

# PERBAIKAN PARAMETER DIELEKTRIK (TEGANGAN TEMBUS, TAN $\delta$ , RESISTIVITAS DAN WATER CONTENT) MINYAK ISOLASI TRANSFORMATOR DENGAN METODE PURIFIKASI (BOILING) PADA SUHU 26°C-100°C

Arga Mahardika<sup>\*)</sup>, Bambang Winardi, and Abdul Syakur  
Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudharto, SH Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

<sup>\*)</sup>E-mail : [arga944@gmail.com](mailto:arga944@gmail.com)

## Abstrak

Minyak transformator berfungsi sebagai media isolasi dan media pendingin untuk transformator. Permasalahan terpenting didalam transformator daya adalah isolasi atau dielektrik. Bahan dielektrik yang digunakan berwujud cair yaitu minyak isolasi. Pemakaian transformator dalam jangka panjang dapat menyebabkan penurunan parameter dielektrik, fisik dan kimia transformator. Pemakaian transformator dalam jangka panjang dapat menyebabkan penurunan karakteristik dielektrik, fisik dan kimia minyak transformator. Minyak isolasi transformator memiliki berbagai macam karakteristik minyak diantaranya adalah tegangan tembus, faktor rugi-rugi dielektrik( $\tan \delta$ ), resistivitas dan kandungan air. Kualitas dielektrik yang buruk akan menyebabkan kegagalan isolasi yang mengakibatkan tembus listrik sehingga minyak transformator tidak dapat digunakan kembali. Untuk itu penulis melakukan perbaikan parameter dielektrik terhadap empat sampel minyak bekas dari transformator 1 fasa (50 kV) dengan cara mendidihkan (*boiling*) pada suhu 26°C sampai 100°C. Purifikasi dimaksudkan untuk mendapatkan parameter dielektrik yang sesuai standar. Hasilnya menunjukkan terjadi peningkatan kualitas minyak berdasarkan parameter dielektrik tegangan tembus, faktor rugi-rugi dielektrik ( $\tan \delta$ ), resistivitas dan kandungan air dengan nilai tertinggi secara berturut-turut pada sampel 1, sampel 2, sampel 3 dan sampel 4.

*Kata kunci : isolasi cair, parameter dielektrik, minyak transformator, purifikasi(boiling)*

## Abstract

Transformer oil acts as an insulating and cooling medium for the transformer. The most important problem in power transformers is the dielectric or insulating. Dielectric material used is a liquid dielectric namely oil insulation. The use of transformers in the long term can lead to a decrease in dielectric parameters, physical and chemical transformer. Oil transformer has a wide range of oil characteristics including breakdown voltage,  $\tan \delta$ , resistivity and water content. Poor liquid dielectric will cause insulating failure, and resulting electrical breakdown. Therefore, authors make improvement to dielectric parameters of four transformer oil 1 phase (50kV) by boiling at temperature 26°C to 100°C. Purifying intended to obtain dielectric parameters in accordance with the standards. The results show an increase in oil quality based on the parameters dielectric breakdown voltage, water content,  $\tan \delta$ , and resistivity with the highest value in sequence on the sample 1, sample 2, sample 3 and sample 4.

*Keyword : liquid insulating, dielectric parameter, oil transformer, purifying(boiling)*

## 1. Pendahuluan

Transformator merupakan salah satu peralatan penting yang digunakan dalam penyaluran tenaga listrik. Dibandingkan dengan komponen lainnya, transformator hanya memerlukan sedikit pemeliharaan karena tidak mempunyai komponen yang bergerak. Di dalam transformator daya terdapat minyak isolasi yang berfungsi sebagai media pendingin dan media isolasi [1]. Akibat pengaruh naik turunnya beban transformator maupun pengaruh suhu udara luar, maka suhu minyak akan berubah-ubah mengikuti keadaan tersebut. Kenaikan suhu

