

ANALISIS PERBANDINGAN KARAKTERISTIK DIELEKTRIK PADA MINYAK BEKAS TRANSFORMATOR 20 kV SEBELUM DAN SETELAH PURIFIKASI DENGAN ADSORBEN

Shilvi Herviany^{*)}, Yuningtyastuti, and Abdul Syakur

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia

^{*)}Email : hshilvi@gmail.com

Abstrak

Transformator daya merupakan salah satu peralatan listrik yang mempunyai peran penting dan kritis pada sistem tenaga listrik. Permasalahan terpenting didalam transformator daya adalah isolasi atau dielektrik. Bahan dielektrik yang digunakan berbahan cair yaitu minyak isolasi, berfungsi sebagai media isolasi dan pendingin pada transformator daya. Pemakaian transformator dalam jangka panjang dapat menyebabkan penurunan karakteristik dielektrik, fisik dan kimia minyak transformator. Tiga karakteristik penting dari dielektrik cair yaitu tegangan tembus, permitivitas dan viskositas kinematik. Kualitas dielektrik yang buruk akan menyebabkan kegagalan isolasi yang mengakibatkan tembus listrik (*electrical breakdown*). Untuk itu penulis melakukan perbaikan karakteristik dielektrik minyak transformator dengan mempurifikasi minyak transformator dengan cara mendidihkan (*boiling*), regenerasi dengan menggunakan adsorben bentonit aktif dan penyaringan (*filtering*). Purifikasi dimaksudkan untuk mendapatkan karakteristik dielektrik yang sesuai dengan standar. Hasilnya menunjukkan terjadi peningkatan kualitas minyak berdasarkan parameter dielektrik tegangan tembus, viskositas kinematik dan permitivitas.

Kata kunci : minyak transformator, tegangan tembus, permitivitas relatif, viskositas kinematik, purifikasi

Abstract

Power transformer is one of the high voltage equipment that has an important function on Power System. The most important problems in power transformers is the dielectric or insulation. Dielectric material used is a liquid dielectrics namely oil insulation, has a function as an insulating and cooling. The three most important properties of liquid dielectrics are breakdown voltage, relative permittivity and kinematic viscosity. Poor liquid dielectrics will cause insulating failure, and the resulting electrical breakdown. Therefore, authors make improvements dielectric characteristic of transformer oil by purifying the transformer oil by boiling (*boiling*), regeneration using activated bentonite adsorbent and filtering (*filtering*). Purifying intended to obtain dielectric characteristics in accordance with the standards. The results show an increase in oil quality based on the parameters dielectric breakdown voltage, relative permittivity and kinematic viscosity.

Keywords: oil transformer, breakdown voltage, relative permittivity, kinematic viscosity, purifying

1. Pendahuluan

Transformator daya merupakan salah satu peralatan listrik yang mempunyai peran penting pada sistem tenaga listrik[14]. Didalam transformator daya permasalahan terpenting adalah isolasi atau dielektrik. Bahan dielektrik yang digunakan berbahan cair yaitu minyak isolasi trafo, berfungsi sebagai media isolasi dan pendingin pada transformator daya.

Peningkatan dan penurunan beban transformator menyebabkan suhu minyak akan berubah-ubah. Kenaikan suhu akan menimbulkan gas-gas dan partikel yang akan menyebabkan minyak isolasi trafo mudah untuk

terkontaminasi. Kontaminasi menyebabkan penurunan karakteristik dielektrik diantaranya tegangan tembus, permitivitas, dan viskositas sehingga kualitas akan menurun. Setiap trafo memiliki kualitas minyak isolasi yang berbeda-beda berdasarkan tipe atau merknya. Minyak isolasi yang memiliki kualitas buruk dan tidak memenuhi standar karakteristik dielektrik akan dibuang. Hal tersebut dapat mencemari lingkungan. Maka perlu dilakukan upaya penjernihan minyak isolasi agar dapat dimanfaatkan kembali sebagai isolasi.

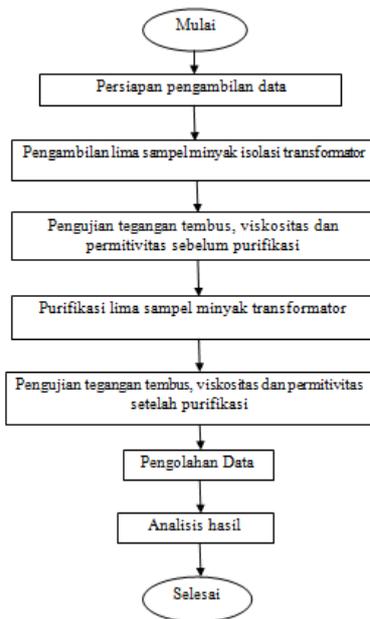
Penelitian ini akan dilakukan penjernihan (purifikasi) pada minyak isolasi bekas trafo 20 kV. Purifikasi ini menggunakan metode *boiling*, *regeneration* dan

filtering[2]. Setelah dipurifikasi maka akan dilakukan perbandingan berdasarkan karakteristik dielektrik setiap minyak trafo.

2. Metode

2.1 Langkah Penelitian

Pada tugas akhir ini terdapat beberapa metode yang di terapkan sebagai dasar metodologi penelitian tugas akhir. Tahapan penelitian dapat di lihat pada gambar 1



Gambar 1 Metode penelitian Penelitian Perbandingan Karakteristik Dielektrik Minyak Bekas Transformator 20 kV Sebelum dan Setelah Purifikasi dengan Adsorben

2.2 Pengambilan Sampel Minyak Isolasi Transformator

Pengambilan sampel minyak bekas transformator yang akan diuji dilakukan di Gudang Area Tanjung Priok, Jakarta, milik PT.PLN Area Tanjung Priok. Tabel 1 adalah data sampel minyaktrafo yang diambil.

Tabel 1 Data Trafo Tenaga

Sampel	Merk	No. Seri	Daya (KVA)	Tahun Dibuat	Tahun Turun
Sampel 1	UNINDO	81471	400	2006	2012
Sampel 2	B&D	20093380	630	2010	2014
Sampel 3	SINTRA	4018046	1000	2005	2014
Sampel 4	TRAFINDO	230833	400	2002	2012
Sampel 5	STARLITE	41040	1000	2004	2012

Berikut merupakan gambar sampel minyak yang diambil :



Gambar 2 Sampel Minyak Isolasi Transformator

Setelah pengambilan sampel minyak selesai selanjutnya dilakukan pengujian sampel minyak trafo di PLN (Persero) Pusat Penelitian dan Pengembangan Ketenagalistrikan, Duren Tiga, Jakarta Selatan.

2.3 Pengujian Minyak Bekas Trafo Sebelum dan Setelah Purifikasi

Pengujian karakteristik dielektrik yang dilakukan meliputi pengujian tegangan tembus, permitivitas relatif dan viskositas dengan masing- masing metode yaitu IEC 156, IEC 247 dan ISO 3104.

