

Karakteristik Pengujian Tegangan Tembus Arus Bolak Balik (AC) Pada Minyak RBDPO Olein Sebagai Alternatif Isolasi cair

Meliana¹⁾, Fri Murdiya²⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro S1, ²⁾Dosen Teknik Elektro
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru, Riau
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau

Email: mmeliana.jefry@gmail.com

ABSTRACT

Transformer Oil that mostly comes from Mineral Oil (MO) is originated from fossil fuel that is harmful to the environment, do not biodegrade easily, it is a non-renewable resource and it requires time to extract. Hence, an oily liquid isolation is needed which derives of vegetable oil, one of the examples; extracted of Palmoil that is already processed into RBDPO Olein. This research aim is to test the characteristic of AC Breakdown Voltage on RBDPO Olein as a liquid isolation alternative and transformer oil as a comparison. The breakdown voltage of RBDPO Olein oil is more important than mineral oil. This research also examines the effect of temperature increase variation on isolation oil, electrode distance variation, variation of the electrode utilized, and effect of the decrease of oil water ratio of RBDPO Olein towards isolation oil breakdown voltage. A higher temperature of the isolation oil, a wider electrode distance, and reduction of oil water ratio on isolation oil shall generate a higher breakdown voltage. For the variation of using partial ball electrode and ball electrode from the same material, it generates an almost similar breakdown voltage. As an alternative liquid isolation, the RBDPO Olein oil has fulfilled several criteria as per liquid isolation specification which include breakdown voltage, the effect of temperature variation on breakdown voltage, oil clearance, density, viscosity. However, the pour point and flash point have not fulfilled the criteria as a liquid isolation alternative.

Keywords: RBDPO Olein, Breakdown Voltage, Partial Ball Electrode, Balls Electrode, Liquid Isolation.

1. PENDAHULUAN

Ketersediaan Energi listrik merupakan suatu hal yang sangat harus diperhatikan dewasa ini, dikarenakan energi listrik sudah menjadi kebutuhan pokok dalam kehidupan masyarakat. Dapat kita bayangkan bagaimana kehidupan sehari-hari masyarakat dan industri jika tidak memiliki ketersediaan energi listrik, pastinya hampir semua peralatan yang mendukung kehidupan dan kegiatan usaha industri kita memerlukan energi listrik sehingga jika ketersediaannya bermasalah atau kehilangan energi listrik maka semua peralatan pendukung kegiatan masyarakat dan industri sehari-hari tentu saja tidak dapat berfungsi sehingga mempengaruhi kegiatan atau kehidupan rumah tangga masyarakat dan kegiatan industri tersebut, sehingga produktifitas masyarakat dan industry dapat menurun.

Hal yang sangat penting yang harus kita perhatikan dari sebuah transformator adalah minyak transformator yang membutuhkan perhatian, dikarenakan minyak transformator ini memegang peranan penting dalam kinerja transformator yaitu selain sebagai isolasi, minyak juga bekerja sebagai pendingin transformator. Dalam pengoperasiannya, transformator juga sangat erat kaitannya dengan panas (thermal) atau suhu sekitaran transformator, kenaikan suhu dari minyak transformator

dan kenaikan suhu yang diakibatkan oleh pola pembebanan transformator yang berpengaruh terhadap tegangan tembus dari minyak transformator (minyak mineral) itu sendiri. Berdasarkan standar IEC, transformator dirancang untuk dibebani sepenuhnya selama 24 jam, dengan batas aman temperatur titik panas (hot spot) pada belitan mencapai 98°C. Nilai dalam batasan tersebut menjamin transformator tidak mengalami kenaikan susut umur (Kurniawan, 2016). Sehingga dengan kenaikan suhu pada transformator ini maka tegangan tembus pada minyak isolasi transformator tetap harus sesuai standar spesifikasinya.

Dengan keterbatasan minyak mineral atau minyak transformator yang ada maka upaya yang dilakukan adalah dengan mengganti minyak mineral dengan minyak nabati. Minyak nabati merupakan minyak yang ramah terhadap lingkungan, terdegradasi secara biologis, mudah mendapatkannya dan ketersediaannya yang melimpah di alam. Salah satu minyak nabati yang dipilih sebagai alternatif minyak transformator adalah minyak Sunco yang berasal dari tanaman sawit, dimana ketersediaannya yang melimpah di alam dan Indonesia merupakan Negara dengan hasil minyak sawit terbesar di dunia.

Sebagai alternatif pengganti minyak transformator maka akan dilakukan penelitian karakteristik pada minyak

sawit dengan melakukan pengujian tegangan tembus AC sesuai dengan standard SPLN 49-1:1982 dengan menggunakan elektroda setengah bola (Mushroom) berdiameter 36 mm dengan jarak sela antar elektroda 2,5 mm, 3 mm dan 4 mm. dan untuk mengetahui pengaruh jarak sela pada elektroda terhadap tegangan tembus dengan jarak sela 2,5 mm, 3 mm dan 4 mm.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Transformator (Trafo)

Transformator merupakan peralatan listrik yang statis (tidak bergerak). Transformator sebagai peralatan listrik yang statis dikarenakan tidak ada bagian berputar ataupun yang bergerak, tidak sama seperti generator ataupun motor. Transformator berfungsi memindahkan energi listrik bolak-balik (AC) dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lain dengan mengubah suatu besaran tegangan tanpa mengubah suatu frekuensi.

Transformator biasanya didesain untuk beroperasi disuhu lingkungan 20°C, di Indonesia pada umumnya transformator beroperasi pada suhu lingkungan 30°C. Pengoperasian diatas dari desain awal transformator tentu memiliki efek yang kurang baik pada transformator. Dengan adanya kenaikan temperatur lingkungan, kenaikan temperatur belitan dan inti besi transformator sehingga akan berpengaruh pada temperatur pada minyak isolasi atau minyak mineral sebagai isolasi cair pada transformator.

2.2 Minyak isolasi Transformator

Isolasi adalah sifat suatu bahan yang mampu memisahkan dua buah penghantar atau lebih yang jaraknya berdekatan untuk menghindari kebocoran arus atau hubung singkat (short circuit), dan juga sebagai pelindung mekanik dari suatu kerusakan yang ditimbulkan oleh korosif atau tekanan (stres), baik itu tekanan elektrik maupun tekanan mekanik. Salah satu isolator yang terdapat pada transformator adalah minyak isolasi transformator.

2.2.1 Jenis-Jenis Minyak isolasi Transformator

Minyak isolasi pada transformator terdapat tiga jenis berdasarkan pembuatannya, yaitu minyak mineral, minyak sintetis, dan minyak organik. Minyak isolasi mineral (minyak transformator) berasal dari minyak bumi yang diproses secara destilasi, agar mendapatkan tahanan yang tinggi dan stabilitas panas yang baik dibutuhkan beberapa proses destilasi. Minyak isolasi sintetis adalah minyak yang diproses secara kimia agar memiliki karakteristik lebih baik dari minyak isolasi mineral tetapi minyak isolasi sintetis memiliki sedikit kekurangan, yaitu berbahaya bagi lingkungan. Minyak isolasi Organik

adalah minyak yang didapat dari ekstraksi beberapa tumbuhan seperti jarak, kedelai, dan kelapa (Rifqi Jauhari., 2017).