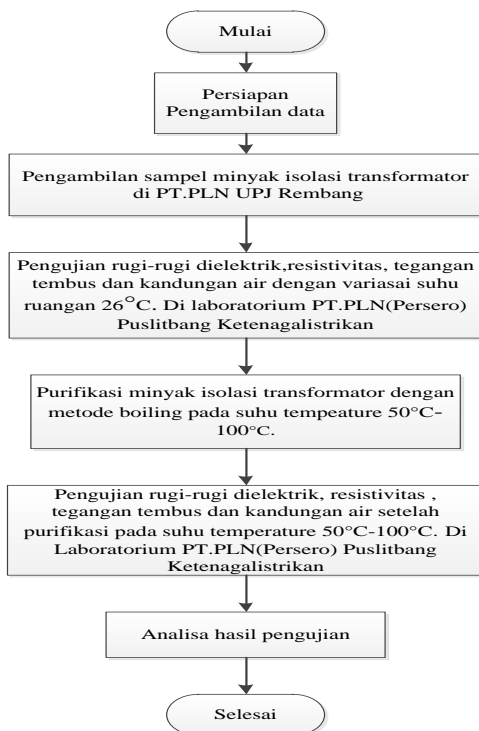
tersebut akan menimbulkan gas-gas dalam minyak, yang akan mempengaruhi kualitas minyak sebagai media isolasi[2]. Faktor paling penting dalam minyak isolasi adalah kekuatan dielektrik, konduktivitas, kandungan gas,  $\tan \delta$ , kandungan air dan resistivitas[1]. Pemakaian transformator dalam jangka panjang dapat menyebabkan penurunan karakteristik dielektrik, fisik dan kimia minyak, selain itu juga menyebabkan timbulnya gas-gas terlarut yang berada dalam minyak isolasi, serta penurunan kualitas minyak isolasi. Maka dari itu perlu adanya pemeriksaan kualitas minyak dalam transformator agar kualitas dalam penyaluran tenaga listrik dapat terjaga[3].

Kandungan air dalam minyak isolasi transformator adalah salah masalah terbesar di minyak isolasi. Air dapat meningkatkan konduktivitas listrik,  $\tan \delta$  dan menurunkan kekuatan dielektrik minyak isolasi. [1]. Salah satu upaya untuk memperbaiki kualitas minyak trafo adalah dengan cara purifikasi minyak trafo yaitu dengan metode *boiling*. Pada cara ini minyak transformator dipanasi hingga titik didih air pada alat heater yang disebut penggodokan minyak. Air yang terkandung didalam minyak akan menguap. Cara ini dianggap sebagai cara yang paling sederhana dalam perbaikan transformator. Dengan cara ini bahan-bahan pencemar padat, misalnya : fiber,jelaga akan tetap tinggal didalam minyak. Apabila pemanasan tersebut mendekati titik penguapan, minyak akan menyebabkan umur berkurang. Namun hal ini dapat diatasi dengan cara memanaskan minyak di tempat pakem, sehingga air akan menguap pada suhu yang relatif rendah. Namun demikian pencemar selain air akan tetap tinggal di dalam minyak. Penelitian ini akan dilakukan untuk memperbaiki kualitas minyak trafo dengan cara purifikasi (*boiling*) pada minyak trafo 50kV. Setelah dipurifikasi akan dilakukan analisa pada setiap sampel dan parameter 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. Diagram Alir Penelitian

### 2.2 Pengambilan Sampel Minyak Isolasi

Pengambilan minyak isolasi transformator yang akan diuji dilakukan di Gudang area Rembang milik PT.PLN UPJ Rembang. Tabel 2.1 adalah data sampel minyak trafo yang diambil.

Tabel 1. Data Trafo Tenaga

Sampel	Merk	Daya (kV)	Tahun Pembuatan	Tahun Turun
1	UNINDO	50	2006	10 tahun
2	TRAFINDO	50	2001	15 tahun
3	SINTRA	50	2014	2 tahun
4	B&D	50	2002	14 tahun

Berikut merupakan gambar sampel minyak yang di ambil:



Gambar 2. Sampel Minyak isolasi transformator

### 2.3 Pengujian Minyak Isolasi Transformator Sebelum dan setelah Purifikasi

Pengujian karakteristik dielektrik yang dilakukan meliputi pengujian tegangan tembus, kandungan air,  $\tan \delta$ , resistivitas dan warna dengan masing- masing metode yaitu IEC 60156, IEC 60814 dan IEC 60247.