2.3.1 Pengujian Tegangan Tembus

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik tegangan tembus minyak transformator sebelum dan sesudah purifikasi terhadap peningkatan suhu pada frekuensi 50 Hz. Pengujian dilakukan sebanyak 3x (tiga kali) setiap 1 sampel minyak transformator yaitu pada suhu 26°C, 40°C dan 70°C. Peralatan dan bahan pengujian diantaranya meliputi :

1. Alat uji *DPA 75 C Breakdown Oil Measurement*^[20]



Gambar 3 Alat uji tegangan tembus (*DPA 75C Oil Breakdown Measurement*)

2. *Gelas Beaker*
Pada pengukuran tegangan tembus digunakan gelas beker 500 ml.
3. *Termometer*
Digunakan untuk mengukur temperatur minyak dengan skala satuan °C. Skala ukur yang terdapat pada termometer adalah -20°C sampai 110°C.
4. *Pemanas (Oven)*
Oven digunakan untuk memanaskan sampel minyak dan digunakan sebagai pengering gelas-gelas ukur.
5. *Sampel Minyak Bekas Trafo*

Sampel yang diuji ada 5 sampel minyak isolasi trafo. Sampel disimpan ditempatertutup agar terhindar dari debu, kotoran dan sinar matahari.

6. Sarung Tangan Karet
Sebagai pelindung tangan untuk mengangkat minyak bekas trafo yang dipanaskan.
7. Masker
Masker berfungsi untuk menghindari terhirupnya bahan kimia yang beracun.

Dengan alat dan bahan diatas maka dilakukan langkah-langkah pengujian tegangan tembus sebagai berikut :

1. Mempersiapkan alat dan bahan
2. Memilih *test standard* IEC 156 pada alat DPA
3. Memanaskan minyak trafo sebanyak 500 ml ke dalam oven untuk suhu 26°C, 40°C dan 70°C^[17,18,20].
4. Menyiapkan kotak uji dan atur jarak sela elektroda 2.5 mm
5. Menuangkan \pm 300 ml minyak trafo yang telah dipanaskan, ke kotak uji sampai elektroda terendam minyak, kemudian hilangkan gelembung minyak trafo.
6. Letakkan kotak uji ke dalam alat uji tegangan tembus DPA 75 C dan tutup kotak uji dan kunci *protective cover*.
7. Menekan tombol "start" dan masukkan nomor sampel pada opsi penomoran yang muncul di layar, kemudian tekan 'enter.'
8. Menunggu pengujian yang dilakukan sebanyak 6 kali selama 20 menit, kemudian hasil data akan muncul berupa *printout*.

2.3.2 Pengujian Permittivitas Relatif

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik permittivitas relatif minyak transformator sebelum dan sesudah purifikasi terhadap peningkatan suhu pada frekuensi 50 Hz. Pengujian dilakukan sebanyak 3x (tiga kali) setiap 1 sampel minyak transformator yaitu pada suhu 26°C, 40°C dan 80°C. Peralatan dan bahan pengujian sama dengan yang digunakan pada pengujian tegangan tembus, namun alat uji yang digunakan berbeda. Pada pengujian ini menggunakan alat uji DTL seperti ditunjukkan pada gambar 4 berikut ini :



Gambar 4 Alat uji permittivitas relatif (*DTL measuring system*)

Langkah- langkah pengujian permittivitas relatif minyak bekas trafo sebagai berikut :

1. Mempersiapkan alat dan bahan

2. Memilih *test standard* IEC 247 dengan memilih *code* 01.
3. Memanaskan minyak sebanyak 45 ml ke dalam oven dengan suhu 26°C, 40°C dan 80°C^[17,18,20].
4. Menuangkan 15 ml minyak yang telah dipanaskan, ke sel uji MC2A secara pelan dan terus-menerus kurang lebih setinggi 1 cm.
5. Menekan tombol *drainage valve* sampai sel uji MC2A kosong. dan penuh kembali sel uji MC2A. Ulangi hal tersebut sebanyak 3x.
6. Setelah keempat kalinya, sel uji MC2A terisi sampel minyak setinggi 1 cm.
7. Menutup *protective cover* sampai berbunyi klik. dan menekan tombol *Enter* atau *Start* kemudian tunggu kira-kira 15 sampai 20 menit hingga hasil pengukuran muncul berupa *printout*.

2.3.3 Pengujian Viskositas Kinematik

Pengujian dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik viskositas kinematik terhadap peningkatan suhu minyak transformator sebelum dan sesudah purifikasi. Metode yang digunakan dalam pengujian menggunakan pipa kapiler viskometer. Peralatan dan bahan pengujian sama dengan yang digunakan pada pengujian tegangan tembus, namun alat uji yang digunakan berbeda. Pada pengujian ini menggunakan alat uji Setavis Viskometer seperti ditunjukkan pada gambar 6 berikut ini :



Gambar 5 Alat uji viskositas kinematik *Setavis Viskometer*

Pengujian viskositas kinematik minyak bekas trafo dijelaskan dengan langkah pengujian sebagai berikut :

1. Mempersiapkan alat dan bahan.
2. Memilih *test standard* ISO 3104.
3. Memanaskan minyak trafo sebanyak 20 ml ke dalam oven pada suhu 20°C, 40°C dan 80°C^[17,19,20].
4. Bersihkan pipa viskometer menggunakan cairan hexane yang dimasukkan dengan mikropipet
5. Memasukkan 4-5 ml minyak trafo yang telah dipanaskan dengan mikropipet. Kemudian atur nomor sampel minyak pada alat viskometer.
6. Tekan tombol *start* saat minyak trafo berada pada garis awal pada pipa kapiler viskometer dan tekan tombol *stop* saat minyak berada pada garis akhir pada pipa kapiler viskometer.
7. Catat data hasil pengujian yang keluar pada layar LCD alat viskometer.

2.4 Purifikasi Minyak Bekas Trafo

Metode yang digunakan untuk penjernihan (purifikasi) minyak bekas trafo meliputi *boiling*, *regeneration*, dan *filtering*. Dalam setiap proses purifikasi, setiap sampel minyak dipanaskan, ditambahkan bentonit aktif dan disaring dengan kertas saring. Peralatan dan bahan yang digunakan untuk purifikasi terdiri-dari :

1. Bentonit Aktif, persentase bentonit sebanyak 3% dari berat minyak trafo.
2. Termometer
3. Magic com 1 liter
4. Gelas 10 buah
5. Corong minyak
6. Kertas saring
7. Sarung tangan

Dengan alat dan bahan diatas maka langkah-langkah purifikasi minyak bekas trafo sebagai berikut :

1. Memanaskan minyak trafo sebanyak 1 liter pada magic com sampai suhu mencapai 100°C.
2. Masukkan bentonit aktif sebanyak 30 gram pada minyak trafo kemudian aduk selama 30 menit.
3. Diamkan minyak yang telah diangkat selama 30 menit hingga adsorben mengendap.
4. Saring minyak trafo dengan kertas saring untuk memisahkan endapan dan minyak trafo.

