

Pengaruh Kontaminan Air terhadap Tegangan Tembus Isolasi Cair Minyak Mineral dan Nabati sebagai Alternatif Isolasi Minyak Transformator

Christiono¹, Miftahul Fikri¹, Dhami Johar Damiri¹, Muh. Rezha Safariansyah¹, Syahty Pratiwi¹, dan M. Reza Hidayat²

¹Fakultas Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan, Institut Teknologi PLN, DKI Jakarta, Indonesia

²Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia

christiono@itpln.ac.id, miftahul@itpln.ac.id, dhami@itpln.ac.id, rezha1711059@itpln.ac.id,

syahty1971100@itpln.ac.id, mreza@lecture.unjani.ac.id

Abstrak

Salah satu pengaruh berkurangnya umur trafo ialah seringnya terjadi gangguan, gangguan yang dapat terjadi berupa terkontaminasinya minyak isolasi yang berdampak pada kerusakan transformator. Untuk mengurangi terjadi kerusakan maka dilakukan penelitian, pada penelitian kali ini dilakukan untuk melihat pengaruh kontaminan air yang terkandung dalam isolasi minyak transformator dengan menggunakan metode *Breakdown Voltage* dengan melihat nilai tegangan tembusnya. Minyak isolasi yang digunakan pada saat pengujian terdapat 2 jenis minyak, yaitu minyak mineral, dan nabati, sedangkan alat uji yang digunakan, yaitu *BAUR Oil Tester DPA* dengan standar alat uji IEC 60156:2018 yang disesuaikan dengan spesifikasi standar SPLN 49-1:1982 yang menyebutkan untuk minyak baru memiliki nilai tegangan tembus ≥ 30 kV/2,5 mm. Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa nilai tegangan tembus yang dipengaruhi oleh kontaminan air yaitu semakin banyak kontaminan yang terkandung maka semakin cepat terjadinya penurunan nilai tegangan tembus. Dengan penelitian ini dapat menjadi indikasi untuk menjaga ketahanan transformator.

Kata kunci: Transformator, Minyak Isolasi, Tegangan Tembus

Abstract

One of the effects of reduced transformer life is the frequent occurrence of disturbances, disturbances that can occur in the form of contamination of insulating oil which has an impact on transformer damage. To reduce the damage, a research was carried out, in this study it was carried out to see the effect of water contaminants contained in the insulation of transformer oil using the Breakdown Voltage method by looking at the value of the translucent voltage. There are 2 types of insulating oil used during testing, mineral, and vegetable oil, while the test equipment used is the BAUR Oil Tester DPA, with the standard IEC 60156:2018 test equipment. Which is adapted to the standard specification SPLN 49-1:1982 which states that new oil has a breakdown voltage value of 30 kV/2.5 mm. The results of the test show that the breakdown voltage value is influenced by water contaminants where the more contaminants contained, the faster the breakdown voltage value will decrease. This research can be an indication to maintain the transformer resistance.

Keywords: Transformer, Insulating Oil, Break Voltage

1. Pendahuluan

Transformator merupakan peralatan listrik yang dapat menaikkan maupun menurunkan tegangan, yang bekerja berdasarkan prinsip induksi (Siburian, 2019). Salah satu bagian dari transformator, yaitu minyak transformator, minyak isolasi digunakan agar tidak terjadi gesekan antara yang bertegangan (PT.PLN Persero, 2014) (Widiyantoro et al., 2020). Kandungan dari minyak trafo terdiri dari senyawa hidrokarbon *paraffin* (C_nH_{2n+2}), *naphthalene* (C_nH_{2n}) dan *aromatic* (C_nH_n) (Sharma et al., 2020) (Putra & Murdiya, 2017). Minyak transformator terdiri dari beberapa jenis minyak isolasi, yaitu minyak mineral, dan minyak nabati. Minyak mineral merupakan minyak isolasi yang berasal dari proses destilasi, agar mendapatkan tahanan isolasi pada minyak tinggi, dan panas minyak isolasi stabil. Sedangkan, minyak nabati didapatkan dari ekstraksi berbagai macam tumbuhan, minyak nabati sering dijadikan alternatif pengganti minyak isolasi mineral karena mudah didapatkan dan juga ramah lingkungan (Jumardin et al., 2019). Adapun spesifikasi minyak isolasi baru menurut IEC 60296:2003 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Minyak isolasi yang baik memiliki nilai dielektrik dan nilai tegangan tembus yang baik. Tegangan tembus merupakan tegangan listrik yang ketika isolator tidak dapat menghadapi tekanan medan listrik pada elektroda yang memiliki beda potensial sehingga isolator tidak mampu lagi mengisolasi atau dapat berubah menjadi konduktor. Ketika nilai tegangan tembus kecil maka terdapat gangguan. Gangguan yang terjadi pada minyak isolasi transformator dapat dipengaruhi oleh beberapa hal, salah satunya karena adanya kontaminan pada minyak isolasi tersebut (Maneerot & Pattanadech, 2019). Kontaminan tersebut

Info Makalah:

Dikirim : 02-18-22;

Revisi 1 : 04-11-22;

Diterima : 04-18-22.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62 853-9858-4508

e-mail : christiono@itpln.ac.id

biasanya berupa kontaminan cair, terdapatnya air di dalam minyak isolasi disebabkan oleh beberapa faktor eksternal maupun internal seperti, pada saat terjadi hujan maka air tersebut dapat masuk ke dalam transformator, dan ketika suhu di dalam transformator tinggi sedangkan suhu pada sekitar transformator lebih rendah atau sebaliknya akan mengakibatkan adanya uap air (Karim, 2018). Keberadaan air ini sangat mempengaruhi kondisi baik atau tidaknya minyak isolasi transformator (Winanta et al., 2019). Air bersifat elektrolisis, yang di mana jika air yang terdapat dalam suatu wadah dialiri arus melalui elektroda menyebabkan adanya proses kimiawi (Siregar et al., 2020). Bahan isolasi akan mengalami tekanan medan elektrik ketika berada di antara elektroda yang tegangannya berbeda (Syuhada et al., 2021). Ion-ion air yang mengontaminasi minyak isolasi akan terurai atau tidak dapat menyatu dengan minyak tersebut. Ketika ada arus mengalir melalui inti besi maka air akan bersifat sebagai konduktor yang menyebabkan timbulnya garis yang membuat terjadinya percikan api (*sparkover*), loncatan listrik (*flashover*), hingga *breakdown voltage* (Rahman et al., 2015).