#### 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 dua kali setiap satu sampel minyak transformator yaitu pada suhu 26°C, 50°C, 75°C dan 100°C dengan menggunakan metode pengujian IEC 60156[4]. Peralatan dan bahan pengujian diantaranya meliputi :

1. Alat uji DPA 75 C Breakdown Oil Measurement



Gambar 3. Alat Uji Tegangan Tembus[4]

2. Gelas *Beaker* 400ml
3. Termometer
4. Pemanas /*Heater*

5. Empat Sampel minyak trafo

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

1. Mempersiapkan alat dan bahan yang meliputi alat DPA, gelas ukur, termometer, heater atau pemanas, sampel minyak isolasi trafo, sarung tangan karet dan masker
2. Memilih *test standard* IEC 156 dengan pada alat DPA.
3. Siapkan kotak uji, atur jarak sela menjadi 2,5 mm
4. Bilas elektroda uji dengan sampel yang akan diuji hingga bersih.
5. Memanaskan minyak sebanyak 300 ml dengan heater mencapai suhu 50°C.
6. Menuangkan minyak yang telah dipanaskan, ke tempat kotak uji secara pelan dan terus-menerus hingga elektroda terendam.
7. Letakkan kotak uji dalam alat uji tegangan tembus dan tutup kotak uji, kunci *protective cover*.
8. Menekan tombol *start* dan menunggu kira-kira 15 sampai 20 menit.
9. Hasil pengujian akan muncul pada *display* dan otomatis tercetak oleh printer.
10. Mengulangi langkah 5 sampai 8 dengan variasi suhu 75°C, 100°C dan suhu mula-mula minyak yaitu 26°C.

### 2.3.2 Pengujian Kandungan Air

Pengujian dimaksudkan untuk mengetahui jumlah kandungan air terhadap peningkatan suhu minyak transformator sebelum dan sesudah purifikasi. Alat yang digunakan adalah *Aquamax KF Coulometric* dengan standar metode IEC 60814[5]. Pengujian kandungan air dilakukan sebanyak dua kali setiap satu sampel minyak transformator yaitu pada suhu 26°C, 50°C, 75°C dan 100°C. Peralatan dan bahan pengujian diantaranya meliputi :

1. Alat uji *Aquamax KF Coulometric*



Gambar 4. Alat uji Kandungan air

2. Syringe
3. Iodine
4. Pemanas (heater)
5. Sampel minyak trafo

Langkah pengujian kandungan air sebagai berikut :

1. Mempersiapkan alat dan bahan yang meliputi alat *Aquamax Coulometric*, gelas ukur, termometer, heater atau pemanas, sampel minyak isolasi trafo, sarung tangan karet dan masker
2. Memilih *test standard* IEC 814 dengan pada alat *Aquamax*.
3. Memanaskan minyak sebanyak 50 ml ke dalam heater sampai suhu 50°C.
4. Membilas *syringe* dengan sample minyak.
5. Mengambil minyak dari sampel ke dalam *syringe* dan hilangkan gelembung udaranya.
6. Menekan tombol *start* pada alat *Aquamax* dan masukkan *syringe* ke dalam tabung *aquamax reagent*.
7. Hasil pengujian akan muncul pada *display* dan otomatis tercetak oleh printer.
8. Mengulangi langkah 3 sampai 10 dengan variasi suhu 75°C, 100°C dan suhu mula-mula minyak yaitu 26°C.

### 2.3.3 Pengujian tan $\delta$

Pengujian tan  $\delta$  menggunakan alat Baur DTL dengan standar metode IEC 60247[6]. Pengujian tan  $\delta$  dilakukan sebanyak 4 kali setiap satu sampel minyak transformator yaitu pada suhu 26°C, 50°C, 75°C dan 100°C. Peralatan dan bahan pengujian diantaranya meliputi :

1. Alat uji *DTL measuring system*



Gambar 5. Alat uji Tan  $\delta$

2. Gelas *Beaker*
3. Termometer
4. Pemanas (*Heater*)
5. Sampel Minyak Trafo

Langkah Pengujian tan  $\delta$  sebagai berikut :

1. Mempersiapkan alat dan bahan yang meliputi DTL, gelas ukur, termometer, oven atau pemanas, sampel minyak isolasi trafo, sarung tangan karet dan masker
2. Memilih *test standard* IEC 247 dengan memilih *code* 01 pada DTL.
3. Memanaskan minyak sebanyak 45 ml ke dalam oven mencapai suhu 50°C.
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.
6. Memenuhi kembali sel uji MC2A dan menekan *drainage valve* secara berulang sampai 4 kali.

7. Setelah keempat kalinya, sel uji MC2A terisi sampel minyak setinggi 1 cm.
8. Menutup dan mengunci protective cover sampai berbunyi klik.
9. Menekan tombol *enter* dan menunggu kira-kira 15 sampai 20 menit.
10. Hasil pengujian akan muncul pada *display* dan otomatis tercetak oleh printer.
11. Mengulangi langkah 3 sampai 10 dengan variasi suhu 50°C,75°C,100°C dan suhu mula-mula minyak yaitu 26°C.