2.2.2 Minyak isolasi Mineral

Minyak bumi adalah campuran dari beberapa hidrokarbon yang ada dalam fase cair dalam reservoir yang terdapat di bawah permukaan tanah dan akan tetap cair pada tekanan atmosfer melalui destilasi. Minyak bumi merupakan kumpulan senyawa hidrokarbon dan sedikit sulfur. Dengan memperhatikan susunan rantai hidrokarbon, maka senyawa inti yang ada dalam minyak bumi dapat dibedakan menjadi beberapa kelompok utama yaitu Linear (Senyawa Parafinis), ikloalifatik (Senyawa Naftenis), Aromatik.

2.2.3 Karakteristik Fisik Minyak isolasi

Berikut merupakan karakteristik fisik yang harus dimiliki oleh minyak transformator diantaranya, adalah:

1. Kejernihan penampilan minyak isolasi. Kejernihan penampilan minyak dapat dilihat dari warna minyak, warna minyaknya harus memiliki warna yang jernih, bersih, dan bebas dari endapan.
2. Massa Jenis adalah perbandingan massa suatu volume cairan pada suhu 20 OC terhadap massa volume air.
3. Viskositas Kinematik adalah nilai tahanan cairan untuk mengalirkan minyak secara kontinu atau terus menerus dan menyeluruh tanpa menimbulkan gaya gesekan ataupun gaya yang lain pada minyak.
4. Titik Nyala (flash point) adalah nilai batas tertinggi minyak isolasi dapat dipanaskan sampai temperatur tertentu sebelum uap yang ditimbulkan menjadi api yang berbahaya.
5. Titik Tuang (pour point) adalah nilai batas pada minyak isolasi yang dapat mengalir saat didinginkan pada suhu di bawah normal.

2.2.4 Karakteristik Elektrik Minyak isolasi

Berikut merupakan karakteristik Elektrik yang harus dimiliki oleh minyak Transformator diantaranya, adalah:

1. Tegangan Tembus (Voltage Breakdown) adalah nilai batas kemampuan suatu bahan isolasi untuk menahan tekanan elektrik.
2. Tahanan Jenis adalah nilai tahanan jenis berpengaruh pada kontaminan pada minyak isolasi yang bersifat konduktif, semakin banyak

- kontaminan konduktif maka semakin rendah tahanan jenis dari minyak isolasi.
3. Faktor Disipasi dielektrik adalah ukuran dari rugi-rugi dielektrik minyak.
 4. Tegangan Antar Permukaan. Kerusakan minyak isolasi diantaranya dikarenakan adanya kontaminasi dengan zat terlarut dan gas bebas umumnya yang akan menurunkan nilai tegangan antar permukaan.

2.2.5 Karakteristik Kimia Minyak isolasi

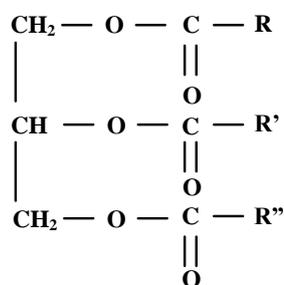
Berikut merupakan karakteristik Kimia yang harus dimiliki oleh minyak Transformator diantaranya, adalah:

1. Angka Kenetralan Angka kenetralan adalah nilai yang memperlihatkan kadar penyusun asam minyak isolasi.
2. Stabilitas Oksidasi adalah nilai yang harus dimiliki oleh minyak isolasi untuk mempertahankan diri dari proses oksidasi yang terjadi pada minyak isolasi.
3. Kandungan Air dalam minyak isolasi sangat berpengaruh terhadap tegangan tembus dan tahanan jenis minyak isolasi.

2.3 Minyak Kelapa-Sawit

Minyak-kelapa-sawit diekstraksi dari-biji buah kelapa-sawit-yang tersusun dalam sebuah tandan, biasanya disebut juga dengan Tandan Buah Segar (TBS). Buah sawit dibagian yang berdekatan dengan sabut yang disebut daging buah dapat diproses menghasilkan minyak sawit mentah atau Crude Palm Oil (CPO). Selain itu juga, bagian inti biji sawit dapat diekstraksi menjadi minyak inti sawit atau disebut Palm Kernel Oil (PKO) (Sunarko., 2006).

Komponen utama penyusun minyak sawit terdiri dari trigliserida (94%) dan non trigliserida (1%) serta asam lemak bebas (4-5%) (Serlahwati, 2007).



Gambar 1. Struktur trigliserida minyak nabati.
(Sumber: S. S. Sinan., 2014)

2.4 Mekanisme Kegagalan Isolasi Cair pada Transformator

Menurut Kurrahan dan Abduh (2016), mekanisme kegagalan dari isolasi cair adalah sebagai berikut:

2.4.1 Kekuatan Dielektrik

Suatu dielektrik tidak mempunyai elektron-elektron bebas. Ketika dielektrik ditempatkan diantara dua elektroda kemudian elektroda tersebut diberi tegangan, maka akan menimbulkan medan listrik di dalam dielektrik..

Berikut adalah persamaan dari komponen panjang jarak sela dan komponen kekuatan peristiwa kegagalan pada isolasi cair (Hanung Sayogi.,2005):

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

dimana: V_b = tegangan tembus (kV).
 d = panjang jarak sela (mm).
 A = konstanta.
 n = konstanta yang nilainya <1

2.4.2 Teori Kegagalan Isolasi Cair

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kegagalan isolasi cair diantaranya adalah adanya partikel padat, uap air dan gelembung gas. Teori kegagalan zat isolasi cair dibagi menjadi empat jenis sebagai berikut:

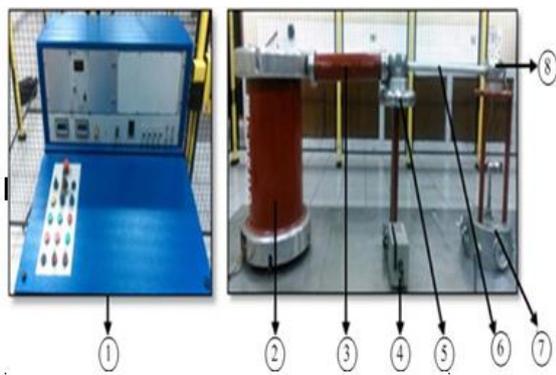
- a. Teori kegagalan zat murni (elektronik). Ketika muncul kuat medan listrik yang tinggi di bagian runcing elektroda tersebut, sehingga kuat medan yang ditimbulkan tersebut akan mengeluarkan elektron e-1, ini merupakan awal terbentuknya banjir elektron (avalanche) pada teori kegagalan gelembung gas.
- b. Teori kegagalan gelembung udara. Merupakan ketidakmurnian media isolasi cair yang bercampur dengan gelembung udara, dimana gelembung udara merupakan pemicu awal dari kegagalan total pada media cair.
- c. Teori kegagalan bola cair. Merupakan media isolasi yang mengandung bola cair dari jenis cairan yang lain, maka bola cair tersebut akan menyebabkan terjadinya kegagalan karena ketidakstabilan bola cair dalam medan listrik.
- d. Teori kegagalan butiran padat. Kegagalan butiran padat adalah merupakan suatu jenis kegagalan yang diakibatkan karena adanya partikel atau butiran padat pada media isolasi cair yang menyebabkan terjadinya proses kegagalan isolasi cair.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi Universitas Riau, Laboratorium Teknik Kimia Universitas Riau dan Laboratorium Teknik Perminyakan Universitas Islam Riau. Dimana nantinya penulis akan menghasilkan Karakteristik tegangan tembus minyak RBDPO Olein, dan beberapa karakteristik isolasi cair lainnya.

