tidak diikuti oleh kesamaan hubungan kelayakan antara nilai tegangan tembus dengan viskositas dari data sampel minyak trafo. Sehingga dapat dinyatakan bahwa pengujian tegangan tembus tidak dapat mewakili hasil kelayakan pengujian viskositas.

**c. Pengaruh tegangan tembus terhadap viskositas**

Kenaikan temperatur pada trafo akan menyebabkan terjadinya oksidasi di dalam minyak trafo. Reaksi oksidasi di dalam minyak trafo menghasilkan partikel pengotor seperti air, gas serta partikel padat di dalam minyak sehingga meningkatkan viskositas minyak. Reaksi oksidasi di dalam minyak trafo adalah sebagai berikut:



Dari reaksi di atas terlihat bahwa dihasilkan asam dan air. Asam merupakan zat yang bersifat korosif terhadap logam. Logam akan bereaksi dengan asam dan membentuk gas hidrogen serta garam asetat dengan persamaan reaksi sebagai berikut:



Kandungan asam yang tinggi akan mengakibatkan terbentuknya endapan partikel pengotor di dalam minyak trafo yang meningkatkan nilai viskositas. Viskositas yang besar berarti menunjukkan banyaknya partikel yang ada di dalam minyak trafo, akibatnya tegangan tembus minyak menjadi kecil.

**d. Korelasi antara Tegangan Tembus dengan Titik Nyala**

Dari data tegangan tembus dan titik nyala (tabel 4) dihitung nilai korelasinya

Tabel 7. Nilai Korelasi antara tegangan tembus dengan titik nyala

		tegangan tembus	titik nyala
tegangan tembus	Pearson Correlation	1	.977**
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	7	7
titik nyala	Pearson Correlation	.977**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	7	7

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Tampilan Output SPSS tabel 7 menunjukkan koefisien korelasi Pearson sebesar 0,977. Pada kolom sig. (2-tailed) diperoleh taraf kritis (peluang untuk menolak  $H_0$ ) yaitu sebesar 0,000. Karena nilainya kurang dari  $\alpha = 0,05$ , maka  $H_0$  ditolak. Jadi, ada hubungan antara tegangan tembus dengan titik nyala dimana jumlah sampel sebanyak 7 sampel.dengan penjelasan seperti tabel 8.

Tabel 8. Hasil perhitungan korelasi tegangan tembus terhadap titik nyala

Korelasi Pearson	0,977
Signifikan	0,000
Jumlah sampel	7

Nilai korelasi 0,977 menunjukkan kuatnya korelasi antara tegangan tembus terhadap titik nyala. Sedangkan tidak adanya tanda negatif (-) menunjukkan bahwa semakin tinggi tegangan tembus minyak maka titik nyalanya juga akan semakin tinggi.

Berdasarkan hasil perhitungan korelasi dan perbandingan kelayakan antara tegangan tembus dan titik nyala dari minyak trafo, dapat disimpulkan bahwa meskipun nilai korelasi antara keduanya cukup besar, tetapi tidak diikuti oleh kesamaan hubungan kelayakan. Jadi pengujian tegangan tembus tidak dapat mewakili hasil kelayakan pengujian titik nyala.

#### e. Pengaruh tegangan tembus terhadap titik nyala

Titik nyala adalah temperatur minimum dimana minyak menghasilkan uap yang cukup untuk dibakar bersama udara. Titik nyala merupakan indikator ketidakstabilan minyak. Minyak yang bagus mempunyai titik nyala yang tinggi agar minyak tidak mudah terbakar. Nilai titik nyala minyak trafo akan terus berkurang apabila kandungan air, oksigen, gas-gas terlarut meningkat dan ikatan rantai karbon minyak berkurang.

Kenaikan temperatur akan menyebabkan terjadinya oksidasi di dalam minyak trafo. Reaksi oksidasi di dalam minyak trafo menghasilkan partikel pengotor seperti air, gas serta partikel padat di dalam minyak sehingga menurunkan titik nyala minyak trafo. Reaksi oksidasi di dalam minyak trafo

Jadi, semakin banyak gas-gas terlarut dalam minyak maka titik nyala minyak akan

semakin rendah dan tegangan tembus dari minyak trafo akan berkurang.