### 2.3.4 Pengujian Resistivitas

Pengujian resistivitas sama dengan pengujian  $\tan \delta$  dengan menggunakan alat Baur DTL dengan standar metode IEC 60247, karena keluaran printout dari matrix printer menampilkan data resistivitas dan  $\tan \delta$ . Pengujian resistivitas dilakukan sebanyak empat kali setiap satu sampel minyak transformator yaitu pada suhu 26°C, 50°C,75°C dan 100°C Waktu pengujian resistivitas ini dilakukan bersamaan dengan pengujian  $\tan \delta$ . Langkah dan alat pengujian resistivitas sama dengan langkah pengujian  $\tan \delta$ .

### 2.4 Purifikasi

Purifikasi pada penelitian ini menggunakan metode *boiling*, Dalam setiap proses purifikasi, setiap sampel minyak dipanaskan (*boiling*).Selanjutnya kembali melakukan pengujian dan pengambilan data dengan mengukur faktor rugi-rugi dielektrik ( $\tan \delta$ ), resistivitas, tegangan tembus dan kandungan air setelah proses purifikasi.Sesuai dengan IEC 60422 temperature minyak transformator harus kurang dari 135°C. Untuk itu pada penelitian ini minyak dipanaskan hingga titik didih air yaitu  $\pm 100^\circ\text{C}$  menggunakan heater pemanas. Air yang ada dalam minyak akan menguap karena titik didih minyak lebih tinggi daripada titik didih air. Metode ini adalah metode paling sederhana.Pada pengujian ini minyak isolasi transformator setiap sampel dipanaskan menggunakan *heater* dengan temperature suhu 50°C hingga 100°C. Dengan perubahan nilai pada setiap sampel transformator. Sehingga dapat diketahui parameter pada masing-masing sampel minyak transformator.

## 3. Hasil dan Analisa

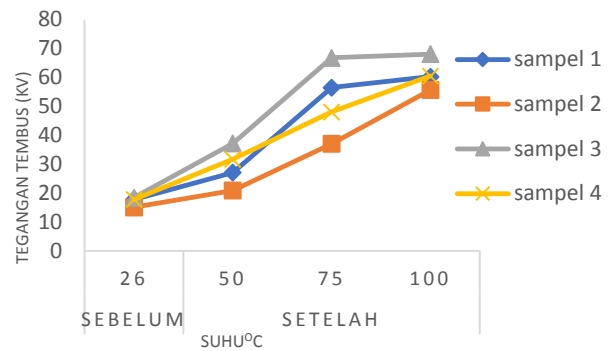
### 3.1 Hasil Pengujian Tegangan Tembus dan perhitungan Kekuatan Dielektrik

Tabel 2. Hasil tegangan tembus rata-rata sebelum dan setelah purifikasi

Pengujian	Tegangan Tembus(KV)			
	Sebelum Purifikasi	Setelah Purifikasi		
		26°C	50°C	75°C
sampel 1	17,8	27,1	56,5	60,3

sampel 2	15,1	20,9	37,1	55,7
sampel 3	18,4	37,2	66,8	68,1
sampel 4	17,8	31,7	48,1	60,5

Tabel 2 diatas didapat kurva yang menyatakan perbandingan karakteristik tegangan tembus terhadap peningkatan pada setiap suhu 26°C hingga 100°C



Gambar 6 Grafik perbandingan karakteristik tegangan tembus minyak trafo sebelum dan setelah purifikasi.