3.1 Peralatan Pengujian Tegangan Tembus

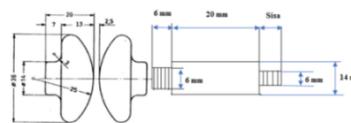
Berikut merupakan Peralatan pengujian tegangan tembus (Breakdown Voltage):



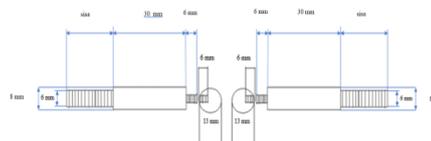
Gambar 2. Rangkaian pengujian tegangan tembus arus bolak-balik AC

1. Meja Kontrol (control desk)
2. Transformator Uji
3. Grounding Switch
4. Connecting Cup
5. Floor Pedestal
6. Tongkat Penghubung
7. Resistor 2,5 MΩ
8. Eart Rod

Berikut merupakan gambar wadah dan elektroda yang digunakan pada penelitian ini,



Gambar 3. Elektroda setengah bola kuningan diameter 36 mm



Gambar 4. Elektroda bola-bola kuningan diameter 13 mm

3.2 Menghitung Viskositas (Kekentalan)

Pengukuran viskositas menggunakan viscometer Oswald yang sudah dibersihkan dan dikeringkan (oven). Suhu minyak 20°C kemudian mengukur waktu minyak dari batas pertama sampai ke batas kedua dari viscometer. Dimana rumus menentukan viskositas adalah:

$$\text{Viskositas } (\mu) = C \cdot t \quad (3.1)$$

Dimana,

μ = Viskositas Kinematik (cSt)

C = Kontanta viskometer tube (0,4994)

t = Waktu yang dibutuhkan fluida mengalir hingga tanda batas (s)

3.3 Menghitung Densitas (Massa Jenis)

Penghitungan densitas menggunakan piknometer dimana piknometer kosong (bersih dan kering) yang belum diisi minyak ditimbang kemudian masukkan minyak kedalam piknometer sampai ke bagian kapiler kemudian tutup piknometer kemudian timbang piknometer yang berisi minyak tersebut. Massa jenis dari minyak isolasi akan didapatkan dengan rumus:

$$\text{Densitas } (\rho) = (m_2 - m_1) / V \quad (3.2)$$

Dimana :

V = Volume dari piknometer (ml)
 m1 = Berat piknometer kosong (gr)
 m2 = Berat piknometer berisi minyak (gr)

3.4 Pengurangan Kadar Air

Pengurangan kadar air pada minyak RBDPO Olein dengan memanaskan minyak didalam oven sampai didapatkan berat yang tetap dalam beberapa kali timbang.

$$\text{Kadar air (\%)} = ((W_1 - W_2) / (W_1 - W)) \times 100\% \quad (3.3)$$

Dimana :

W1 = Berat wadah dengan minyak sebelum dikeringkan (gr)

W2 = Berat contoh uji setelah minyak dikeringkan (gr)

3.5 Pengukuran Titik Tuang (Pour Point)

Pengujian titik tuang dilakukan dengan memasukkan lebih kurang 60 ml minyak isolasi pada tabung uji berbentuk silindris kemudian tabung uji ini dimasukkan ke dalam wadah yang telah berisi es batu dan NaCl, masukkan thermometer pada pada tabung uji silindris sambil mengamati minyak didalamnya perhatikan juga perubahan suhu dari thermometer tersebut. Ketika minyak telah membeku ukur berapa suhu minyak pada saat pertama mengalir setelah minyak beku.

3.6 Pengukuran Titik Nyala (Flash Point)

Pengujian titik nyala menggunakan alat khusus yang memiliki bahan bakar gas sebagai sumber apinya, dimana sampel (minyak isolasi) sebanyak 2 ml dimasukkan ke bagian pengujian kemudian dengan menggunakan suntik khusus, atur suhu pada alat tersebut kemudian nyalakan nyalakan api pada sisi dimana tadi minyak isolasi (sampel) dimasukkan. Ketika terjadi proses loncatan api pada bagian sampel maka itu merupakan titik nyala dari minyak isolasi.

3.7 Pengujian Tegangan Tembus

Pengujian tegangan tembus (Breakdown Voltage) dilakukan dengan menyiapkan rangkaian pengujian sesuai dengan rangkaian pada gambar xx, kemudia menyiapkan wadah uji beserta jarak elektroda yang akan digunakan pada pengujian. Isi wadah dengan minyak isolasi kemudian lakukan percobaan tegangan tembus dengan dengan cara menaikkan tegangan pada meja uji (control desk) sampai terjadi tegangan tembus yang ditandai dengan terjadinya loncatan api (flash over) kemudian catat tegangan tembus tersebut kemudian ulangi sampai 12 kali percobaan. Catat tekanan dan temperatur ruangan saat melakukan pengujian. Untuk mengetahui pengaruh jarak sela terhadap tegangan tembus juga dapat dilakukan dengan pengujian diatas tetapi setiap satu kali percobaan selesai

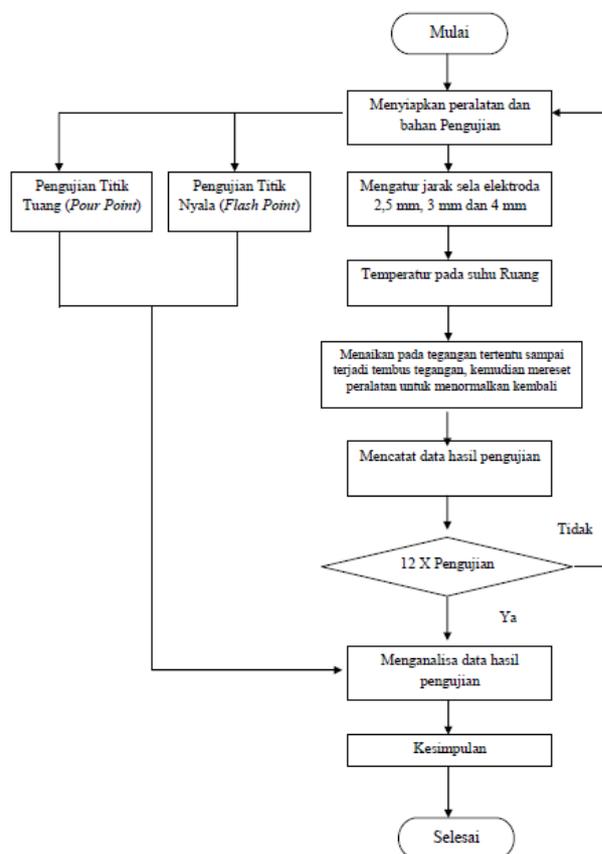
kemudian ganti jarak sela sesuai dengan yang diinginkan. Untuk mengetahui pengaruh kenaikan variasi suhu terhadap tegangan tembus maka minyak yang akan diuji dipanaskan terlebih dahulu sesuai dengan suhu yang diinginkan kemudian lakukan pengujian tegangan tembus ssesuai dengan cara pengujian sebelumnya.