#### D. Korelasi antara Tegangan Tembus dengan Kandungan Asam

Dari tabel 5 besarnya tegangan tembus di bawah standar (19,52 – 27,79 kV/2,5 mm). Sedangkan kandungan asam nilainya masih memenuhi standar, yaitu  $\leq 0,5$  mgKOH/gr. Hal ini mengindikasikan tegangan tembusnya tidak layak sedangkan kandungan asamnya layak.

Selanjutnya dihitung nilai korelasinya dengan program SPSS dengan output hasil perhitungan korelasi seperti tabel 9.

Tabel 9. Output perhitungan korelasi tegangan tembus terhadap kandungan asam

Correlations			
		tegangan tembus	kandungan asam
tegangan tembus	Pearson Correlation	1	-.977**
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	7	7
kandungan asam	Pearson Correlation	-.977**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	7	7

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Tabel 9 menunjukkan koefisien korelasi Pearson sebesar -0,977. Pada kolom sig. (2-tailed) diperoleh taraf kritis (peluang untuk menolak  $H_0$ ) yaitu sebesar 0,000. Karena nilainya kurang dari  $\alpha = 0,05$ , maka  $H_0$  ditolak. Jadi, ada hubungan antara tegangan tembus dengan titik nyala dengan 7 jumlah sampel. Output tersebut dapat dijelaskan seperti tabel 10.

Tabel 10. Hasil perhitungan korelasi tegangan tembus terhadap kandungan asam

Korelasi Pearson	-0,977
Signifikan	0,000
Jumlah sampel	7

Nilai korelasi 0,977 menunjukkan kuatnya korelasi antara tegangan tembus terhadap kandungan asam. Sedangkan adanya tanda negatif ( - ) menunjukkan bahwa semakin tinggi tegangan tembus minyak trafo maka kandungan asamnya akan semakin kecil. Meskipun nilai korelasi antara keduanya cukup besar, tetapi tidak diikuti oleh kesamaan hubungan kelayakan antara nilai tegangan tembus dan titik nyala Jadi pengujian tegangan tembus tidak

dapat mewakili hasil kelayakan pengujian kandungan asam.

**Pengaruh tegangan tembus terhadap kandungan asam**

Kandungan asam didalam kimia dikenal dengan bilangan asam. yaitu jumlah miligram *Potassium Hydroxide* (KOH) yang dibutuhkan untuk menitrasi semua unsur-unsur asam yang ada pada 1 gram sampel minyak. Satuan dari bilangan asam adalah miligram KOH/gram minyak.

Pembentukan endapan pada minyak trafo merupakan hasil akhir dari proses oksidasi sebelumnya, didahului oleh penambahan jumlah kandungan asam. Angka kenetralan dapat dipakai sebagai petunjuk umum untuk menentukan apakah minyak sudah harus diganti atau diolah lagi melalui purifikasi.

Kenaikan temperatur akan mengkatalis terjadinya oksidasi di dalam minyak trafo. Dengan semakin tingginya pembebanan trafo maka reaksi kimia yang terjadi di dalam minyak trafo akan semakin cepat sehingga kandungan asam akan semakin tinggi.

**f. Korelasi antara Tegangan Tembus dengan Kandungan Air**

Dari tabel 5, tegangan tembus dan kandungan air di bawah standar yaitu (19,52 – 27,79 kV/2,5 mm) dan (32,091 ppm – 50,888 ppm), menunjukkan tegangan tembus dan kandungan airnya tidak layak. Perhitungan korelasi dengan program SPSS dengan output seperti tabel 11.

Tabel 11. Output hasil perhitungan korelasi antara tegangan tembus dengan kandungan air dengan program SPSS.

Correlations			
		tegangan tembus	kandungan air
tegangan tembus	Pearson Correlation	1	-.935**
	Sig. (2-tailed)		.002
	N	7	7
kandungan air	Pearson Correlation	-.935**	1
	Sig. (2-tailed)	.002	
	N	7	7
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).			

Tampilan Output SPSS tabel 11 menunjukkan koefisien korelasi Pearson

sebesar -0,944. Pada kolom sig. (2-tailed) diperoleh taraf kritik (peluang untuk menolak  $H_0$ ) yaitu sebesar 0,001. Karena nilainya kurang dari  $\alpha = 0,05$ , maka  $H_0$  ditolak. Jadi, ada hubungan antara tegangan tembus dengan titik nyala dimana jumlah sampel sebanyak 7 sampel

Dari output hasil perhitungan korelasi tabel 11 ddapat dijelaskan seperti tabel 12. .