Gambar 6 menunjukan terjadi kenaikan hasil tegangan tembus pada masing-masing kondisi suhu 26°C hingga 100°C. Dapat dilihat pada sampel 2 mempunyai nilai tegangan tembus yang paling rendah diantara sampel lainnya, kemungkinan pada sampel 2 masih banyak kandungan airnya dan usia trafo yang cukup lama. Sedangkan pada sampel 3 mempunyai nilai tegangan tembus yang cukup baik diantara sampel lainnya yaitu pada suhu 50°C sebesar 37,2 kV, suhu 75°C sebesar 66,8kV dan pada suhu 100°C sebesar 68,1 kV nilai tegangan tembus jika dalam standar operasi minyak isoalsi transformator menurut IEC 60422[7] minyak sampel 3 masih memenuhi standar pada golongan A yaitu >60 50-60kV. Purifikasi dilakukan dengan metode *boiling*/ pemanasan sehingga bola cair yang ada pada minyak transformator menguap,tetapi kontaminan seperti kotoran atau lainnya masih mengendap pada minyak isoalasi karena metode *boiling* hanya untuk memanaskan minyak isoalsi trafo. Peningkatan nilai tegangan tembus dikarenakan berkurangnya zat cair yang terdapat pada minyak bekas transformator karena sudah mengalami pemanasan denga cara dinaikan suhu temperature sehingga air akan menguap dan kandunga air yang terdapat pada minyak akan berkurang. Seperti diketahui faktor kontaminasi dan ketidakmurnian zat pada minyak transformator mempengaruhi nilai tegangan tembusnya. Ketidakmurnian dalam minyak trafo menyebabkan kondisi yang tidak stabil dalam medan listrik yang dapat menyebabkan kegagalan sehingga ketahanan isolasi atau kekuatan dielektrik akan menurun. Kenaikan tegangan tembus pada minyak isolasi transformator yang telah dipurifikasi menyebabkan peningkatan nilai kekuatan dielektriknya. Analisa hasil perhitungan kekuatan dielektrik rata-rata minyak

transformator ditunjukkan pada tabel 3 maka dapat dihitung nilai kekuatan dielektrik :

$$E = \frac{V_b}{d} \text{ (kV/mm)} \quad (1)$$

Dimana

- $V_b$  = Tegangan tembus (kV)
- $E$  = Kekuatan dielektrik (kV/mm)
- $D$  = Jarak sela (mm)

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

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

$$E(\text{rata - rata}) = \frac{17,8kV}{2,5 \text{ mm}}$$

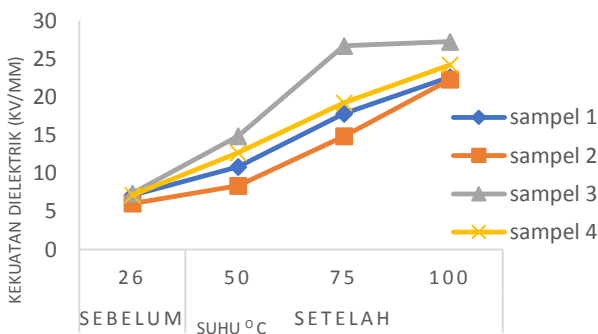
$$= 7,12kV/mm$$

Perbandingan hasil perhitungan kekuatan dielektrik rata-rata minyak bekas transformator sebelum dan sesudah purifikasi ditunjukkan pada Tabel 3 berikut ini :

**Tabel 3. Hasil kekuatan dielektrik rata-rata sebelum dan setelah purifikasi.**

Pengujian	Kekuatan Dielektrik(kV/mm)			
	Sebelum Purifikasi		Setelah Purifikasi	
	26°C	50°C	75°C	100°C
sampel 1	7,12	10,84	17,8	22,6
sampel 2	6,04	8,36	14,84	22,28
sampel 3	7,36	14,88	26,7	27,24
sampel 4	7,12	12,68	19,24	24,2

Berdasarkan Tabel 3 didapat kurva yang menyatakan perbandingan perhitungan kekuatan dielektrik rata-rata minyak bekas trafo sebelum dan setelah dipurifikasi :



**Gambar 7. Kurva perbandingan kekuatan dielektrik minyak bekas trafo sebelum dan setelah purifikasi.**

Gambar 7 menunjukkan kenaikan nilai kekuatan dielektrik sampel 1 sampai sampel 4 minyak transformator setelah

dilakukan purifikasi pada setiap kondisi suhu. Pengaruh kontaminan dan ketidakhurnian zat cair mempengaruhi nilai tegangan tembusnya. Kekuatan dielektrik berbanding lurus dengan nilai tegangan tembus sehingga apabila terjadi kenaikan pada nilai tegangan tembus maka kekuatan dielektrik atau ketahanan isolasi akan meningkat.

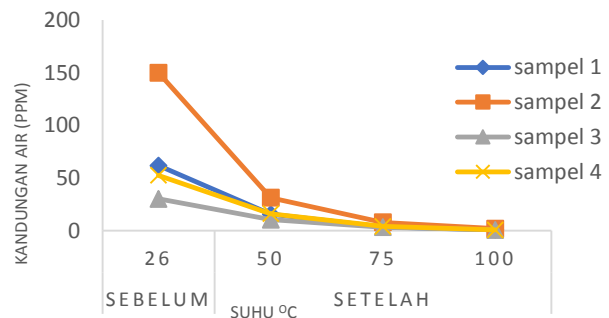
### 3.2 Hasil Pengujian Kandungan Air

Tabel 4. Merupakan data hasil pengujian kandungan air pada minyak trafo sebelum dan setelah purifikasi terhadap variasi suhu.