3. Hasil dan Analisa

3.1 Hasil Pengujian Tegangan Tembus dan Perhitungan Kekuatan Dielektrik

A. Sebelum Purifikasi

Tabel 3.1 yang merupakan data hasil pengujian tegangan tembus minyak trafo sebelum purifikasi terhadap variasi suhu.

Tabel 2 Tegangan tembus rata-rata sampel sebelum purifikasi

Suhu (°C)	Tegangan Tembus (kV)				
	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Sampel 4	Sampel 5
26	10,3	16,7	15,7	19,3	19,4
40	29,5	28,6	30	28,9	20,1
70	42	35,8	39,7	49,8	29

Dari hasil nilai rata-rata tegangan tembus pada Tabel 2 maka dapat dihitung nilai kekuatan dielektrik :

$$E = \frac{V_b}{d} \text{ (kV/mm)}$$

- Perhitungan kekuatan dielektrik minyak trafo sampel 1 suhu 26°C

$$E(\text{rata - rata}) = \frac{V_{b(\text{rata-rata})}}{d}$$

$$E(\text{rata - rata}) = \frac{10,3 \text{ kV}}{2,5 \text{ mm}}$$

$$= 4,12 \text{ kV/mm}$$

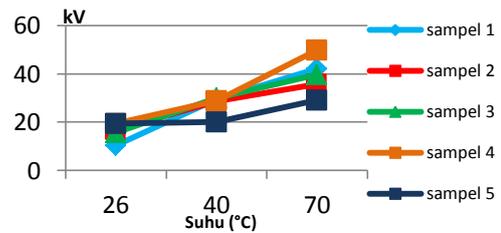
Dengan cara yang sama hasil perhitungan kekuatan dielektrik rata-rata minyak bekas trafo sampel 1 sampai

sampel 5 dengan suhu 26°C, 40°C dan 70°C dapat dilihat pada tabel berikut :

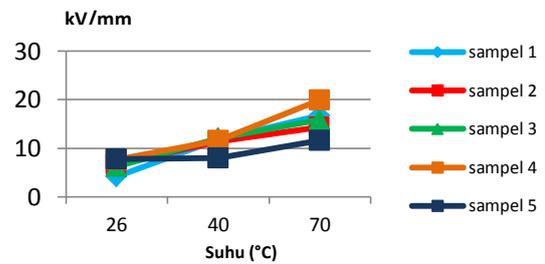
Tabel 3 Kekuatan dielektrik rata-rata sampel sebelum purifikasi

Suhu (°C)	Kekuatan Dielektrik (kV/mm)				
	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Sampel 4	Sampel 5
26	4,12	6,68	6,28	7,72	7,76
40	11,8	11,44	12	11,56	8,04
70	16,8	14,32	15,88	19,92	11,6

Dari Tabel 2 dan 3 maka dapat dibuat kurva karakteristik tegangan tembus dan kekuatan dielektrik terhadap suhu.



Gambar 6 Kurva tegangan tembus terhadap suhu



Gambar 7 Kurva kekuatan dielektrik terhadap suhu

Berdasarkan Gambar 6 dapat dilihat bahwa karakteristik tegangan tembus minyak bekas trafo sampel 1, sampel 2, sampel 3, sampel 4 dan sampel 5 semakin meningkat seiring dengan naiknya suhu pada minyak trafo. Pada sampel 1, sampel 2, sampel 4 dan sampel 5 dengan kondisi suhu 26°C dan 40°C, sampel 3 pada kondisi suhu 26°C dan sampel 5 pada kondisi suhu 70°C nilai tegangan tembusnya belum memenuhi batasan standar operasi IEC 156 yang digunakan PLN yaitu >30kV/2.5 mm untuk minyak isolasi transformator golongan C^[17]. Sampel 4 mengalami kenaikan yang signifikan dibandingkan sampel 5, karena sampel 5 memiliki kualitas minyak transformator yang lebih buruk.

Kenaikan tegangan tembus terhadap perubahan suhu berpengaruh terhadap ketahanan isolasi atau kekuatan dielektrik pada saat tegangan diterapkan, seperti pada Gambar 7 menunjukkan kurva karakteristik kekuatan dielektrik minyak trafo meningkat seiring dengan kenaikan suhunya. Hal ini disebabkan faktor kontaminasi dan ketidakmurnian zat, contohnya seperti adanya bola

cair dari jenis cairan yang lain (air) sehingga pada saat terjadi pemanasan minyak trafo maka akan terjadi penguapan pada bola cair tersebut. Ketidakhayuan dalam minyak trafo menyebabkan kondisi yang tidak stabil dalam medan listrik dan merupakan jembatan konduktif diantara elektroda yang dapat menyebabkan kegagalan^[6]. Penguapan bola cair dalam minyak trafo membuat minyak trafo menjadi lebih stabil yang menyebabkan kekuatan dielektrik meningkat.

B. Setelah Purifikasi

Tabel 4 yang merupakan data hasil pengujian tegangan tembus minyak trafo setelah purifikasi terhadap variasi suhu.

Tabel 4 Tegangan tembus rata-rata sampel setelah purifikasi

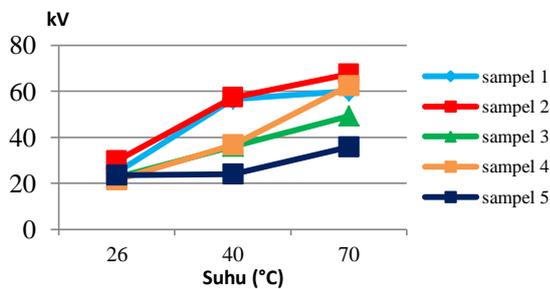
Suhu (°C)	Tegangan Tembus (kV)				
	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Sampel 4	Sampel 5
26	24,6	29,8	22,6	21,3	23,4
40	56,6	57,3	36,1	36,7	24
70	60,1	67,4	49,2	62,3	35,8

Dari hasil nilai rata-rata tegangan tembus maka dapat dihitung nilai kekuatan dielektrik pada tabel 5 :

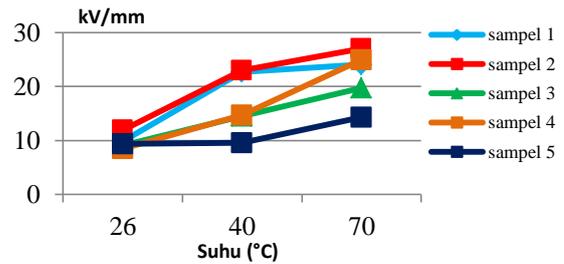
Tabel 5 Kekuatan dielektrik rata-rata sampel setelah purifikasi

Suhu (°C)	Kekuatan Dielektrik (kV/mm)				
	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Sampel 4	Sampel 5
26	9,84	11,92	9,04	8,52	9,36
40	22,64	22,92	14,44	14,68	9,6
70	24,04	26,96	19,68	24,92	14,32

Dari Tabel 4 dan 5 maka dapat dibuat kurva karakteristik tegangan tembus dan kekuatan dielektrik minyak bekas trafo terhadap suhu setelah purifikasi.