Tabel 1. Spesifikasi Minyak Isolasi Baru Menurut IEC 60-296:2003

No.	Parameter Uji	Batasan
1	Viskositas 40°C	Max. 12cSt
2	Titik Tuang	Max. -40°C
3	Kadar Air	Max. 30mg/kg
4	Tegangan Tembus : Sebelum <i>Treatment</i> Setelah <i>Treatment</i>	Min. 30kV/2,5mm Min. 70kV/2,5mm
5	Densitas pada 20°C	Max. 0,895 g/cm ³
6	Kenetralan	Max. 0,01 mgKOH/kg

Berdasarkan penjelasan di atas, maka dilakukan penelitian dengan melakukan pengujian tegangan tembus pada minyak isolasi transformator berjenis minyak nabati dan minyak mineral yang dipengaruhi oleh kontaminan cair. Di mana minyak nabati yang digunakan berjenis minyak dedak padi (tipe minyak murni, dan tipe minyak makan), sedangkan minyak mineral yang digunakan berjenis *hyrax*. Adapun data yang diujikan yaitu pengaruh kontaminan air terhadap tegangan tembus berdasarkan standar dari IEC dan SPLN. Kontaminan air yang digunakan berupa air suling (H₂O) yang diberikan sebesar 1 mL hingga 10 mL. Dalam penelitian ini pengujian dilakukan di Laboratorium Teknologi dan Peralatan Tegangan Tinggi menggunakan alat Baur Oil Tester DPA, sesuai dengan standar IEC 60156:2018 yaitu elektroda yang digunakan berbentuk elektroda setengah bola dengan jarak antar elektroda 2,5mm.