3.8 Karakteristik dan Standar Metode Penelitian

Tabel 3.1 Tabel karakteristik dan standar metode penelitian

No.	Karakteristik	Satuan	Standar Metode Pengujian	Tipikal Data
1.	Penampilan	-	SPLN 49-1:1982	Jernih, bebas dari endapan
2.	Titik Tuang (Pour Point)	°C	SPLN 49-1:1982	≤ -30 °C
3.	Titik Nyala (Flash Point)	°C	SPLN 49-1:1982	≥ 140 °C
4.	Tegangan Tembus (Breakdown Voltage)	kV/2,5 mm	SPLN 49-1:1982	≥ 30
5.	Massa Jenis (densitas)	g/cm ³	SPLN 49-1:1982	≤ 0.895
6.	kekentalan(viskositas)	cSt	SPLN 49-1:1982	≤ 40

3.9 Diagram alir Penelitian



Gambar 5. Flowchart penelitian minyak isolasi.

3.10 Distriburi Normal

Menguji Normalitas Data dan varians salah satunya dengan menggunakan metode Kolmogorov Smirnov dengan pedoman pengambilan keputusan:

1. Nilai Sig. atau Signifikansi atau nilai probabilitas < 0,05, Distribusi adalah tidak normal.
2. Nilai Sig. atau Signifikansi atau nilai probabilitas > 0,05, Distribusi adalah normal.

Atau dengan pedoman normalitas yang lain yaitu:

1. Jika Rasio skewness berada diantara -2 sampai dengan +2, maka distribusi data adalah normal.
2. Jika Rasio kurtosis berada diantara -2 sampai dengan +2, maka distribusi data adalah normal.

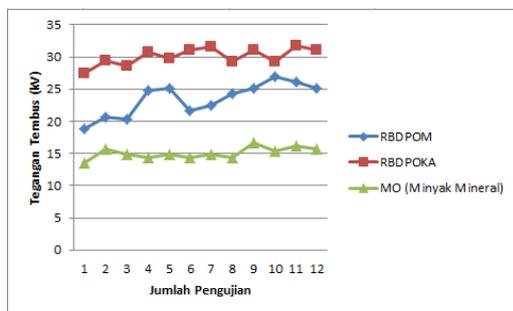
Pada penelitian yang dilakukan oleh penulis, pada tampilan dan penyajian data penulis menyajikannya dengan menggunakan software SPSS versi 17.0.

4. HASIL DAN ANALISA

4.1 Karakteristik Pengujian Tegangan Tembus (Breakdown Voltage).

Karakteristik dari pengujian tegangan tembus dilakukan berdasarkan standar SPLN 49-1:1982 dengan menggunakan elektroda setengah bola (Mushroom). Karakteristik yang diteliti pada eksperimen ini adalah karakteristik terhadap tegangan tembus minyak isolasi, pengaruh jarak sela elektroda setengah bola terhadap tegangan tembus, pengaruh kenaikan variasi suhu pada minyak isolasi terhadap tegangan tembus minyak isolasi serta perbedaan desain atau bentuk elektoda terhadap tegangan tembus.

4.1.1 Karakteristik Pengujian Tegangan Tembus Minyak Isolasi



Gambar 6. Kurva pengujian tegangan tembus minyak isolasi jarak sela 2,5 mm

Dimana:

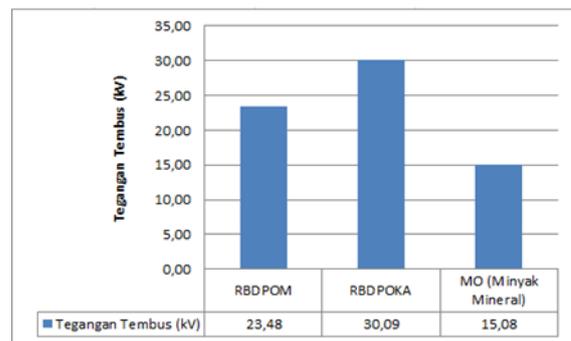
RBDPOM :Minyak RBDPO Olein (sebelum pengurangan kadar air)

RBDPOKA :Minyak RBDPO Olein (setelah pengurangan kadar air)

MO : (Minyak Transformator)

Dari hasil kurva diatas dapat disimpulkan bahwa karakteristik tegangan tembus minyak isolasi yang paling baik adalah RBDPO Olein setelah pengurangan kadar air (RBDPOKA) yaitu dengan rata-rata tegangan tembus 30,09 kV. Selanjutnya diikuti oleh minyak isolasi RBDPO Olein sebelum pengurangan kadar air (RBDPOM) dengan rata-rata tegangan tembus 23,48 kV, kemudian Mineral Oil yang digunakan sebagai pembandingan dengan rata-rata tegangan tembus 15,08 kV.

Untuk lebih menggambarkan hasil tegangan tembus minyak isolasi secara jelas berikut juga penulis sertakan diagram batang yang menunjukkan minyak RBDPOKA memiliki tegangan tembus yang paling tinggi kemudian diikuti oleh minyak RBDPOM dan oleh minyak mineral sebagai pembandingan.



Gambar 7. Diagram pengujian tegangan tembus minyak isolasi jarak sela 2,5 mm

Pada pengujian tegangan tembus sebagaimana data diatas penulis juga menyajikan tampilan data dalam format statistik sebagaimana penjelasan berikut:

Probabilitas data tegangan tembus dengan software SPSS untuk minyak RBDPO Olein sebelum pengurangan kadar air (RBDPOM) dengan jarak sela 2,5 mm.

Tabel 4.1. Tabel statistik minyak RBDPOM jarak sela 2,5 mm dengan software spss.

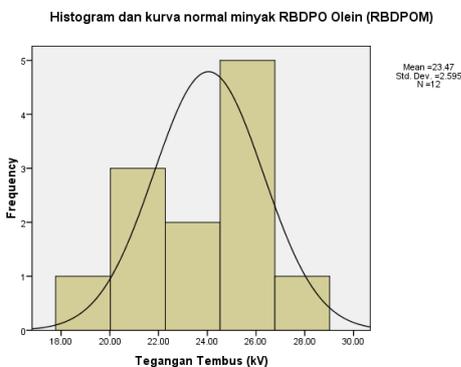
Data Hasil statistik SPSS	
Mean	23,48
Standard Error of Mean	0,75
Median	24,53
Mode	25,2
Standard Deviation	2,59
Variance	6,73
Skewness	-0,49
Standard Error of Skewness	0,637
Kurtosis	-1,08
Standard Error of Kurtosis	1,232
Rasio Skewness	-0,77
Rasio Kurtosis	-0,87

Tabel 4.1 diatas memuat informasi seperti mean, median dan mode pada data distribusi dan nantinya akan berguna dalam penghitungan penentuan rasio skewness dan rasio kurtosis sebagai uji normalitas suatu data penelitian.