Gambar 8 Kurva tegangan tembus terhadap suhu



Gambar 9 Kurva kekuatan dielektrik terhadap suhu

Berdasarkan Gambar 8 dapat dilihat bahwa pada sampel 1, sampel 2, sampel 3, sampel 4 dan sampel 5 pada kondisi suhu 26°C dan sampel 5 pada kondisi suhu 40°C nilai tegangan tembus rata-ratanya belum memenuhi batasan standar operasi IEC 156 yang digunakan PLN yaitu > 30 kV/2.5 mm untuk minyak isolasi transformator golongan C^[17]. Namun pada sampel 2 pada suhu 26°C hasil tegangan tembus rata-ratanya hampir memenuhi batasan standar operasi yaitu sebesar 29,8 kV. Tegangan tembus rata-rata tertinggi terdapat pada sampel 2 yaitu sebesar 67,4 kV dengan nilai kekuatan dielektrik rata-rata sebesar 26,96 kV.

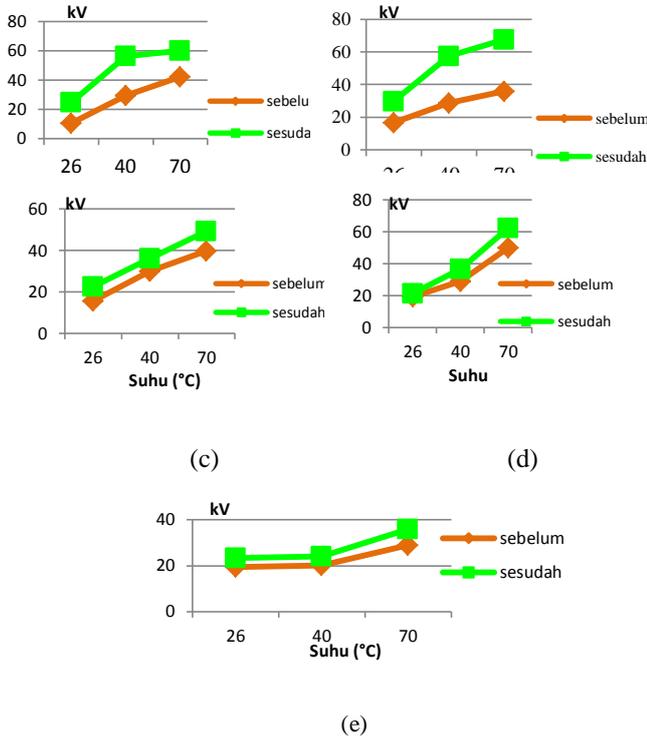
Kenaikan tegangan tembus terhadap perubahan suhu berpengaruh terhadap kekuatan dielektrik pada saat tegangan diterapkan, seperti pada Gambar 9 menunjukkan kurva karakteristik kekuatan dielektrik minyak trafo meningkat seiring dengan kenaikan suhunya. Hal ini disebabkan faktor kontaminasi dan ketidakhayuan zat, contohnya seperti adanya bola cair dari jenis cairan yang lain (air) sehingga pada saat terjadi pemanasan minyak transformator maka akan terjadi penguapan pada bola cair tersebut. Ketidakhayuan dalam minyak trafo menyebabkan kondisi yang tidak stabil dalam medan listrik dan merupakan jembatan konduktif diantara elektroda yang dapat menyebabkan kegagalan^[6]. Penguapan bola cair dalam minyak trafo membuat minyak trafo menjadi lebih stabil yang menyebabkan kekuatan dielektrik meningkat.

C. Rekapitulasi dan Analisa Hasil Pengujian Sebelum dan Sesudah Purifikasi

Tabel 6 Hasil tegangan tembus rata-rata sebelum dan setelah purifikasi

Suhu	Pengujian	Tegangan Tembus (kV)				
		sampel 1	sampel 2	sampel 3	sampel 4	sampel 5
26°C	sebelum	10,3	16,7	15,7	19,3	19,4
	setelah	24,6	29,8	22,6	21,3	23,4
40°C	sebelum	29,5	28,6	30	28,9	20,1
	setelah	56,6	57,3	36,1	36,7	24
70°C	sebelum	42	35,8	39,7	49,8	29
	setelah	60,1	67,4	49,2	62,3	35,8

Berdasarkan Tabel 6 diatas didapat kurva yang menyatakan perbandingan karakteristik tegangan tembus terhadap suhu.



Gambar 10 Perbandingan karakteristik tegangan tembus minyak bekas trafo sebelum dan setelah purifikasi (a) Sampel 1, (b) Sampel 2, (c) Sampel 3, (d) Sampel 4, (e) Sampel 5

Gambar 10a, 10b, 10c, 10d dan 10e terjadi kenaikan hasil tegangan tembus minyak bekas trafo pada masing-masing kondisi suhu 26°C , 40°C dan 70°C setelah mengalami purifikasi. Tegangan tembus tertinggi terjadi pada sampel 2 pada suhu 70°C dari kondisi sebelum purifikasi sebesar 35,8 kV hingga setelah purifikasi sebesar 67,4 kV. Pada kelima sampel yang telah dipurifikasi kondisi suhu 26°C belum memenuhi standar operasi minyak bekas trafo yang ditetapkan PLN yaitu > 30 kV/2.5mm^[17]. Sampel 2 dan sampel 4 pada suhu 40°C dan 70°C memiliki tegangan tembus tertinggi yaitu sebesar 67,4 kV dan 62,3 kV sehingga layak untuk digunakan kembali sebagai minyak isolasi trafo.

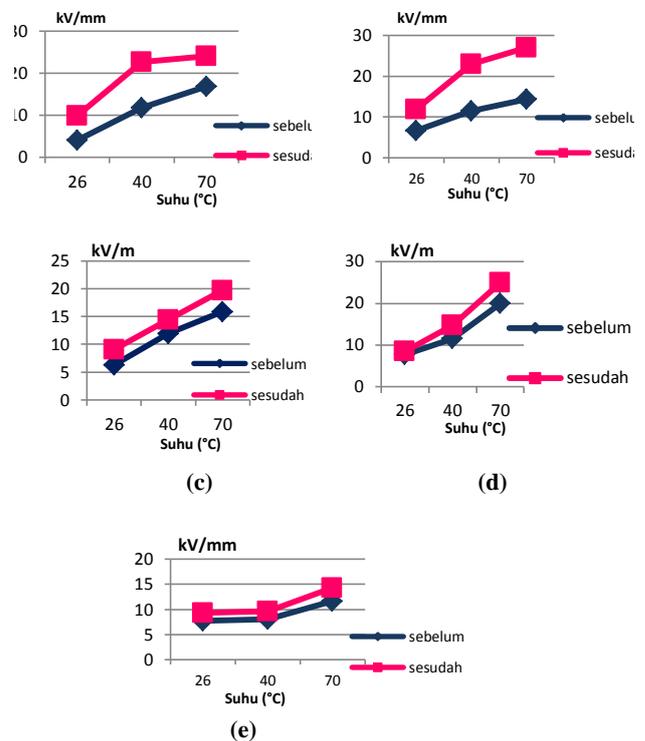
Peningkatan nilai tegangan tembus dikarenakan berkurangnya kontaminasi padat dan zat cair yang terdapat pada minyak bekas trafo setelah dilakukan purifikasi. Purifikasi dilakukan dengan metode pemanasan sehingga bola cair yang ada pada minyak bekas transformator menguap, setelah itu dilakukan regenerasi dengan adsorben bentonit aktif yang menyerap kontaminan padat yang terdapat pada minyak bekas trafo. Faktor kontaminasi dan ketidakmurnian zat pada minyak transformator mempengaruhi nilai tegangan tembusnya^[6]. Ketidakmurnian dalam minyak trafo menyebabkan