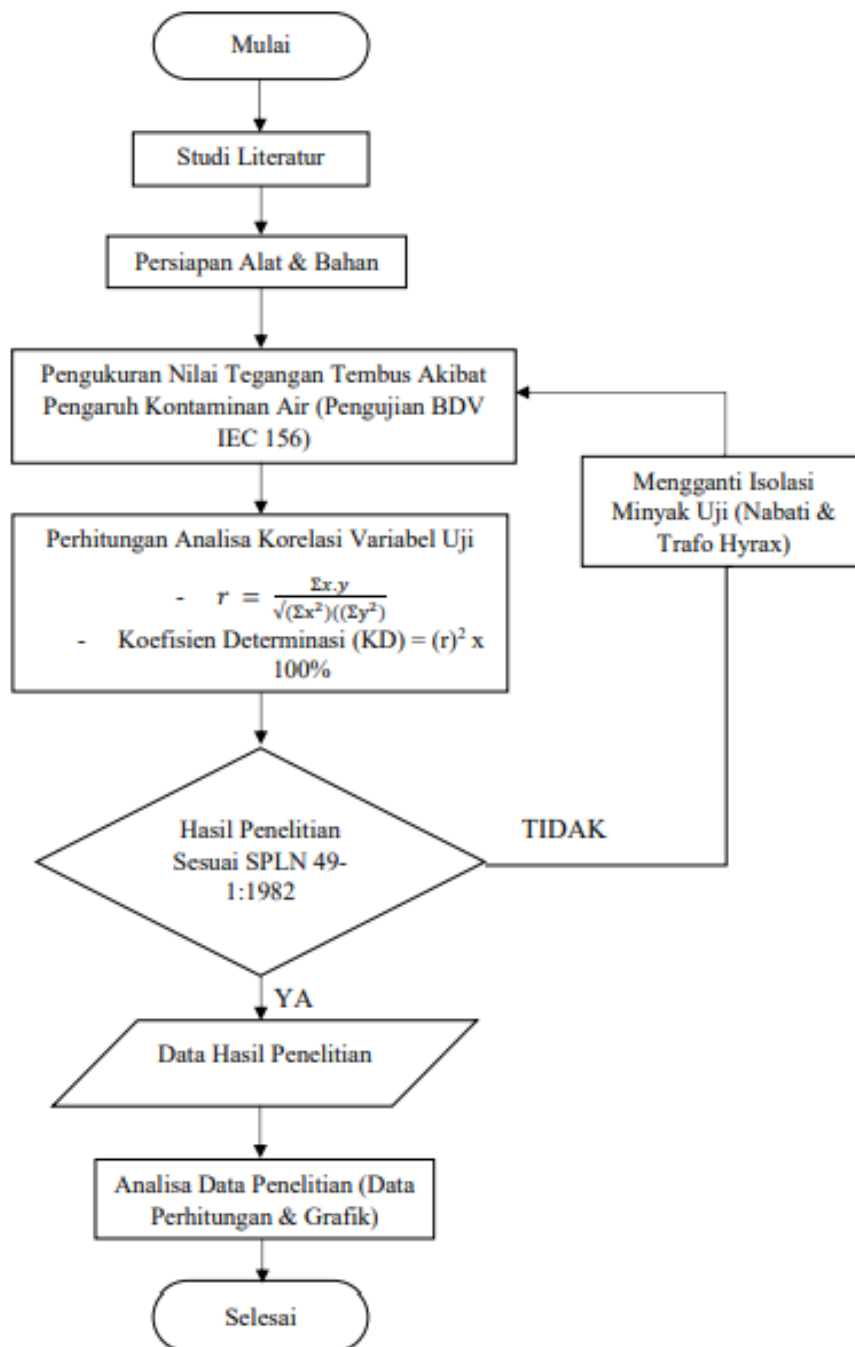
2. Metode Penelitian

Pengujian dilakukan di Kampus Institut Teknologi PLN pada ruang Laboratorium Teknologi dan Peralatan Tegangan Tinggi. Pengujian ini berdasarkan judul “Pengaruh Kontaminan Air Terhadap Tegangan Tembus Isolasi Cair Minyak Mineral Dan Nabati Sebagai Alternatif Isolasi Minyak Transformator”. Hasil dari pengujian minyak isolasi trafo yang digunakan yaitu minyak nabati jenis dedak, dan juga minyak transformator *hyrax* dengan kondisi baru, dengan nilai tegangan tembusnya disesuaikan dengan spesifikasi minyak isolasi baru berdasarkan SPLN 49-1:1982. Pengukuran nilai kontaminasi dari air yang diberikan mulai dari 1ml hingga 10 mL untuk dilakukannya analisis yang berpengaruh pada perhitungan nilai tegangan tembus. Pada pengujian tegangan tembus, dengan menggunakan alat uji *Baur Oil Tester DPA*.



Gambar 1. Alat Uji *Oil Tester DPA*

Di mana berdasarkan pada standar IEC 60-156:2018 yang menggunakan elektroda berbentuk setengah bola dengan jarak sela 2,5 mm. Setiap pengujian tegangan tembus, dilakukan pengujian sebanyak 6 kali, hal ini dilakukan untuk mendapatkan nilai rata-rata dari suatu pengujian tegangan tembus, dengan jeda waktu selama 1 menit. Berikut ini alur penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Flowchart Penelitian

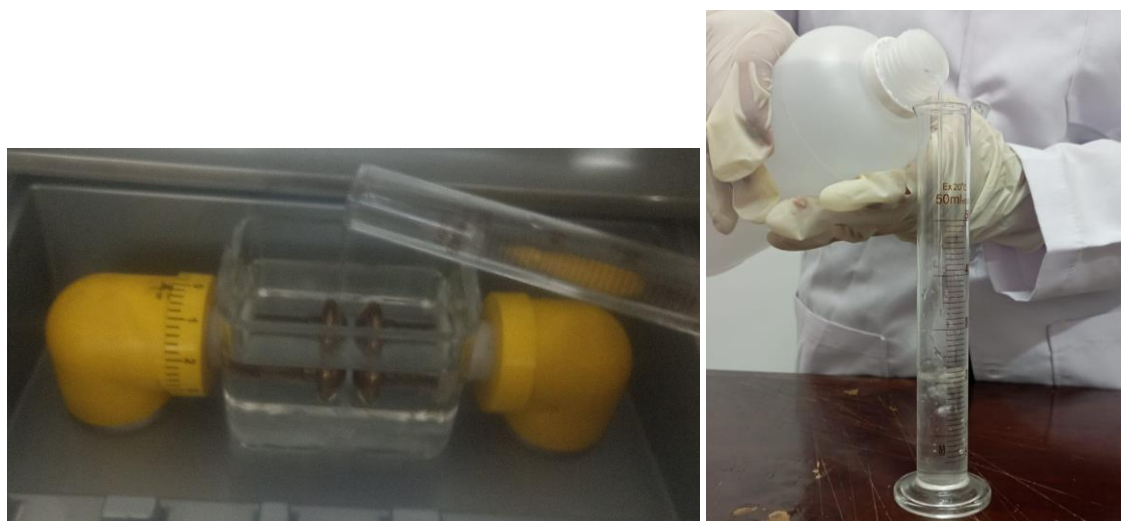
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Pengukuran Pengaruh Kontaminan Air Terhadap Nilai Tegangan Tembus Isolasi Minyak Sampel Uji

Air yang mengontaminasi minyak isolasi transformator dapat berpengaruh banyak dalam sistem isolasinya, salah satu pengaruhnya, yaitu ketika air dan oksigen masuk ke dalam transformator dapat menghasilkan asam yang akan menyebabkan bagian dalamnya mengalami peningkatan sifat korosif, dan juga air berefek merusak kertas isolasi yang berfungsi untuk melindungi inti besi dan kumparan suatu transformator, dan memiliki kemampuan mekanis. Berikut

ini hasil pengujian kontaminan air pada minyak isolasi nabati jenis dedak padi tipe murni, dedak padi tipe *food oil*, dan minyak mineral *hyrax*. Pengujian ini berdasarkan standar IEC 156 mengenai pengujian *breakdown voltage*, dan nilai kontaminan air suling yang diberikan dimulai dari 1 mL hingga 10 mL.

Pada pengukuran nilai tegangan tembus minyak isolasi dedak padi (tipe murni & *food oil*), dan minyak isolasi *hyrax* dengan pengaruh kontaminan air suling didapatkan hasil, yaitu ketika kontaminan air di berikan semakin banyak maka akan mempengaruhi nilai tegangan tembus semakin mengecil. Pada alat uji *BAUR Oil Tester DPA* dapat menampung sekitar 450 mL cairan sampel uji, yang membuat kontaminan yang terdapat dalam wadah akan mempercepat terjadinya kegagalan isolasi. Pada pengukuran kontaminan air digunakan alat gelas ukur agar pengukuran banyaknya mililiter air sesuai.