**Tabel 4. Hasil pengujian kandungan air sebelum dan setelah purifikasi**

Sampel	kandungan air (ppm)			
	Sebelum Purifikasi 26°C	50°C	Setelah Purifikasi 75°C	100°C
	sampel 1	61,92	15,66	3,56
sampel 2	150,1	31,34	7,9002	1,925
sampel 3	30,24	10,501	3,377	0,7202
sampel 4	52,53	16,08	4,049	0,7602

Berdasarkan Tabel 4 diatas didapat grafik yang menyatakan perbandingan kandungan air terhadap suhu saat proses *boiling*



**Gambar 8. Grafik hasil pengujian kandungan air sebelum dan setelah purifikasi**

Gambar 8 menunjukan bahwa penurunan hasil kandungan air pada masing-masing kondisi suhu 26°C hingga 100°C. Hasil pengujian setelah purifikasi menunjukkan bahwa naiknya suhu temperature akan menurunnya nilai kadar air pada masing- masing sampel yang di panaskan dengan temperature 50°C- 100°C karena titik didih hingga ± 100°C kandungan air yang terdapa pada minyak isolasi akan berkurang. Pada sampel 2 nilai kadar air turun drastis ketika suhu dipanaskan menjadi 50°C-100°C nilai kadar air yang mula-mula 150,1 ppm pada suhu 26°C menjadi 31,34

ppm pada suhu 50°C 7,9002ppm pada suhu 75°C dan 1,925 ppm pada suhu. Nilai kandungan air yang paling rendah pada sampel 3 saat suhu 26°C nilainya 30,24 ppm hampir memenuhi standar IEC 60422 golongan C, pada suhu 50°C sebesar 10,501ppm, saat suhu dinaikan lagi menjadi 75°C sebesar 3,377 ppm, dan suhu dinaikan menjadi 100°C menjadi 0,72. Hasil kandungan air pada sampel 3 memnuhi standar operasi IEC 60422 < 15 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa pemansan/*boiling* minyak isoalsi transformator dapat membuat bola air tersebut menguap sehingga mengurangi kandungan air yang ada di minyak trafo tersebut.

### 3.3 Hasil Pengujian tan δ

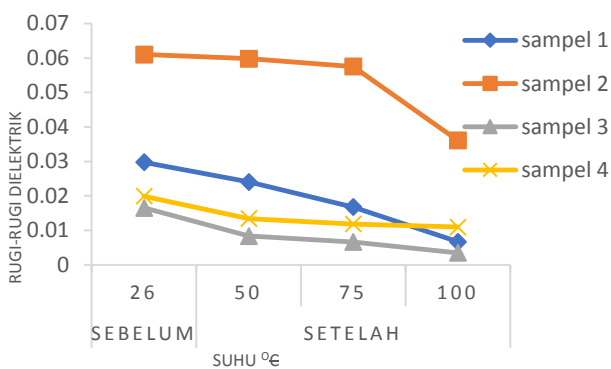
#### 3.3.1 Pengujian tan δ sebelum dan setelah purifikasi

Tabel 5. Merupakan hasil Pengujian tan δ minyak trafo sebelum dan setelah purifikasi dengan proses *boiling* pada suhu 26°C hingga 100°C

**Tabel 5. Hasil pengujian tan δ sebelum dan setelah purifikasi**

Sampel	Pengujian tan δ			
	Sebelum Purifikasi 26°C	50°C	75°C	Setelah Purifikasi 100°C
sampel 1	0,02974	0,02403	0,01674	0,00665
sampel 2	0,061	0,0598	0,0575	0,03608
sampel 3	0,0165	0,00834	0,00661	0,00347
sampel 4	0,01991	0,0134	0,01182	0,01095

Berdasarkan tabel diatas didapatkan grafik yang menyatakan perubahan nilai tan δ setelah mengalami purifikasi dengan proses *boiling*