kondisi yang tidak stabil dalam medan listrik dan merupakan jembatan konduktif diantara elektroda yang dapat menyebabkan kegagalan. Analisa perbandingan hasil perhitungan kekuatan dielektrik rata-rata minyak bekas transformator sebelum dan sesudah purifikasi ditunjukkan pada Tabel 7 berikut ini :

Tabel 7 Data Trafo Tenaga

Suhu	Pengujian	Kekuatan Dielektrik (kV/mm)				
		sampel 1	sampel 2	sampel 3	sampel 4	sampel 5
26°C	sebelum	4,12	6,68	6,28	7,72	7,76
	setelah	9,84	11,92	9,04	8,52	9,36
40°C	sebelum	11,8	11,44	12	11,56	8,04
	setelah	22,64	22,92	14,44	14,68	9,6
70°C	sebelum	16,8	14,32	15,88	19,92	11,6
	setelah	24,04	26,96	19,68	24,92	14,32

Berdasarkan Tabel 7 didapat kurva yang menyatakan perbandingan perhitungan kekuatan dielektrik rata-rata.



Gambar 11 Kurva Perbandingan kekuatan dielektrik sebelum dan setelah purifikasi terhadap variasi suhu pada (a) Sampel 1, (b) Sampel 2, (c) Sampel 3, (d) Sampel 4 dan (e) Sampel 5

Gambar 11a, 11b, 11c, 11d dan 11e menunjukkan kenaikan nilai kekuatan dielektrik sampel 1 sampai sampel 5 minyak bekas transformator setelah dilakukan purifikasi pada setiap kondisi suhu. Pengaruh kontaminan dan ketidakmurnian zat cair mempengaruhi nilai tegangan tembusnya^[6]. Kekuatan dielektrik berbanding lurus dengan nilai tegangan tembus sehingga apabila terjadi

kenaikan pada nilai tegangan tembus maka kekuatan dielektrik atau ketahanan isolasi akan meningkat.

3.2 Hasil Pengujian dan Perhitungan Permittivitas Relatif

A. Sebelum Purifikasi

Pada pengujian permittivitas relatif sebelum purifikasi, setiap sampel diuji sebanyak tiga kali yaitu pada kondisi suhu minyak bekas transformator 26°C, 40°C dan 80°C. Hasil *printout* yang keluar dari alat DTL diantaranya adalah data $\tan \delta$, resistivitas dan permittivitas relatif. Data $\tan \delta$ dan resistivitas digunakan untuk menentukan nilai permittivitas relatif menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\tan \delta = \frac{1}{\epsilon \cdot \rho \cdot \omega}$$

$$\epsilon = \frac{1}{\tan \delta \cdot \rho \cdot \omega}$$

$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$,
 $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}$, maka

$$\epsilon_0 \cdot \epsilon_r = \frac{1}{\tan \delta \cdot \rho \cdot \omega}$$

- Maka pada sampel 1 kondisi suhu 26°C nilai permittivitas relatif hitungnya adalah

$$\epsilon_0 \cdot \epsilon_r = \frac{1}{\tan \delta \cdot \rho \cdot \omega}$$

$$(8,85 \times 10^{-12}) \cdot \epsilon_r = \frac{1}{0,00518 \cdot 1,49 \times 10^{11} \cdot 2\pi f}$$

$$(8,85 \times 10^{-12}) \cdot \epsilon_r = \frac{1}{0,00518 \cdot 1,49 \times 10^{11} \cdot 2\pi \cdot 50}$$

$$\epsilon_r = 2,2657$$

Dengan cara yang sama diperoleh hasil perhitungan permittivitas relatif sehingga dapat dibuat tabel perbandingan hasil perhitungan dan pengujian permittivitas relatif pada minyak bekas trafo sebelum di purifikasi sampel 1 sampai sampel 5 dengan suhu 26°C, 40°C dan 80°C.

Tabel 8 Hasil permittivitas uji dan hitung sampel sebelum purifikasi

sampel	permittivitas relatif uji			permittivitas relatif hitung			Error (%)		
	26°C	40°C	80°C	26°C	40°C	80°C	26°C	40°C	80°C
sampel 1	2,25	2,25	2,25	2,26	2,263	2,29	0,5	0,65	2,0
sampel 2	2,25	2,24	2,24	2,205	2,25	2,21	2,05	0,5	1,5
sampel 3	2,25	2,25	2,26	2,22	2,223	2,272	1,5	1,3	0,6
sampel 4	2,26	2,26	2,26	2,22	2,225	2,223	2	1,8	1,8
sampel 5	2,37	2,37	2,37	2,33	2,34	2,345	2	1,5	1,25

Tabel diatas menunjukkan nilai permittivitas uji dan hitung sampel setelah purifikasi. Terlihat bahwa hasil pengujian dan perhitungan terdapat perbedaan kecil yaitu sebesar 0,01 – 0,3 sehingga eror yang didapat < 5% . Pada sampel 5 sebelum purifikasi hasil uji masih belum memenuhi range standar yaitu 2,2-2,3.

B. Setelah Purifikasi

Pada pengujian permittivitas relatif setelah purifikasi sama dengan pengujian permittivitas relatif sebelum purifikasi. setiap sampel diuji sebanyak tiga kali yaitu pada kondisi suhu minyak transformator 26°C, 40°C dan 80°C. Dengan menggunakan perhitungan yang sama seperti sebelum purifikasi Maka setelah itu didapat tabel hasil uji dan hasil hitung permittivitas relatif berikut ini :

Tabel 9 Hasil permittivitas uji dan hitung sampel setelah purifikasi

sampel	permittivitas relatif uji			permittivitas relatif hitung			Error (%)		
	26°C	40°C	80°C	26°C	40°C	80°C	26°C	40°C	80°C
sampel 1	2,25	2,24	2,24	2,269	2,27	2,265	0,95	1,0	0,75
sampel 2	2,24	2,24	2,24	2,23	2,37	2,241	1,0	0,55	1,5
sampel 3	2,25	2,25	2,25	2,259	2,261	2,264	0,46	0,55	0,85
sampel 4	2,25	2,25	2,25	2,243	2,245	2,224	0,85	0,75	0,9
sampel 5	2,37	2,36	2,34	2,36	2,358	2,358	0,5	0,6	1,1

Tabel 9 diatas menunjukkan nilai permittivitas uji dan hitung sampel setelah purifikasi. Terlihat bahwa hasil pengujian dan perhitungan terdapat perbedaan kecil yaitu sebesar 0,01 – 0,3. Pada sampel 5 hasilnya masih belum memenuhi range standar yaitu 2,2-2,3.