Gambar 3. Pengujian Pengaruh Kontaminan Air(H₂O) Terhadap Isolasi Minyak Sampel Uji Dengan *BAUR Oil Tester DPA*

3.2. Perhitungan Analisa Korelasi Variabel Uji

Perhitungan korelasi dilakukan untuk mengetahui keterkaitan tiap parameter yang diujikan terhadap semua sampel minyak isolasi yang digunakan. Analisa korelasi dilakukan terhadap pengaruh kontaminan terhadap nilai tegangan tembus isolasi minyak yang diujikan (La'ia & Harefa, 2021). Di mana nilai koefisien relasi (r) berentang -1 hingga 1, dan arah korelasi dinyatakan dalam positif (+) dan negatif (-), selain menghitung korelasi juga melakukan perhitungan koefisien determinasi untuk mengetahui persentase variabel pengujian. Adapun perhitungan korelasi dilakukan dengan metode *pearson*.

$$r = \frac{\sum xy}{\sqrt{(\sum x^2)(\sum y^2)}} \quad (1)$$

$$KD = (r)^2 \times 100\% \quad (2)$$

Berikut perhitungan nilai korelasi pengaruh kontaminan air suling (H_2O) terhadap nilai tegangan tembus untuk isolasi minyak dedak padi tipe murni

$$r = \frac{-133,45}{\sqrt{(82,5)(246,77)}} = -0,93 \quad (3)$$

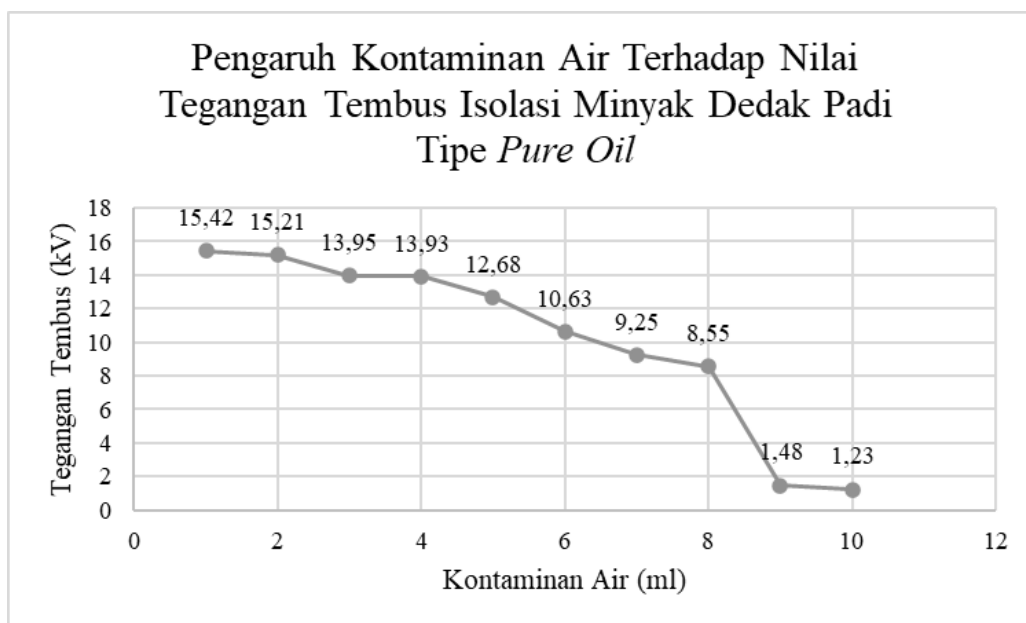
$$KD = (r)^2 \times 100\% = 87,48\% \quad (4)$$

Dari perhitungan menggunakan persamaan 4 didapatkan data analisis korelasi analisis pengaruh kontaminan air suling (H_2O) terhadap nilai tegangan tembus minyak dedak padi tipe murni. Berikut data korelasi pengaruh kontaminan terhadap nilai tegangan tembus yang ditunjukkan pada Tabel 2.

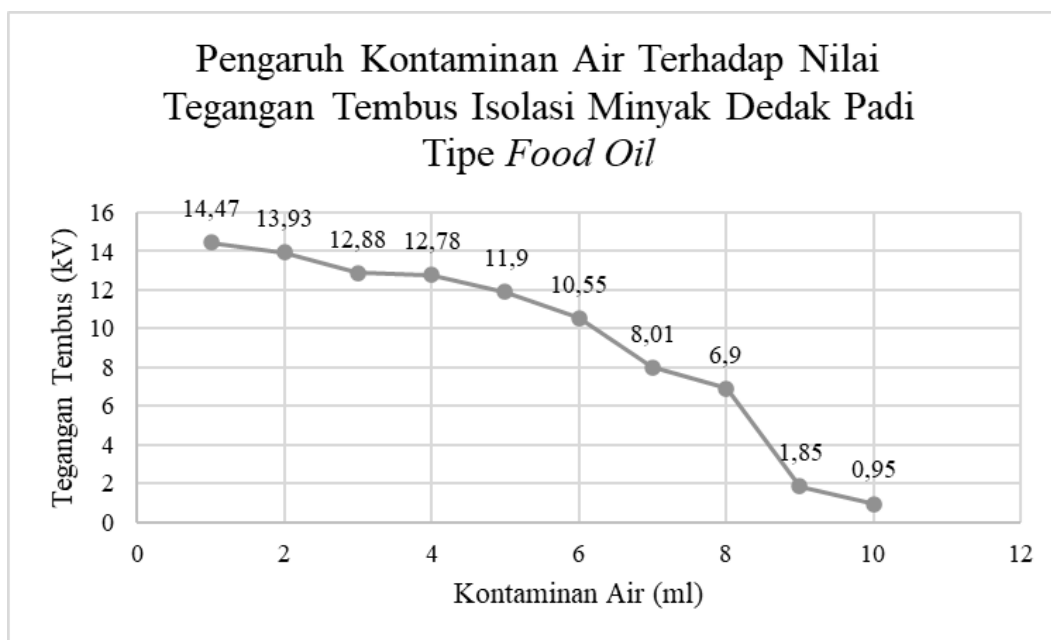
Tabel 2. Data Perhitungan Korelasi Pengaruh Kontaminan Air Terhadap Nilai Tegangan Tembus Isolasi Minyak Dedak Padi Tipe Murni