Tabel 12. Hasil perhitungan korelasi tegangan tembus terhadap kandungan air

Korelasi Pearson	-0,935
Signifikan	0,002
Jumlah sampel	7

Nilai korelasi yang diperoleh antara tegangan tembus terhadap kandungan air adalah -0,935 dengan tingkat signifikansi 0,002 dan dengan jumlah sampel sebanyak 7 sampel.

Angka 0,935 menunjukkan kuatnya korelasi antara tegangan tembus dengan kandungan air. Sedangkan adanya tanda negatif ( - ) menunjukkan bahwa semakin tinggi tegangan tembus minyak transformator maka kandungan airnya akan semakin kecil.

Berdasarkan hasil perhitungan korelasi dan perbandingan kelayakan antara tegangan tembus dan kandungan air dari minyak trafo, dapat disimpulkan bahwa nilai korelasi antara keduanya cukup besar, dan diikuti oleh kesamaan hubungan ketidaklayakan antara nilai tegangan tembus dan kandungan air dari data sampel minyak trafo. Sehingga dapat dinyatakan bahwa pengujian tegangan tembus dapat mewakili hasil kelayakan pengujian kandungan air.

Air dalam minyak trafo dapat timbul akibat pengaruh dari luar tapi dapat juga karena adanya reaksi kimia di dalam minyak. Apabila di dalam minyak terdapat  $O_2$  (oksigen) maka pada temperatur tertentu minyak akan bereaksi membentuk asam dan air.

**KESIMPULAN**

Korelasi antara sifat listrik (tegangan tembus) dengan sifat fisika (viskositas dan titik nyala) dari minyak transformator masing-masing -0,921 dan 0,977 yang artinya antara tegangan tembus berhubungan sangat erat antara viskositas dan titik nyala. Semakin tinggi nilai tegangan tembus maka viskositasnya akan semakin kecil dan titik nyala semakin



besar. Korelasi antara sifat listrik (tegangan tembus) dengan sifat kimia (kandungan asam dan kandungan air) dari minyak transformator masing-masing  $-0,977$  dan  $-0,944$  yang mengindikasikan hubungan sangat erat. Semakin tinggi tegangan tembus maka kandungan asam dan kandungan air minyak trafo semakin kecil. Pengujian kelayakan tegangan tembus tidak mewakili kelayakan viskositas, titik nyala dan kandungan asam, tetapi mewakili hasil kelayakan pengujian kandungan air.

### Saran

1. Perlu menggunakan minyak trafo yang lebih bervariasi, yaitu tegangan tembus minyak sampel yang masih dalam nilai standar yang di gunakan.
2. Pengujian, perhitungan dan tingkat korelasi yang lebih lengkap baik dari sifat listrik, sifat fisika dan sifat kimia.
3. Perlu adanya penelitian variasi korelasi yaitu korelasi antara sifat fisika terhadap sifat listrik dan sifat kimia, atau korelasi sifat kimia terhadap sifat kimia dan sifat listrik.
4. Perhitungan korelasi perlu dilakukan dengan menggunakan program lain, sehingga diketahui bagaimana perbandingan hasil yang diperoleh.

### REFERENSI

- [1]. Anonim, 1982, Pedoman Penerapan Metode IEC untuk Analisis Minyak Isolasi, SPLN 49-2, Perusahaan Umum Listrik Negara, Jakarta.
- [2]. ASTM D 445, Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and the Calculating of Dynamic Viscosity), 1981
- [3]. IEC Publication 156, Insulating Liquids-Determination of The Breakdown Voltage at Power Frequency-Test Method, 1995
- [4]. Indah P., A, Nurkamiden K., Eka P, Frengky, "Pengaruh Penambahan Fenol Terhadap Tegangan Tembus Minyak Transformator" Jurnal Teknologi Terpadu, 8 Vol. 2, Oktober 2020, ISSN: 2338-66649,
- [5]. Jonathan, Sarwono, 2006, "Metode Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif", Yogyakarta, Graha Ilmu
- [6]. elly, J.J., Myers, S.D., Parrish, R.H., 1981, A Guide to Transformer Maintenance, SD Myers, Amerika.
- [7]. Sofyan, Risaldi, 2019, Jurnal Teknologi Elekterika, No.1, Vol.16, e-ISSN 2656-0143, Hal 13 -20.
- [8]. Suherman, H, Akbar. M, Jurnal Sains dan Teknologi, Volume 10, No. 1, Maret 2020, ISSN 2088-060X, Universitas Dharma Persada