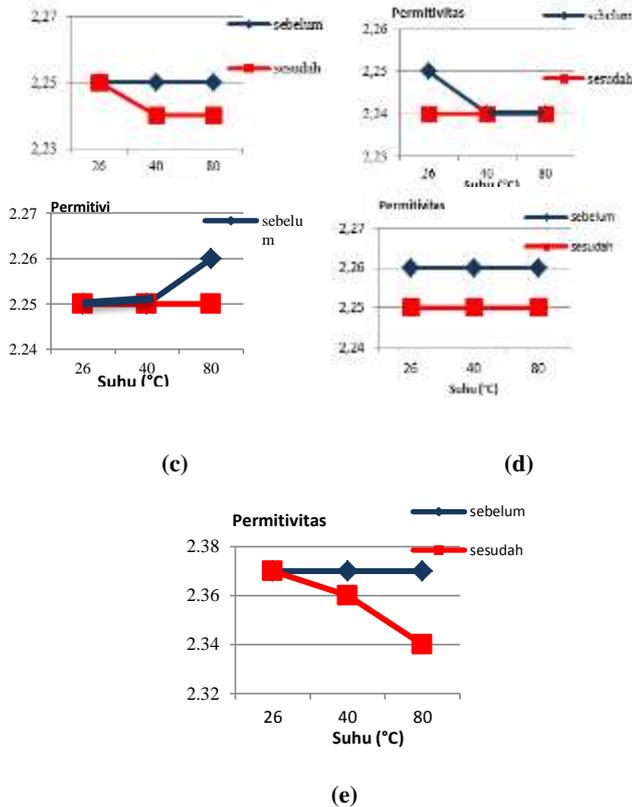
C. Rekapitulasi dan Analisa Hasil Sebelum dan Sesudah Purifikasi

Setelah dilakukan pengujian dan purifikasi maka dilakukan analisa perbandingan hasil pengujian permittivitas relatif pada pengujian sebelum dan setelah purifikasi, seperti ditunjukkan pada Tabel 10 berikut ini.

Tabel 10 Perbandingan hasil pengujian permittivitas relatif pada pengujian sebelum dan setelah purifikasi

Pengujian Permittivitas	sampel	sampel	sampel	sampel	sampel	
						1
suhu 26°C	sebelum	2,25	2,25	2,25	2,26	2,37
	sesudah	2,25	2,24	2,25	2,25	2,37
suhu 40°C	sebelum	2,25	2,24	2,25	2,26	2,37
	sesudah	2,24	2,24	2,25	2,25	2,36
suhu 80°C	sebelum	2,25	2,24	2,26	2,26	2,37
	sesudah	2,24	2,24	2,25	2,25	2,34

Berdasarkan Tabel 10 didapat kurva yang menyatakan perbandingan karakteristik permittivitas relatif minyak bekas trafo sampel 1 sampai sampel 5 sebelum dan sesudah purifikasi bentonit aktif sebagai berikut :



Gambar 12 Kurva perbandingan permitivitas relatif minyak bekas trafo sebelum dan setelah purifikasi (a) Sampel 1, (b) Sampel 2, (c) Sampel 3, (d) Sampel 4, (e) Sampel 5

Terlihat pada Gambar 12a, 12b, 12c, 12d dan 12e hasil perbandingan permitivitas relatif minyak bekas transformator sebelum dan setelah purifikasi masing-masing suhu cenderung mengalami perubahan yang kecil, yaitu penurunan antara 0,1-0,03. Hal tersebut disebabkan karena nilai permitivitas minyak bekas transformator semakin baik akibat adanya penyerapan kontaminan padat dan bola cair pada minyak setelah dilakukan purifikasi. Pada standar yang digunakan PLN nilai permitivitas relatif yang disyaratkan adalah 2,2 - 2,3. Pada sampel 1, sampel 2, sampel 3 dan sampel 4 setelah purifikasi berdasarkan karakteristik permitivitas relatifnya layak digunakan sebagai minyak isolasi transformator kembali karena nilainya berada pada range 2,2-2,3 namun pada sampel 5 hasil permitivitas relatif minyak bekas transformator sebelum dan setelah purifikasi diatas 2,3. Hal ini dikarenakan kualitas minyak bekas transformator sampel 5 sudah buruk dan terdapat banyak kontaminan.

3.3 Hasil Pengujian dan Perhitungan Viskositas Kinematik Minyak bekas Trafo

A. Sebelum Purifikasi

Pada pengujian viskositas kinematik sebelum purifikasi menggunakan metode uji ISO 3104, setiap sampel diuji sebanyak tiga kali yaitu pada kondisi suhu minyak bekas transformator 20°C, 40°C dan 80°C. Hasil waktu yang keluar dari LCD alat viskometer dikalikan

dengan konstanta viskometer yaitu 0,3. Berikut adalah perhitungan hasil viskositas kinematik minyak bekas transformator sebelum purifikasi :

- Perhitungan viskositas kinematik minyak transformator sebelum purifikasi pada suhu 20°C

$$\eta = \frac{\pi \cdot P \cdot R^4 t}{8VL}$$

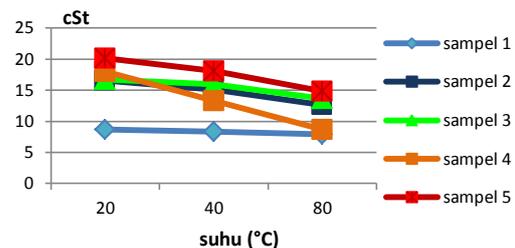
$$\eta = \frac{3,14 \cdot 100 \cdot (3)^4 \cdot 9,78}{8 \cdot 12 \cdot 300} = 8,64 \text{ cSt}$$

Dengan cara yang sama diperoleh hasil perhitungan viskositas kinematik sehingga dapat dibuat tabel pengujian viskositas kinematik minyak bekas transformator sampel 1 sampai sampel 5 dengan kondisi suhu 20°C, 40°C dan 80°C.

Tabel 11 Hasil pengujian viskositas kinematik sebelum purifikasi

Pengujian	viskositas kinematik (cSt)		
	Suhu 20°C	Suhu 40°C	Suhu 80°C
sampel 1	8,64	8,33	7,92
sampel 2	16,57	15,12	12,60
sampel 3	16,72	15,96	13,62
sampel 4	18,0	13,27	8,72
sampel 5	20,18	18,10	14,81

Berdasarkan Tabel 11 diatas didapat kurva yang menyatakan perbandingan karakteristik viskositas kinematik masing-masing sampel minyak trafo terhadap pengaruh dari perbedaan suhu sebelum purifikasi.