Tabel 4.2. Tabel pengujian normalitas data minyak RBDPOM jarak sela 2,5 mm

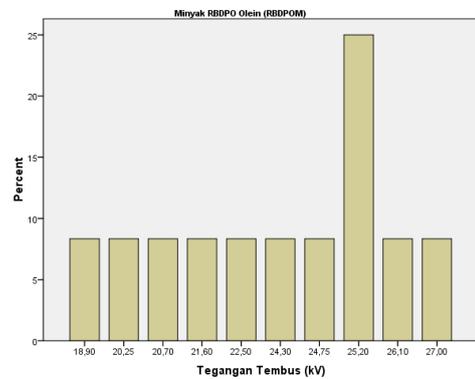
Test of Normality			
	Kolmogorov-Smirnov		
	Statistic	df	Sig.
RBDPOM	0,208	12	0,16

Tabel 4.2 diatas merupakan tabel penunjukan normalitas dari distribusi data penelitian dengan penunjukan sig. 0,160 dimana nilai sig. (signifikan) > 0,05 merupakan distribusi normal.



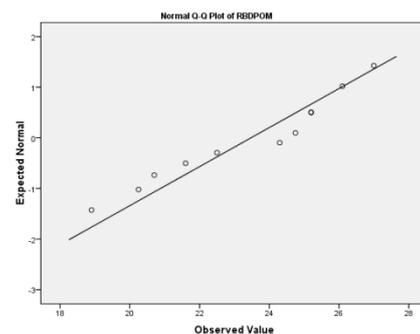
Gambar 8. Histogram statistik dengan kurva normal minyak RBDPOM untuk jarak sela 2,5 mm.

Dari gambar 8 dapat dilihat bahwa grafik tersebut merupakan distribusi data tegangan tembus minyak RBDPO Olein sebelum pengurangan kadar air (RBDPOM) dalam tampilan histrogram dan kurva normal. Dari gambar tersebut dapat dilihat kurva normal yang mulus berbentuk lonceng dengan memenuhi syarat sebagai distribusi normal yaitu dapat dilihat dari tabel 4.1 bahwa nilai rasio skewness -0,77 dan rasio kurtosis -0,87 berada pada -2 sampai dengan +2 dan pada tabel 4.2 pada tabel normalitas didapatkan nilai sig. (signifikansi) adalah 0,160 dan merupakan nilai yang lebih tinggi dari 0,05. Dengan terpenuhinya syarat sebagai distribusi normal maka data tegangan tembus minyak RBDPO Olein sebelum pengurangan kadar air (RBDPOM) dapat disebut terdistribusi normal.



Gambar 9. Grafik persentase probabilitas data tegangan tembus minyak RBDPOM dengan jarak sela 2,5 mm.

Dari gambar 9 dapat dilihat bahwa grafik tersebut merupakan persentase dari data tegangan tembus minyak RBDPO Olein sebelum pengurangan kadar air (RBDPOM), dimana kemunculan data pada penelitian tegangan tembus pada penelitian ini adalah 18,90 kV, 20,25 kV, 20,70 kV, 21,60 kV, 22,50 kV, 24,30 kV, 24,75 kV, 26,10 kV dan 27,00 kV memiliki persentase 8,3% kemudian diikuti oleh data tegangan tembus 25,20 kV dengan persentase kemunculan 25%, sehingga jika diakumulasikan untuk semua data tegangan tembus persentase kemunculan datanya adalah 100%.

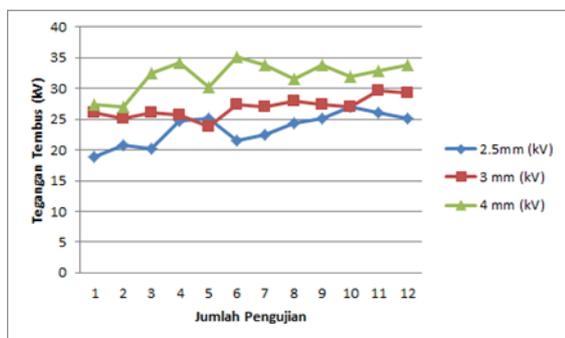


Gambar 10. Normal Q-Q plot pada minyak RBDPOM jarak sela 2,5 mm

Dari gambar 10 dapat dilihat bahwa Q-Q plot pada variabel minyak RBDPOM dengan jarak sela 2,5 mm terlihat ada garis lurus dari kiri ke kanan atas. Garis itu berasal dari nilai Z dimana Jika suatu distribusi data normal maka data akan tersebar di sekeliling garis. Pada penelitian ini dapat dilihat data tersebar di sekeliling garis, maka dapat dikatakan bahwa distribusi adalah normal.

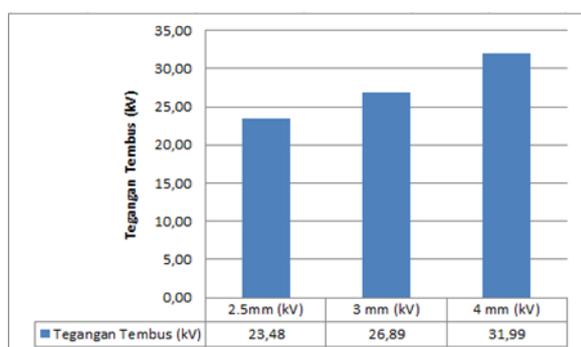
Semua data pada penelitian ini termasuk pada distribusi normal kecuali data pada Tegangan tembus minyak mineral (MO) yang dipanaskan dengan pemanas (*heater*) pada jarak sela elektroda 3 mm merupakan distribusi data yang tidak normal dikarenakan sig. atau signifikannya kurang dari 0,05 (5%) atau disebut juga dengan distribusi juling.

4.1.2 Karakteristik Pengujian Tegangan Tembus Pengaruh Jarak Sela Elektroda Setengah Bola (Mushroom).



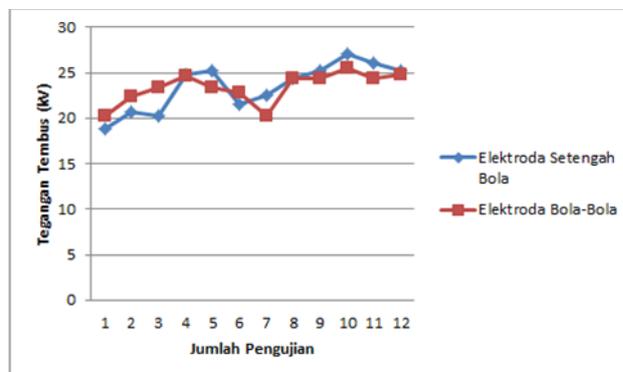
Gambar 11. Kurva pengujian tegangan tembus minyak RBDPOM dengan jarak sela 2,5 mm, 3 mm dan 4 mm.

Dari kurva diatas dapat disimpulkan bahwa pada minyak RBDPO Olein (RBDPOM) sebelum pengurangan kadar air didapatkan nilai tegangan tembus yang akan semakin naik atau besar ketika jarak sela elektroda yang digunakan pada penelitian juga diperbesar. Berikut merupakan diagram batang yang menunjukkan hubungan jarak sela dan tegangan tembus.



Gambar 12. Diagram pengujian tegangan tembus minyak RBDPOM dengan jarak sela 2,5 mm, 3 mm dan 4 mm.