X1	Y1	(X1-Xrat) =X	(Y1-Yrat) =Y	X ²	Y ²	XY
1	15,42	-4,5	5,187	20,25	26,90497	-23,3415
2	15,21	-3,5	4,977	12,25	24,77053	-17,4195
3	13,95	-2,5	3,717	6,25	13,81609	-9,2925
4	13,93	-1,5	3,697	2,25	13,66781	-5,5455
5	12,68	-0,5	2,447	0,25	5,987809	-1,2235
6	10,63	0,5	0,397	0,25	0,157609	0,1985
7	9,25	1,5	-0,983	2,25	0,966289	-1,4745
8	8,55	2,5	-1,683	6,25	2,832489	-4,2075
9	1,48	3,5	-8,753	12,25	76,61501	-30,6355
10	1,23	4,5	-9,003	20,25	81,05401	-40,5135

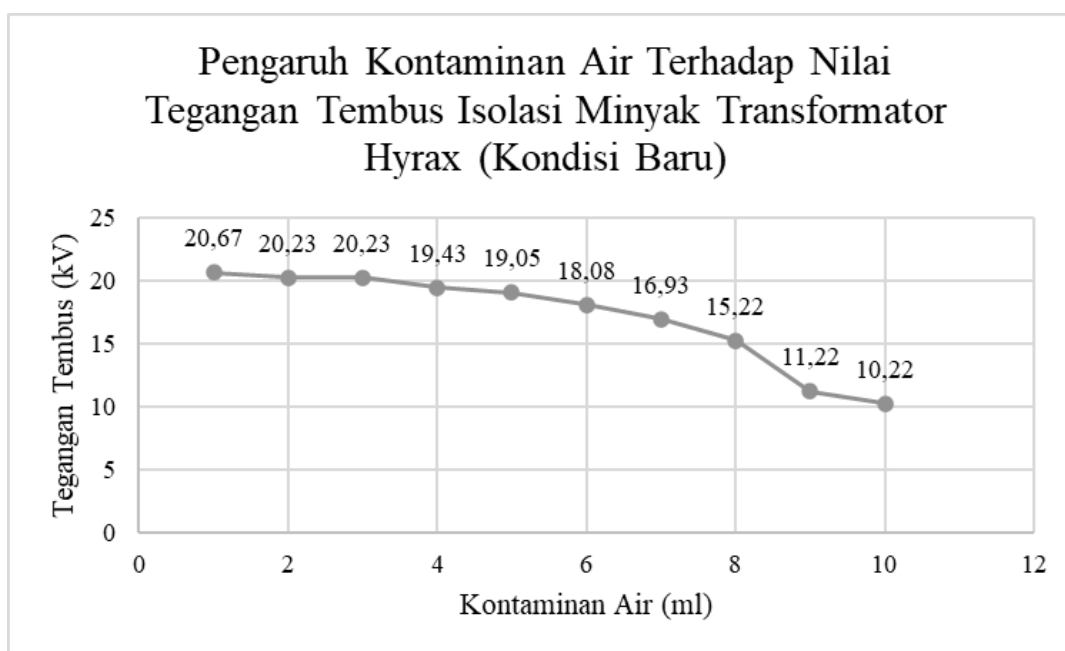
Berikut grafik pengaruh kontaminan terhadap nilai tegangan tembus isolasi minyak berjenis dedak padi tipe minyak murni, dedak padi tipe minyak makan, dan minyak *hyrax* yang ditunjukkan pada Gambar 4 s.d Gambar 6.



Gambar 4. Grafik Pengaruh Kontaminan Air Terhadap Tegangan Tembus Isolasi Minyak Dedak Padi Tipe Murni



Gambar 5. Grafik Pengaruh Kontaminan Air Terhadap Tegangan Tembus Isolasi Minyak Dedak Padi Tipe Minyak Makan



Gambar 6. Grafik Pengaruh Kontaminan Air Terhadap Tegangan Tembus Isolasi Minyak Transformator *Hyrax* (Kondisi Baru)

Nilai tegangan tembus didapatkan dari pengujian tegangan tembus dengan menggunakan alat uji *Baur Oil Tester DPA*, yang berdasarkan standar IEC 60-156:2018, menunjukkan penggunaan dari elektroda di alat uji ini menggunakan elektroda setengah bola dengan bahan tembaga, dan jarak antar elektroda atau tebal isolasi yang diberikan sebesar 2,5mm. Pengujian tegangan tembus ini dilakukan sebanyak 6 kali pada tiap parameternya agar mendapatkan nilai rata-rata yang digunakan sebagai nilai dari tegangan tembusnya, dengan waktu jeda selama 1 menit. Kontaminan air yang diberikan pada isolasi minyak transformator sebanyak 1mL hingga 10mL, untuk melihat perbandingan dari tegangan tembus yang akan dihasilkan.

Pada grafik data hasil pengujian nilai tegangan tembus yang dipengaruhi oleh kontaminan pada minyak isolasi dedak, dan *hyrax*. Semakin banyak kontaminan pada isolasi minyak maka akan semakin cepat terjadinya tegangan tembus, yang membuat nilai tegangan tembus yang terukur rendah. Pada data pengujian minyak dedak padi tipe minyak makan, ketika kontaminan air yang diberikan sebesar 1 mL hingga 2 mL isolasi minyak dedak padi tipe

minyak makan masih dapat menahan tegangan tinggi sehingga tegangan tembus masih terukur seperti pada pengujian tanpa kontaminan dan isolasi minyak nabati tersebut masih dapat melakukan *self healing* atau memperbaiki diri ketika dipengaruhi kontaminan, sehingga tegangan tembus yang terukur cenderung konstan. Namun, pada saat kontaminan 3 mL hingga 9 mL nilai tegangan tembusnya terus mengalami penurunan, dan ketika 10 mL dengan perbandingan 45:1 isolasi cair terhadap jumlah kontaminannya tegangan tembus jatuh pada angka 0,95 kV sehingga isolasi minyak dapat dikatakan telah terkontaminasi dan tidak mampu lagi menahan tegangan tinggi. Sedangkan pada data minyak uji lainnya, nilai dari tegangan tembus berbanding terbalik dengan jumlah kontaminan yang diberikan. Ketika terdapat kandungan air dalam isolasi mempercepat pemburukan dari isolasi minyak tersebut.