**Gambar 9. Grafik hasil pengujian tan δ sebelum dan setelah purifikasi**

Gambar 9. terlihat bahwa hasil nilai tan δ mengalami penurunan setelah dilakukan proses purifikasi. Pada suhu 26°C-75°C nilai tan δ sampel 2 sebesar 0,061 dan 0,0575 merupakan nilai yang paling tinggi di banding sampel lain. Penurunan tertinggi terdapat pada sampel 3 dengan nilai tan sebelum purifikasi 0,0165 dan setelah mengalami proses

purifikasi mengalami penurunan menjadi 0,00347. Hal tersebut karena faktor kontaminan yang terdapat alam minyak isoalsi kandunga air berkurang setelah proses *boiling* karena saat dipanaskan uap air sudah berkurang, karena semakin kecil nilai tan δ maka nilai kontaminan dan kandungan airnya semakin rendah. Dengan demikian sampel 1 sampel 3 dan sampel 4 yang telah mengalami proses purifikasi dari segi karakteristik faktor rugi-rugi dielektrik layak digunakan kembali sesuai standar operasi IEC 60422 yang digunakan PLN yaitu <0,05. Sampel 2 mengalami perbedaan nilai tanδ yang tinggi di banding sampel yang lain karena kualitas minyak sampel 2 paling buruk.

#### 3.3.2 Perhitungan Manual nilai tan δ

Untuk menentukan nilai tan δ dapat digunakan rumus sebagai berikut :

$$\tan \delta = \frac{\sigma}{\epsilon \cdot \omega} = \frac{1}{\rho \epsilon \omega} \quad (2)$$

Contoh perhitungan seperti berikut :

Pada sampel 1 suhu 26°C

Resistivitas = 9,7 GΩm

ε (konstanta) = 8,85x10<sup>-12</sup>

Frekuensi = 50 Hz

Sehingga,

$$\tan \delta = \frac{\sigma}{\epsilon \cdot \omega} = \frac{1}{\rho \epsilon \omega} = \frac{1}{9,7 \times 10^9 \times 8,85 \times 10^{-12} \times 2\pi \times 50}$$

$$\tan \delta = 0,03709$$

Dengan menggunakan persamaan perhitungan yang sama maka dapat diperoleh data perhitungan sebagai berikut :

**Tabel 6. Hasil pengujian dan perhitungan tan δ sebelum purifikasi**

Sampel	Hasil Pengujian Tan δ		Hasil Perhitungan Tan δ	
	26°C	26°C	26°C	26°C
sampel 1	0,0297	0,0297	0,03709	0,03709
sampel 2	0,061	0,061	0,08996	0,08996
sampel 3	0,0165	0,0165	0,02645	0,02645
sampel 4	0,01991	0,01991	0,02367	0,02367

**Tabel 7. Hasil pengujian dan perhitungan tan δ setelah purifikasi**

Sampel	Pengujian Tan δ			Perhitungan Tan δ		
	50°C	75°C	100°C	50°C	75°C	100°C
sampel 1	0,0240	0,0167	0,00665	0,03331	0,02498	0,00655
sampel 2	0,0598	0,0575	0,03608	0,08567	0,07996	0,02367
sampel 3	0,00834	0,00661	0,00347	0,00657	0,00395	0,00269
sampel 4	0,0134	0,01182	0,01095	0,01135	0,00994	0,00875

Berdasarkan Tabel 6 dan tabel 7 yang merupakan perbandingan nilai  $\tan \delta$  pengujian dan perhitungan sebelum dan setelah purifikasi terlihat bahwa ada perbedaan yaitu sebesar 0,02-0,001. Sampel 1 sampai sampel 4 mempunyai karakteristik yang sama yaitu nilai perhitungan lebih besar daripada hasil pengujian.

### 3.2 Hasil Pengujian Resistivitas

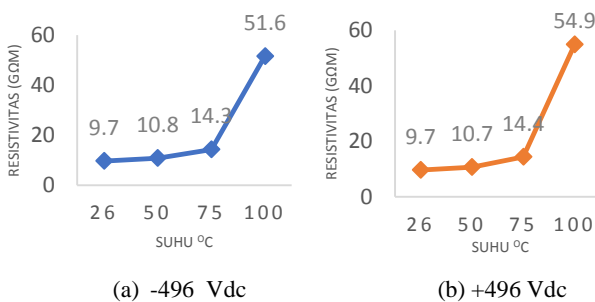
Tabel 7 merupakan hasil pengujian resistivitas minyak trafo sebelum dan setelah purifikasi dengan proses *boiling* pada suhu 26°C sampai 100°C