4.1.3 Karakteristik Pengujian Tegangan Tembus dengan Pengaruh Desain atau Bentuk Elektroda.

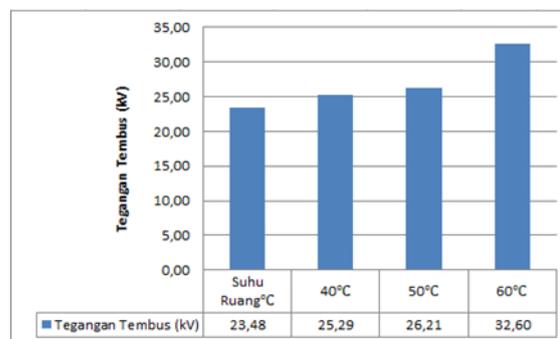


Gambar 13. Kurva pengujian perbandingan tegangan tembus minyak RBDPOM jarak sela 2,5 mm elektroda setengah bola dan Bola-bola.

Dari gambar 13 dapat dilihat dengan nilai tegangan tembus rata-rata elektroda setengah bola 23,48 kV dan nilai tegangan tembus rata-rata elektroda Bola-bola 23,36 kV memiliki nilai tegangan tembus rata-rata yang mendekati sama.

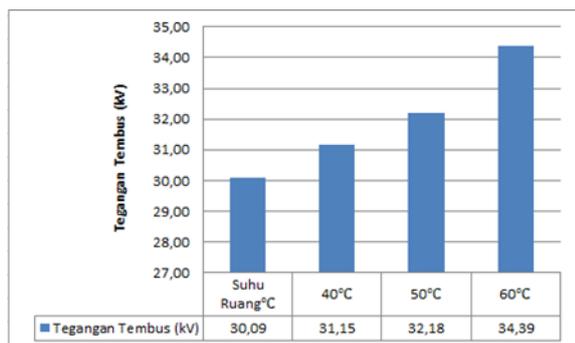
Dari kurva diatas dapat disimpulkan bahwa dengan jarak sela elektroda yg sama tetapi bentuk atau desain elektroda yang berbeda setengah bola dan bola-bola (dengan material elektroda yang sama) didapatkan nilai tegangan tembus yang mendekati sama. dikarenakan dengan material (kuningan) dan desain manual dari pabrikan lokal (dengan bidang permukaan elektroda yang tidak benar sama dan halus) didapatkan selisih nilai tegangan tembus yang seharusnya sama atau sangat mendekati jika elektroda tersebut dibuat di pabrikan yang tersertifikasi.

4.1.4 Karakteristik Pengujian Tegangan Tembus dengan Pengaruh variasi kenaikan suhu minyak isolasi.



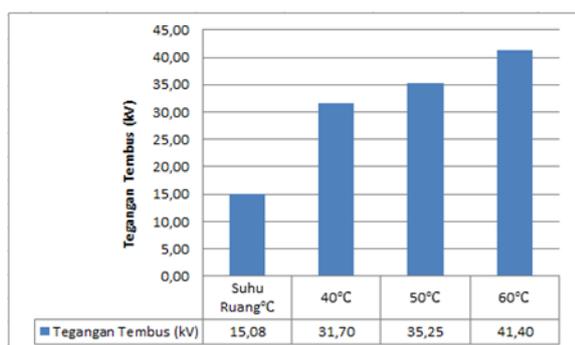
Gambar 14. Kurva pengujian perbandingan tegangan tembus minyak RBDPOM jarak sela 2,5 mm .

Dari gambar 14 diatas merupakan diagram batang yang menunjukkan rata-rata nilai tegangan tembus minyak RBDPO Olein (RBDPOM) sebelum pengurangan kadar air dengan jarak sela 2,5 mm didapatkan hasil nilai tegangan tembus minyak isolasi pada suhu ruang 23,48 kV kemudian diikuti oleh tegangan tembus rata-rata 25,29 kV pada suhu minyak isolasi 40°C dan nilai rata-rata tegangan tembus pada suhu minyak isolasi 50°C 26,21 kV dan nilai tegangan tembus rata-rata yang paling tinggi didapat pada suhu minyak isolasi 60°C yaitu 32,60 kV.



Gambar 15. Kurva pengujian perbandingan tegangan tembus minyak RBDPOKA jarak sela 2,5 mm .

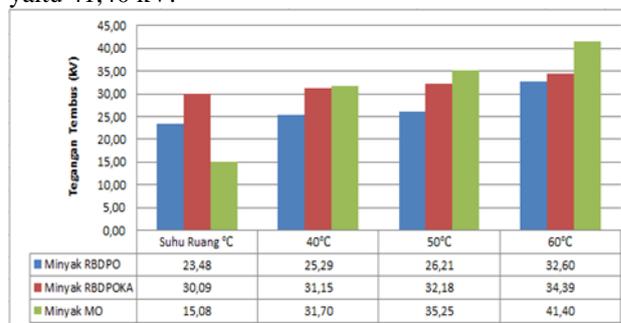
Gambar 15 diatas merupakan diagram batang yang menunjukkan rata-rata nilai tegangan tembus minyak RBDPO Olein (RBDPOKA) setelah pengurangan kadar air dengan jarak sela 2,5 mm didapatkan hasil nilai tegangan tembus minyak isolasi pada suhu ruang 30,09 kV kemudian diikuti oleh tegangan tembus rata-rata 31,15 kV pada suhu minyak isolasi 40°C dan nilai rata-rata tegangan tembus pada suhu minyak isolasi 50°C 32,18 kV dan nilai tegangan tembus rata-rata yang paling tinggi didapat pada suhu minyak isolasi 60°C yaitu 34,39 kV.



Gambar 16. Kurva pengujian perbandingan tegangan tembus minyak Mineral (MO) jarak sela 2,5 mm .

Gambar 16 diatas merupakan diagram batang yang menunjukkan rata-rata nilai tegangan tembus minyak mineral (MO) dengan jarak sela 2,5 mm didapatkan hasil nilai tegangan tembus minyak isolasi pada suhu ruang 15,08 kV kemudian diikuti oleh tegangan tembus rata-rata 31,70 kV pada suhu minyak isolasi 40°C

dan nilai rata-rata tegangan tembus pada suhu minyak isolasi 50°C 35,25 kV dan nilai tegangan tembus rata-rata yang paling tinggi didapat pada suhu minyak isolasi 60°C yaitu 41,40 kV.



Gambar 17. Kurva pengujian perbandingan tegangan tembus minyak RBDPOM, RBDPOKA dan MO pada jarak sela 2,5 mm.

Gambar 17 diatas merupakan diagram batang yang menunjukkan perbandingan rata-rata nilai tegangan tembus minyak RBDPO Olein sebelum dan setelah pengurangan kadar air beserta mineral oil (MO) jarak sela 2,5 mm didapatkan kesimpulan bahwa pada saat mineral oil (MO) diberikan panas (heat) kemudian dilakukan pengujian tegangan tembus dan mendapatkan nilai tegangan tembus yang paling tinggi dibandingkan dengan minyak RBDPO Olein sebelum dan setelah pengurangan kadar air.