Pada saat pengujian kontaminan air mengendap di bawah bejana, sehingga nilai tegangan tembus yang terukur memiliki selisih yang tidak terlalu jauh setiap penurunan akibat pengaruh kontaminan. Apabila jumlah kontaminan air semakin bertambah, maka semakin rendahnya nilai tegangan tembus yang dihasilkan. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan adanya kontaminan air dalam penggunaan isolasi pada transformator yang dapat memperburuk sistem isolasi transformator dan maka akan mempercepat terjadinya pelepasan muatan hingga terjadilah *breakdown* atau kegagalan isolasi minyak. Air suling (H_2O) merupakan senyawa *kovalen polar* sehingga air dapat menghantar arus. Ketika pada minyak isolasi transformator memiliki kandungan air, maka dapat dilakukan tindakan rekomendasi, seperti melakukan pemeliharaan berkala, rekondisi, hingga penggantian minyak isolasi baru.

3.3. Pembahasan

Setelah pengujian dilakukan akan didapatkan data perhitungan dari variabel yang telah diuji pada minyak dedak padi tipe murni, minyak dedak padi tipe minyak makan, dan juga minyak isolasi *hyrax* yang digunakan sebagai pembanding dari kelayakan minyak nabati. Selanjutnya akan membahas mengenai pengaruh kontaminan air terhadap nilai tegangan tembus yang ditunjukkan pada Tabel 3. Berdasarkan data pengaruh kontaminan air terhadap nilai tegangan tembus dari tiap sampel minyak isolasi yang diujikan dapat dimuat dalam grafik yang ditunjukkan pada Gambar 7.

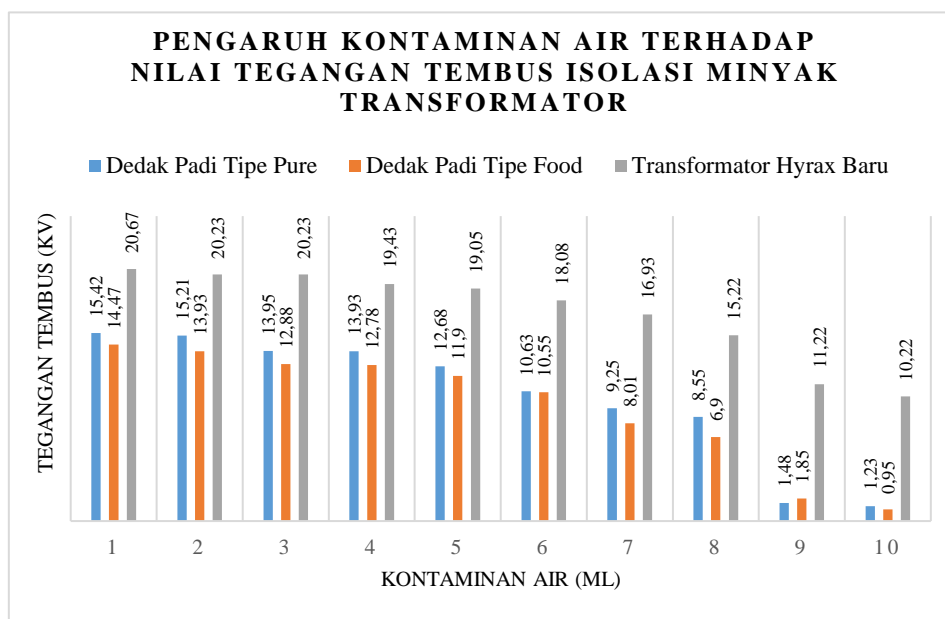
Tabel 3. Data Pengujian Pengaruh Kontaminan Air Terhadap Tegangan Tembus Isolasi Minyak Uji Dengan Tebal Isolasi 2,5 mm

No.	Minyak/Type	Jumlah Kandungan Air (mL)	Nilai Tegangan Tembus (kV)
1.	Dedak Padi/ <i>Pure Oil</i>	1	15,42
		2	15,21
		3	13,95
		4	13,93
		5	12,68
		6	10,63
		7	9,25
		8	8,55
		9	1,48
		10	1,23
2.	Dedak Padi/ <i>Food Oil</i>	1	14,47
		2	13,93
		3	12,88
		4	12,78
		5	11,9
		6	10,55
		7	8,01
		8	6,9
		9	1,85
		10	0,95
3.	<i>Hyrax/Transformator Oil</i>	1	20,67
		2	20,23
		3	20,23
		4	19,43
		5	19,05
		6	18,08
		7	16,93
		8	15,22
		9	11,22
		10	10,22

Pada pengujian tegangan tembus dengan menggunakan alat *BAUR Oil Tester DPA* dengan wadah atau bejana pada alat tersebut dapat menampung 450 mL cairan sampel uji. Berdasarkan grafik pengaruh kontaminan air (H_2O) terhadap

nilai tegangan tembus isolasi minyak nabati dedak padi dengan tipe murni, minyak dedak padi dengan tipe minyak makan, dan isolasi minyak transformator mineral dengan merek *hyrax* dalam kondisi baru didapatkan hasil bahwa setiap kenaikan jumlah kontaminan air yang terkandung dalam isolasi minyak yang diujikan menunjukkan nilai tegangan tembus yang semakin turun. Ketika minyak dedak padi *Tipe Pure* diberikan kontaminan air sebanyak 1ml tegangan tembus yang dihasilkan di bawah dari standar yang telah ditentukan, di mana semakin banyak jumlah kontaminan air yang diberikan pada minyak dedak *Pure* tegangan tembus yang dihasilkan semakin kecil hingga 1,23kV. Begitu juga pada minyak dedak *Tipe Food* semakin banyaknya air yang diberikan pada minyak isolasi tersebut, semakin rendah nilai tegangan tembus yang dihasilkan hingga tidak dapat mengisolasi peralatan dengan besar 0,95kV. Pada minyak isolasi *hyrax* yang dipengaruhi kontaminan air dengan parameter hingga 10ml tegangan tembus yang dihasilkan di bawah dari standar yang sesuai hanya mendapatkan nilai tegangan tembus 20,67kV hingga 10,22kV.