Gambar 13 Kurva perbandingan viskositas kinematik terhadap suhu

Gambar 13 menunjukkan bahwa terjadi penurunan viskositas kinematik minyak bekas trafo terhadap kenaikan temperatur. Kenaikan temperatur menjadikan minyak trafo berkurang tingkat kekentalannya dan memiliki viskositas kinematik yang lebih rendah, sehingga dalam kenaikan temperatur minyak trafo akan bergerak atau mengalir lebih cepat. Zat cair seperti minyak trafo akan lebih cepat mengalir pada temperatur yang lebih tinggi dapat dijelaskan dalam teori yang menyatakan “dalam benda yang panas, molekul- molekul bergerak lebih cepat dibanding dengan molekul-molekul dalam benda yang lebih dingin”^[15].

Penurunan viskositas kinematik minyak trafo menandakan bahwa, minyak trafo lebih cepat bersirkulasi pada kenaikan suhu. Proses sirkulasi minyak transformator bertujuan untuk mendispasikan panas atau pendinginan. Jika panas tidak terdispasi maka kenaikan temperatur dapat merusak minyak trafo.

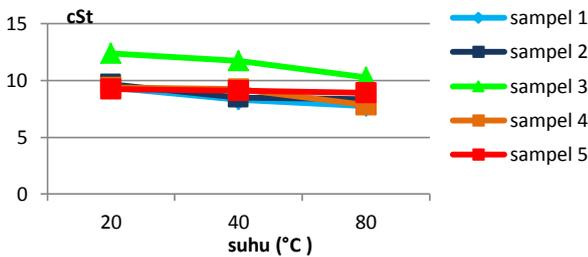
B. Setelah Purifikasi

Setelah minyak transformator di purifikasi, selanjutnya dilakukan pengujian kembali viskositas kinematik minyak transformator. Metode pengujian viskositas kinematik setelah purifikasi sama dengan metode pengujian sebelum purifikasi. Berikut tabel hasil perhitungannya :

Tabel 12 Hasil pengujian viskositas kinematik setelah purifikasi

Pengujian	Viskositas Kinematik (cSt)		
	Suhu 20°C	Suhu 40°C	Suhu 80°C
sampel 1	9,36	8,30	7,72
sampel 2	9,63	8,48	8,33
sampel 3	12,34	11,71	10,24
sampel 4	9,38	9,22	7,84
sampel 5	9,21	9,09	8,90

Berdasarkan Tabel 12 diatas didapat kurva yang menyatakan perbandingan karakteristik viskositas kinematik masing-masing sampel minyak bekas trafo terhadap pengaruh perbedaan suhu setelah purifikasi.



Gambar 14 Kurva perbandingan viskositas kinematik terhadap suhu

Gambar 14 menunjukkan bahwa terjadi penurunan viskositas kinematik minyak transformator terhadap kenaikan temperatur. Kenaikan temperatur menjadikan minyak transformator berkurang tingkat kekentalannya dan memiliki viskositas kinematik yang lebih rendah, sehingga dalam kenaikan temperatur minyak transformator akan bergerak atau mengalir lebih cepat. Zat cair seperti minyak transformator akan lebih cepat mengalir pada temperatur yang lebih tinggi dapat dijelaskan dalam teori yang menyatakan “ dalam benda yang panas, molekul- molekul bergerak lebih cepat dibanding dengan molekul-molekul dalam benda yang lebih dingin” [15].

Penurunan viskositas kinematik minyak transformator menandakan bahwa, minyak transformator lebih cepat bersirkulasi pada kenaikan suhu. Proses sirkulasi minyak transformator bertujuan untuk mendispasikan panas atau pendinginan. Jika panas tidak terdispasi maka kenaikan temperatur dapat merusak minyak transformator.

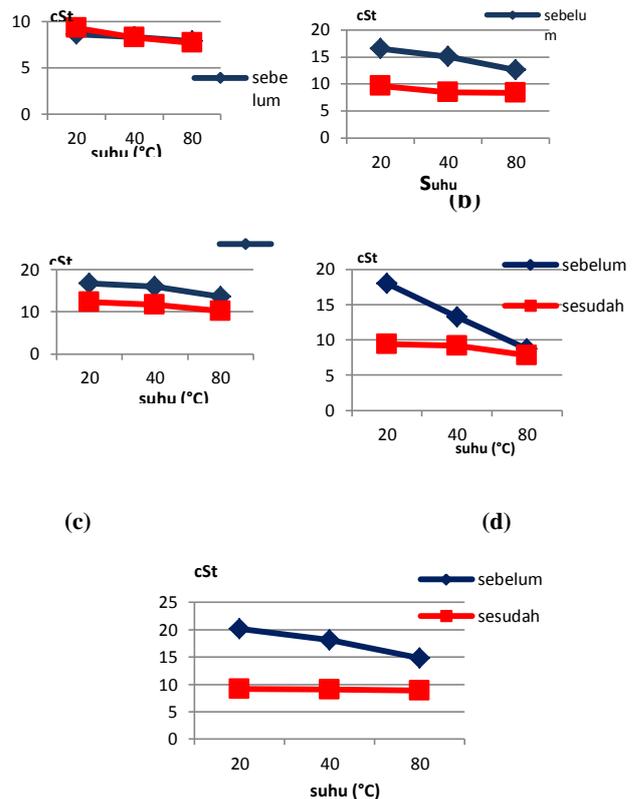
C. Rekapitulasi dan Analisa Hasil Sebelum dan Sesudah Purifikasi

Setelah dilakukan pengujian dan purifikasi pada minyak bekas trafo maka dilakukan analisa perbandingan hasil pengujian viskositas kinematik pada pengujian sebelum dan pengujian setelah purifikasi ditunjukkan pada tabel berikut ini.

Tabel 13 Perbandingan hasil pengujian viskositas kinematik pada pengujian sebelum dan setelah purifikasi

suhu	Pengujian	Viskositas Kinematik (cSt)				
		sampel 1	sampel 2	sampel 3	sampel 4	sampel 5
20°C	sebelum	8,64	16,57	16,72	18,0	20,18
	setelah	9,36	9,63	12,34	9,38	9,21
40°C	sebelum	8,33	15,12	15,96	13,27	18,10
	setelah	8,30	8,48	11,71	9,22	9,09
80°C	sebelum	7,92	12,60	13,62	8,72	14,81
	setelah	7,72	8,33	10,24	7,84	8,90

Berdasarkan Tabel 13 diatas didapat kurva yang menyatakan perbandingan karakteristik viskositas kinematik berikut ini.