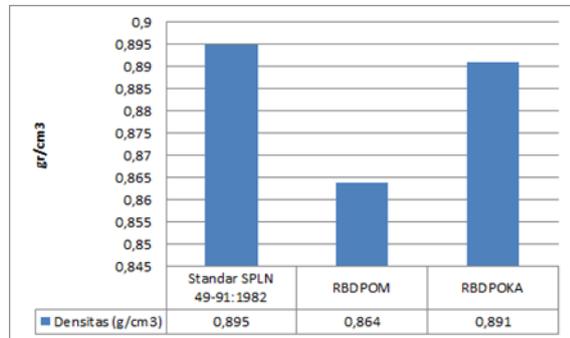
Pada saat pengujian tegangan tembus pada suhu ruang didapatkan nilai rata-rata tegangan tembus minyak RBDPO Olein setelah pengurangan kadar air yang memiliki nilai tegangan yang paling tinggi dibandingkan dengan nilai tegangan tembus minyak RBDPO Olein sebelum pengurangan kadar air dan Mineral Oil (MO). Tetapi ketika minyak isolasi diberikan panas (heat) dengan variasi kenaikan suhu 40°C, 50°C, dan 60°C nilai rata-rata tegangan tembus yang paling tinggi dimiliki oleh minyak isolasi mineral oil (MO). Hal ini sesuai dengan penguapan kadar air yang paling kecil adalah minyak sawit (CPO) dibandingkan dengan minyak transformator, (Ika Novia Angraini, 2015). Sehingga didapatkan nilai tegangan tembus yang paling tinggi ketika minyak isolasi diberikan panas (heat) pada saat pengujian adalah minyak transformator (trafo).

4.2 Pengujian Densitas

Sesuai dengan standar SPLN 49-1:1982 hasil pengujian densitas minyak isolasi adalah $\leq 0,895 \text{ g/cm}^3$. Hasil pengujian minyak RBDPO olein sebelum pengurangan kadar air didapatkan nilai 0,864 g/cm³ dan setelah pengurangan kadar air didapatkan densitasnya 0,891 g/cm³. Melihat hasil yang didapatkan dari penelitian yang telah dilakukan penulis dapat disimpulkan bahwa minyak RBDPO Olein sebelum dan setelah pengurangan kadar air nilai densitas minyaknya sesuai

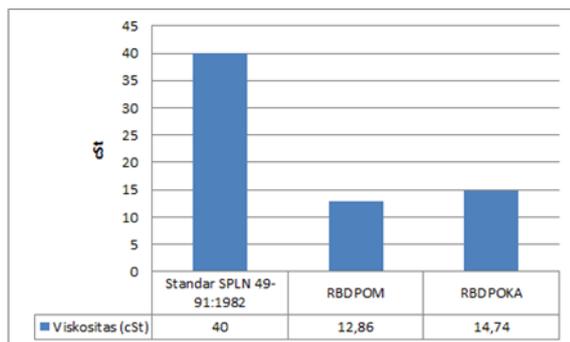
dengan spesifikasi standar SPLN 49-1: 1982 sebagai minyak isolasi cair.

Dibawah ini merupakan diagram batang hasil pengujian densitas pada minyak RBDPO Olein.



Gambar 18. Pengujian densitas minyak isolasi.

4.3 Pengujian Viskositas

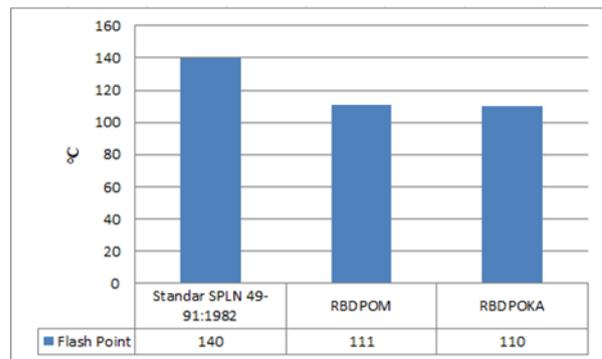


Gambar 19. Pengujian viskositas minyak isolasi.

Sesuai dengan standar SPLN 49-1:1982 hasil pengujian viskositas minyak isolasi adalah ≤ 40 cSt. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan nilai viskositas minyak RBDPO Olein sebelum pengurangan kadar air yaitu 12,86 cSt dan setelah pengurangan kadar air memiliki nilai 14,74 cSt dimana nilai ini sesuai dengan standar SPLN 49-1:1982, sehingga dari pengujian densitas ini maka minyak RBDPO Olein ini dapat masuk kedalam spesifikasi isolasi cair.

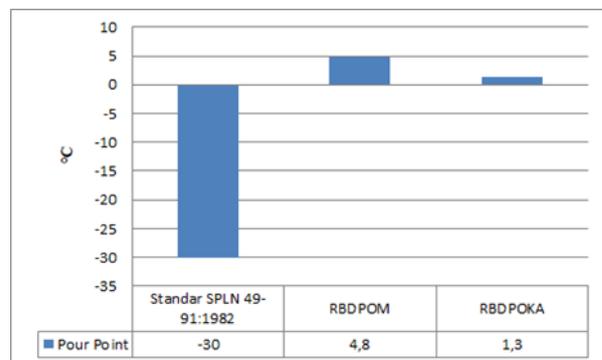
4.4 Pengujian Titik Nyala (Flash Point)

Dari gambar 20 dibawah ini dapat disimpulkan bahwa titik nyala minyak RBDPO Olein sebelum pengurangan kadar air 111°C dan setelah pengurangan kadar air 110°C belum sesuai dengan standar SPLN 49-91:1982 yaitu titik nyala minyak isolasi yaitu ≥ 140 °C. Maka hasil dari titik nyala (flash point) minyak isolasi RBDPO Olein ini belum masuk kedalam spesifikasi minyak isolasi sesuai standar SPLN 49-91:1982.



Gambar 20. Pengujian titik nyala (Flash Point) minyak isolasi.

4.5 Pengujian Titik Tuang (Pour Point)



Gambar 21. Pengujian titik tuang (Pour Point) minyak isolasi

Berdasarkan gambar 21 dapat disimpulkan bahwa titik tuang minyak RBDPO sebelum pengurangan kadar air 4,8°C dan setelah pengurangan kadar air 1,3 °C nilai ini masih sangat jauh dibandingkan dengan titik tuang minyak isolasi berdasarkan standard SPLN 49-91:1982 yaitu ≤ -30 °C. Berdasarkan hasil pengujian titik tuang (Pour Point) minyak isolasi ini belum memenuhi spesifikasi sesuai standar SPLN 49-91:1982.

4.6 Perbandingan hasil penelitian dengan standar spesifikasi minyak isolasi

Tabel dibawah ini merupakan tabel perbandingan hasil pengujian minyak RBDPO Olein sebelum dan setelah pengurangan kadar air terhadap standar SPLN 49-1:1982 untuk spesifikasi isolasi cair. Dari tabel dapat dilihat untuk minyak RBDPO Olein sebelum dan setelah pengurangan kadar air untuk parameter titik tuang dan titik nyala belum dapat memenuhi standar SPLN-49:1982 dikarenakan nilainya yang masih sangat jauh dari standard. Sehingga dapat disimpulkan bahwa minyak RBDPO Olein ini belum dapat dijadikan sebagai alternatif isolasi cair sampai dengan nantinya dilakukan penelitian

terhadap titik tuang dan titik nyala sampai dengan nilai yang masuk pada standar minyak isolasi cair SPLN 49-1:1982 nantinya.