Air suling (H_2O) merupakan air yang dimurnikan dengan cara destilasi untuk menghilangkan partikel atau kontaminan yang terdapat dalam air tersebut. Air suling terdiri dari atom O (*Oksigen*), dan atom H (*Hidrogen*). Untuk mencapai kestabilan oktet atom O membutuhkan 2 elektron, sedangkan atom H membutuhkan 1 elektron untuk mencapai kestabilan duplet, sehingga atom O akan berikatan dengan 2 atom H sehingga atom O mendapatkan 2 elektron dari atom H, dan tersisa 4 elektron yang tidak berikatan atau 2 pasang elektron bebas sehingga air suling termasuk ke dalam senyawa kovalen polar sehingga bersifat elektrolisis dan dapat dipengaruhi oleh aliran listrik. Dalam penggunaan isolasi pada transformator terdapat kontaminan air maka sistem isolasi tersebut akan rendah atau buruk, karena air bersifat elektrolisis yang membuat air dapat menghantarkan arus, sehingga ketika pengujian tegangan tembus dilakukan dan terdapat kontaminan air maka dapat mempercepat terjadinya tegangan tembus. Salah satu penyebab kegagalan isolasi cair karena adanya molekul air yang mengontaminasi isolasi, molekul air tersebut akan membentuk *spheroid*.



Gambar 7. Grafik Batang Pengaruh Kontaminan Air Terhadap Tegangan Tembus Isolasi Minyak Uji

Berdasarkan dari data dan hasil pengukuran setiap adanya pengaruh kandungan kontaminan nilai tegangan tembus akan turun sesuai dengan standarisasi isolasi minyak yang baik dan layak menurut SPLN 1982 yang menyatakan bahwa isolasi minyak tidak boleh mengandung air. Sehingga ketika terdapat kandungan air dalam isolasi mempercepat pemburukan dari isolasi minyak tersebut. Namun dari hasil pengaruh kontaminan ini dapat diketahui kekuatan tiap isolasi minyak yang diuji dalam menghadapi kontaminan, dari setiap isolasi minyak hanya minyak transformator yang nilai kekuatan yang baik dalam menahan pengaruh kontaminan, dikarenakan ketika kontaminan sebesar 1 hingga 10 mL diberikan nilai tegangan tembus minyak transformator *hyrax* cenderung konstan sehingga isolasi minyak transformator *hyrax* tidak mudah untuk terkontaminasi air, namun tiap kenaikan jumlah kontaminan yang terkandung nilai tegangan tembus yang terukur semakin turun juga tetapi selisih tiap nilai tegangan tembusnya tidak begitu jauh seperti isolasi minyak nabati. Sampel minyak nabati yang lainnya yaitu minyak dedak padi dengan tipe minyak murni dan minyak makan cenderung mudah terkontaminasi sehingga nilai tegangan tembus yang terukur memiliki selisih yang signifikan tiap jumlah kontaminan yang diberikan. Dalam hal ini dapat disimpulkan isolasi minyak yang baik harus kuat dalam mengalami kontaminan air agar tidak mudah terjadi kegagalan isolasi. Karena, apabila terdapat kontaminan air akan mempercepat kerusakan transformator karena akan merusak isolator kertas yang melindungi inti

dan kumparan dalam transformator, serta dapat mempercepat nilai tegangan tembus, karena molekul air yang terkandung akan mudah dipengaruhi oleh aliran medan listrik (GGL) ketika transformator bekerja.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian pengaruh kontaminan air pada nilai tegangan tembus isolasi minyak jenis nabati, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Air suling (H_2O) merupakan senyawa *kovalen* yang dalam hal ini memiliki pasangan elektron bebas, sehingga apabila terdapat muatan listrik, maka air akan bersifat elektrolisis atau dapat menghantarkan muatan, sehingga pada pengujian tegangan tembus, semakin banyak kontaminan air yang terkandung dalam isolasi minyak, semakin mempercepat terjadinya tegangan tembus atau kegagalan isolasi.
- Semakin banyaknya jumlah kontaminan air yang diberikan pada minyak isolasi transformator membuat nilai tegangan tembus yang dihasilkan akan semakin menurun, dengan nilai tegangan tembus pada suatu isolasi minyak transformator memiliki standar nilai tegangan tembus >30 kV/2,5 mm.
- Berdasarkan perhitungan analisis korelasi dengan metode *Pearson Product Moment* (PPM) dengan menghitung nilai koefisien korelasi dan persentase korelasi, didapatkan korelasi kontaminan air terhadap tegangan tembus berbanding terbalik dengan tingkat korelasi tinggi.
- Hasil penelitian yang didapatkan belum ada isolasi yang memenuhi semua parameter uji, tebal isolasi sesuai IEC 156 sebesar 2,5 mm.
- Hasil pengujian menggunakan minyak dedak padi tipe *pure* yang diberikan kontaminan sebanyak 1 mL didapatkan nilai tegangan tembus sebesar 15,42 kV. Sedangkan nilai tegangan tembus ketika diberi kontaminan 2 mL sebesar 15,21 kV, kontaminan 3 mL sebesar 13,95 kV, kontaminan 4 mL sebesar 13,93 kV, kontaminan 5 mL sebesar 12,68 kV, kontaminan 6 mL sebesar 10,63 kV, kontaminan 7 mL sebesar 9,25 kV, kontaminan 8 mL sebesar 8,55 kV, kontaminan 9 mL sebesar 1,48 kV, dan kontaminan 10 mL nilai tegangan tembus sebesar 1,23 kV.
- Pada pengujian menggunakan minyak dedak padi tipe *food* yang diberikan kontaminan air suling sebanyak 1 mL didapatkan nilai tegangan tembus sebesar 14,47 kV. Ketika diberi kontaminan sebanyak 2 mL didapatkan nilai tegangan tembus sebesar 13,93 kV. Ketika kontaminan yang diberikan sebanyak 3 mL, 4 mL, 5 mL, 6 mL, 7 mL, 8 mL, 9 mL, hingga 10 mL, didapatkan nilai tegangan tembus sebesar 12,88 kV, 12,78 kV, 11,9 kV, 10,55 kV, 8,01 kV, 6,9 kV, 1,85 kV, dan 0,95 kV.
- Hasil pengujian menggunakan minyak *hyrax* baru yang diberikan kontaminan sebanyak 1 mL, 2 mL, 3 mL, 4 mL, 5 mL, 6 mL, 7 mL, 8 mL, 9 mL, 10 mL, didapatkan nilai tegangan tembus sebesar 20,67 kV, 20,23 kV, 20,23 kV, 19,43 kV, 19,05 kV, 18,08 kV, 16,93 kV, 15,22 kV, 11,22 kV, 10,22 kV.
- Setiap kenaikan 1 mL kontaminan air yang terlarut pada minyak isolasi mampu menurunkan $\pm 5\%$ dari kekuatan dielektriknya. Dalam penelitian ini terlihat jelas penurunan yang signifikan terjadi pada minyak tipe nabati.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Laboratorium Teknologi & Peralatan Tegangan Tinggi Institut Teknologi PLN Jakarta, yang telah memberikan saya kesempatan untuk mengambil data terkait penelitian pengujian pengaruh kontaminan air pada tegangan tembus isolasi minyak jenis nabati dan mineral.