(e)

Gambar 15 Kurva perbandingan viskositas kinematik minyak bekas trafo sebelum dan setelah purifikasi (a) Sampel 1, (b) Sampel 2, (c) Sampel 3, (d) Sampel 4, (e) Sampel 5

Pada Gambar 15a, 15b, 15c, 15d dan 15e hasil perbandingan viskositas kinematik minyak bekas trafo cenderung mengalami penurunan setelah dilakukan purifikasi. Namun pada sampel 1 dengan kondisi suhu 20 °C mengalami kenaikan dengan viskositas kinematik sebelum purifikasi sebesar 8,64 cSt tetapi setelah di purifikasi sebesar 9,36 cSt, hal tersebut karena faktor ketidakstabilan suhu saat awal pengujian. Penurunan tertinggi terdapat pada sampel 5 minyak bekas transformator pada suhu 20 °C dengan nilai viskositas kinematik sebelum purifikasi sebesar 20,18 cSt dan setelah purifikasi mengalami penurunan sebesar 9,21 cSt. Hal tersebut karena faktor kontaminan yang terdapat dalam minyak bekas trafo berkurang setelah dilakukan purifikasi. Kontaminan mempengaruhi tingkat kekentalan dari minyak bekas trafo sehingga apabila pada kontaminan pada zat cair tinggi maka viskositas kinematiknya akan tinggi. Nilai viskositas kinematik pada kelima sampel minyak bekas trafo tersebut telah memenuhi standar SPLN 49-1-1982 yaitu < 40 cSt pada 20 °C^[5]. Dengan demikian kelima sampel minyak bekas trafo ditinjau dari segi karakteristik viskositas kinematiknya layak digunakan kembali sebagai minyak isolasi transformator.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada tugas akhir ini, dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan pengujian tegangan tembus yang dilakukan, temperatur memberi pengaruh terhadap nilai tegangan tembus minyak trafo. Peningkatan temperatur 26°C hingga 70°C menyebabkan naiknya nilai tegangan tembus. Kenaikan nilai tegangan tembus rata-rata tertinggi terdapat pada sampel 4 dari 21,3 kV menjadi 62,3 kV.
2. Tegangan tembus minyak bekas trafo meningkat setelah dilakukan purifikasi. Tegangan tembus tertinggi yang dicapai terdapat pada sampel 2 pada suhu 70°C dari 35,8 kV menjadi 67,4 kV dan pada suhu 40°C dari 28,6 kV menjadi 57,3 kV.
3. Nilai permitivitas relatif pada semua sampel minyak bekas trafo kondisi sebelum dan setelah purifikasi mengalami penurunan 0-0,03. Nilai permitivitas pada sampel 1, sampel 2, sampel 3, dan sampel 4 berada pada range 2,2-2,3 dan telah sesuai dengan standar PLN.
4. Peningkatan temperatur memberi pengaruh terhadap nilai viskositas kinematik minyak bekas trafo. Pada temperatur 20°C hingga 80°C mengakibatkan viskositas kinematik sampel 4 menurun dari 18,0 cSt menjadi 8,72 cSt.

5. Ditinjau dari karakteristik tegangan tembus, permitivitas relatif dan viskositas kinematik pada kelima sampel minyak bekas trafo yang telah dipurifikasi, sampel yang layak untuk digunakan kembali sebagai minyak isolasi trafo berturut-turut adalah sampel 4, sampel 2, sampel 3 dan sampel 1 karena memenuhi standar PLN.

Referensi

- [1] Loai Nasrat, Mervat S. Hassan. *Effect of Bentonite on the Properties of Liquid Insulating Oil*. International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering Vol:6, No:8, 2012
- [2] Loai Nasrat, Mohamed Abdelwahab, Gamal Ismail. 2011. "Improvement of Used Transformer Oils with Activated Bentonite" published by Engineering, Vol.3 No.6
- [3] Mohammad R. Meshkatoddini. *Aging Studi and Lifetime Estimation of Transformer Mineral Oil*. American J. Of Engineering and Applied Sciences 1 (4): 384-388, 2008
- [4] Sitanggang, Mancon. 2009. *Studi perkiraan umur Transformator Distribusi Dengan Metode Tingkat Tahunan*, Tugas Akhir 2009-USU, Sumatera Utara
- [5] Tobing, Bonggas L., *Peralatan Tegangan Tinggi*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2003
- [6] Martono, Andi., *Analisis Karakteristik Dielektrik Minyak Hidrolik*. Tugas Akhir 2013-Undip, Semarang
- [7] Salam, Abdul M., A Hussein., El-Morshedy. Ahdab, and R. Radwan., *High Voltage Engineering: Theory and Practice*, Marcel Dekker, Inc., 2000
- [8] Manjang, S., Utina, A., *Analisa ketidakmurnian Minyak Trafo Terhadap Kekuatan Isolasinya Pada Berbagai Kondisi Penuaan*, Makalah seminar Nasional Ketenagalistrikan 2005-Semarang
- [9] Tobing, Bonggas L., *Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2003
- [10] Wahyu Kunto, W., *Analisis Karakteristik Breakdown Voltage pada Dielektrik Minyak Shell Diala B pada suhu 30°C- 130°C* Tugas Akhir 2008-Undip, Semarang.
- [11] A. Aris Munandar "Teknik Tegangan Tinggi Suplemen" Ghalia Indonesia
- [12] Panggabean, Samuel. 2008. *Pengaruh Perubahan Suhu Terhadap Kekuatan Dielektrik Berbagai Minyak Isolasi Transformator (Gulf, Nynas, Shell Dialla B, dan Total)*. skripsi, Medan : Universitas Sumatera Utara
- [13] Panjaitan, Rumintang. 2010. *Kajian Penggunaan Bentonit dalam industri*. Majalah Berita Litbang Industri Volume XLV, No.3 November 2010
- [14] Akbar Chandra M, Dimas Anton Asfani, I.G.N Satriyadi. 2014. "Diagnosis Transformator Daya Menggunakan Metode Indeks Kesehatan Transformator", Vol.1 No.1
- [15] Naidu, M.S., and Kamaraju, V., *High Voltage Engineering*, McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi, 1982.
- [16] SPLN 49-1:1982. "Pedoman Penerapan Spesifikasi dan Pemeliharaan
- [17] IEC 60156, *Insulating liquids- Determination of breakdown voltage at power frequency- Test methods*, 1995
- [18] Junichi, Wada. Genyo, Ueta. and Shigemitsu Okabe, "Influence of Trace Components Contained in Transformer Insulating Oil on Various Characteristics Over Time", IEEE Trans. Dielectr. Electr. Isul., Vol. 20, No. 4, 2013.

- [19] M-L Coulibaly. C. Perrier. M. Marguran and A. Beroual
“*Aging Behaviour of Cellulosic Materials in Presence of Mineral Oil and Ester Liquids Under Various Condition*”
, IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., Vol. 20, No. 6, 2013.
- [20] *Datasheet Oil Breakdown Measurement Tester System*
DPA, BAUR Pruef- und Messtechnik GmbH,
Raiffeisenstrasse, Austria, 2000.