Tabel 4.3. Tabel Perbandingan hasil penelitian terhadap standar minyak isolasi baru.

Jenis Minyak Isolasi	Tegangan Tembus (kV)	Densitas (kg/dm ³)	Viskositas (mm ² /s)	Titik Tuang (°C)	Titik Nyala (°C)	Kejernihan
Minyak RBDPO Olein sebelum pengurangan kadar air (RBDPOM)	23,48	0,864	14,74	4,8	111	
Minyak RBDPO Olein setelah pengurangan kadar air (RBDPOKA)	30,09	0,891	12,86	1,3	110	
Minyak Mineral (standar SPLN 49-1:1982) (sebagai pembanding pada penelitian)	15,08	≤0,895	≤40	≤30	≥140	Jernih, Bebas endapan

Keterangan Gambar:

- Memenuhi Standar
- Tidak Memenuhi Standar

4.7 Komposisi Asam Pada Minyak RBDPO Olein

Tabel 4.4 Tabel Komposisi Asam pada minyak RBDPO Olein.

No	Senyawa Asam	Struktur Asam	Komposisi (% Area)
1	Asam Kaprat (Asam Capric)	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	0,84
2	Asam Palmitate	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	34,91
3	Asam Linoleate	C ₁₇ H ₃₁ COOH	12,73
4	Asam Octadecenoate (Asam Stearate)	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	48,55
5	Asam Petroselinat	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	2,97
Total Senyawa Asam			100

5. KESIMPULAN

Tegangan tembus (Breakdown Voltage) minyak RBDPO Olein lebih tinggi daripada mineral Oil (MO) yang dijadikan sebagai minyak isolasi pembanding.

Semakin besar jarak sela elektroda maka semakin besar pula tegangan tembus minyak isolasi. Dimana jika jarak sela antar elektroda bola semakin besar, maka dibutuhkan energi listrik yang semakin besar pula untuk mencapai terjadinya kegagalan pada minyak isolasi.

Desain elektroda setengah bola (Mushroom) dan bola-bola (Sphere) dengan bahan kuning (tembaga) akan menghasilkan nilai tegangan tembus yang mendekati sama dengan jarak sela yang sama pula. Jika di desain dengan pabrikasi yang tersertifikasi internasional maka akan menghasilkan nilai tegangan tembus yang sama atau yang sangat mendekati.

Dengan adanya proses pengurangan kadar air pada minyak RBDPO Olein maka didapatkan nilai tegangan tembus yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai tegangan tembus minyak RBDPO Olein sebelum pengurangan air serta mineral oil (MO) yang digunakan sebagai pembanding.

Dalam Pengujian minyak isolasi yang diberikan panas (heat) dimana seolah-olah minyak isolasi ini benar-benar dalam kondisi beroperasi didapatkan hasil bahwa nilai tegangan tembus yang meningkat dibandingkan sebelum minyak isolasi diberikan panas (heat) ditunjukkan oleh minyak RBDPO Olein sebelum pengurangan kadar air kemudian diikuti oleh minyak RBDPO Olein setelah pengurangan kadar air dan yang paling tinggi tegangan tembusnya adalah minyak trafo sebagai pembanding yang nilainya signifikan naik jika dibandingkan dengan minyak trafo sebelum diberikan panas (heat).

Minyak RBDPO Olein belum dapat digunakan sebagai alternatif pengganti isolasi cair dikarenakan karakteristik yang dapat dipenuhi pada pengujian ini adalah, tegangan tembus, pengaruh kenaikan suhu terhadap tegangan tembus, tingkat kejernihan minyak, densitas, viskositas, sementara untuk karakteristik titik tuang (pour point), titik nyala (flash point) belum masuk kedalam standar spesifikasi isolasi cair.

DAFTAR PUSTAKA

- Setiawan, Rudi. (2017). “Perancangan Elektroda Bola-Bola dan Pengujian Tegangan Tembus Minyak Isolasi RBDPO Olein”. Universitas Riau.
- Abduh, Syamsir. (2003). “Teori Kegagalan Isolasi”. Universitas Trisakti.
- Arigayota, Abdul Rahman. (2012). “Memantau Kualitas Minyak Trafo”. Teknologi dan Energi Vol.2 No.4: Halaman 392.
- Arismunandar, Artono. (1983). ”Teknik Tegangan Tinggi Suplemen”. Jakarta: Ghalia Indonesia..
- Garniwa, I., & S, J. F. (2011). Analisis Pengaruh Kenaikan Temperatur Dan Umur Minyak Transformator Terhadap Degradasi Tegangan Tembus Minyak Transformator. Jurnal Teknik Elektro, Universitas Indonesia. Depok.
- Febrina, Dewi Cahya. (2016). “Pengaruh Temperatur Terhadap Tegangan Tembus dan Usia Kerja Berbagai Jenis Minyak Transformator di PT.PLN (Persero) P3B JB APP - Surabaya”. Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga Jurusan Elektro. ITS.
- IEEE Std C57.104-2008. “Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers”.
- IEEE Std C57.106-2006. “Guide for Acceptance and Maintenance of Insulating Oil in Equipment”.
- IEC-156. (1995). “Insulating Liquid Determinan of Breakdown Voltage at Power Frequency Tes Method”.
- PT. PLN (Persero), Diktat. (2003). “Panduan Pemeliharaan Transformator”. SPLN.
- Umiami, N. K. (2009). Pengujian Kekuatan Dielektrik Minyak Sawit Dan Minyak Castrol Menggunakan Elektrode Bola-Bola Dengan Variasi Jarak Antar Elektrode Dan Temperatur. Teknik Fisika, Universitas Diponegoro. Semarang.
- Wibowo, W. K., Yuningtyastuti, & Syakur, A. (2008). Analisis Karakteristik breakdown Voltage Pada Dielektrik Minyak Shell Diala B Pada Suhu 30 C - 130 C. Jurnal Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Semarang.
- Jauhari, rifqi. (2017). “Analisis Karakteristik Fisik dan Elektrik untuk Estimasi Umur Minyak Transformator Menggunakan Hukum Arrhenius”. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Setiawan, M, I, G dan Garniwa, Iwa. (2013). “Analisis Kondisi Minyak Transformator Berdasarkan Uji Parameter Utama”. Universitas Indonesia. Depok.
- SPLN 49-1. (1982). “Minyak Isolasi”. Perusahaan Umum Listrik Negara.
- S. S. Sinan. (2014). “Investigation on the AC Breakdown Voltage of RBDPO Olein”. IEEE Innovative Smart Grid Technologies–Asia (ISGT ASIA).
- Tobing, Bonggas L. (2012) “Dasar-Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi Edisi Kedua”. Penerbit Erlangga: Jakarta.
- Tobing, Bonggas L. (2003). “Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi”. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Kamerlisa Putra, Rendy. (2017), “Karakteristik Tegangan Tembus Arus Bolak Balik Pada Minyak Jarak Pagar (*Jatropha Curcas*) Sebagai Alternatif Isolasi Cair”. Universitas Riau.
- Santoso, Singgih. (2017) “Menguasai Statistik dengan SPSS24”. Gramedia . Jakarta.
- Sumanto. (2014) “Statistika Terapan”. Center of Academic Publishing Service. Yogyakarta.