Daftar Notasi

- r = Nilai koefisien korelasi
 $\sum XY$ = Hasil Perkalian dari Total Jumlah Variabel X dan Variabel Y
 $\sum X^2$ = Kuadrat dari Total Jumlah Variabel X
 $\sum Y^2$ = Kuadrat dari Total Jumlah Variabel Y
 X^2 = Data variabel yang dibandingkan (parameter kontaminan yang diberikan)
 Y^2 = Data variabel yang dibandingkan (nilai tegangan tembus yang dihasilkan)
 KD = Koefisien\ Determinasi
 r^2 = Kuadrat nilai koefisien korelasi

Daftar Pustaka

- Jumardin, J., Ilham, J., & Salim, S. (2019). Studi Karakteristik Minyak Nilam Sebagai Alternatif Pengganti Minyak Transformator. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 1(2), 40–48. <https://doi.org/10.37905/jjee.v1i2.2881>

- Karim, S. (2018). Pengaruh Kondisi Minyak Terhadap Keandalan Sistem Kerja Transformator (Studi Kasus Di Pt. Indocement Tunggul Prakarsa, Tbk. Plant 12 Tarjun – Kalimantan Selatan) Tahun. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 1(2), 41–52.
- La'ia, H. T., & Harefa, D. (2021). Hubungan Kemampuan Pemecahan Masalah Matematis dengan Kemampuan Komunikasi Matematik Siswa. *Aksara: Jurnal Ilmu Pendidikan Nonformal*, 7(2), 463. <https://doi.org/10.37905/aksara.7.2.463-474.2021>
- Maneerot, S., & Pattanadech, N. (2019). Effect of contaminant on breakdown characteristics of mineral oil and commercial natural ester. *ECTI-CON 2018 - 15th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology*, 688–691. <https://doi.org/10.1109/ECTICon.2018.8619864>
- PT.PLN Persero. (2014). *Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga*.
- Putra, R. K., & Murdiya, F. (2017). Karakteristik Tegangan Tembus Arus Bolak Balik Pada Minyak Jarak Pagar (*Jatropha curcas*) Sebagai Alternatif Isolasi Cair. *Jom FTEKNIK*, 4(2), 1–11.
- Rahman, R. A., Paronda, A. H., & Marini, S. (2015). Analisis Pengaruh Kadar Air Terhadap Karakteristik Tegangan Tembus Dan Dielektrik Isolasi Pressboard Tipe B.3.1. *Journal of Electrical and Electronics*, 6(1), 43–52.
- Sharma, P., Agarwal, R., Uppal, A., Narasimhan, C. S., Beldar, S. S., & Velandy, J. (2020). Effect of aromatics and polar contaminant of natural ester oil on dielectric strength and breakdown time in mineral oil under lightning impulse voltage excitations. *PIICON 2020 - 9th IEEE Power India International Conference*. <https://doi.org/10.1109/PIICON49524.2020.9113010>
- Siburian, J. (2019). Karakteristik transformator. *Jurnal Teknologi Energi UDA*, VIII(21), 21, 23.
- Siregar, M. A., Umurani, K., & Damanik, W. S. (2020). Pengaruh Jenis Katoda Terhadap Gas Hidrogen Yang Dihasilkan Dari Proses Elektrolisis Air Garam. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, 21(2), 57–65. <https://doi.org/10.23917/mesin.v21i2.10386>
- Syuhada, D. I. O. A., Koerniawan, T., & Christiono, C. (2021). *Kajian Tegangan Tembus Dan Medan Listrik Pada Elektroda Model Tembaga Dan Aluminium Pada Media Isolasi Udara (Doctoral Dissertation, Institut Teknologi Pln)*.
- Widiyantoro, B., Christiono, C., & Junaidi, A. (2020). *Analisis Kemampuan Minyak Isolasi Transformator Daya Merek UNINDO dengan Pengujian Dissolved Gas Analysis dan Pengujian Breakdown Voltage di Gardu Induk Serpong*.
- Winanta, I. N. O., Agung, A., Amrita, N., & Ariastina, W. G. (2019). Studi Tegangan Tembus Minyak Transformator. *Jurnal SPEKTRUM*, 6(3), 11–28.