Tabel 8. Pengujian resistivitas sebelum dan setelah

	Tegangan (Vdc)	Pengujian Resistivitas (GΩm)			
		Sebelum Purifikasi		Setelah Purifikasi	
		26°C	50°C	75°C	100°C
sampel 1	-496	9,7	10,8	14,3	51,6
	+496	9,7	10,7	14,4	54,9
sampel 2	-496	4	4,1	4,4	14,5
	+496	4	4,2	4,5	15,2
sampel 3	-496	14,5	54,5	91,1	135,5
	+496	15,2	54,7	85,8	130
sampel 4	-496	13,6	30,8	35,5	39,7
	+496	13,4	31,7	36,2	41,1

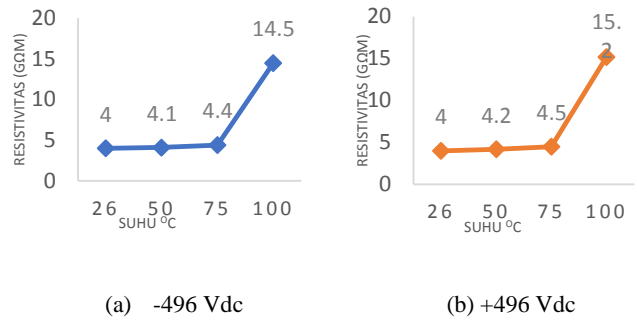
#### purifikasi

Berdasarkan tabel di atas didapat hasil grafik menunjukkan bahwa perubahan pada setiap sampel saat dipurifikasi dengan proses pemanasan/ *boiling*.



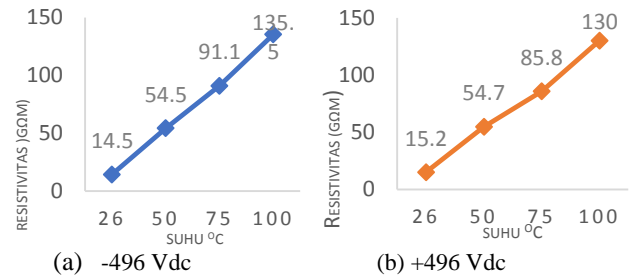
Gambar 10. Grafik hasil pengujian resistivitas dan setelah purifikasi pada sampel 1

Gambar 10(a) dan 10(b) terlihat bahwa hasil pengujian resistivitas cenderung mengalami kenaikan yang signifikan setelah dilakukan purifikasi sampel 1 tegangan - 496 pada suhu 26°C yang semula 9,7 GΩm naik menjadi 51,6 GΩm setelah di purifikasi. Sampel 1 tegangan +496 pada suhu 26°C yang semula 9,7 GΩm nilai resistivitas naik menjadi 54,9 GΩm setelah di purifikasi.



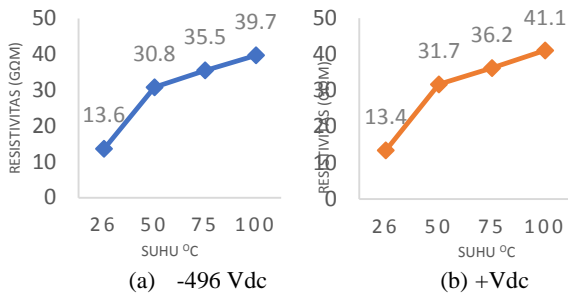
Gambar 11. Grafik hasil pengujian resistivitas dan setelah purifikasi pada sampel 2

Gambar 11 (a) dan 11(b) terlihat resistivitas sampel 2 setelah purifikasi cenderung lebih besar di bandingkan dengan yang sebelumnya. Hal ini membuktikan bahwa proses *boiling* mampu menaikkan nilai resistivitas pada minyak isolasi. Proses *boiling* mampu meningkatkan nilai resistivitas dan mengurangi kandungan air. Dengan demikian sampel minyak isolasi sampel 2 nilai resistivitasnya paling kecil diantara sampel lainya dikarenakan kualitas minyak trafo yang sudah dibebani pada sampel 2 sudah buruk.



Gambar 12. Grafik hasil pengujian resistivitas dan setelah purifikasi pada sampel 3

Gambar 12(a) dan 12(b), terlihat bahwa hasil perbandingan resistivitas cenderung mengalami kenaikan yang signifikan setelah dilakukan purifikasi. Sampel 3 tegangan -496 V pada suhu 26°C yang semula 14,5 GΩm naik menjadi 135,5 GΩm pada suhu 100°C. Sampel 3 tegangan +496 V pada suhu 26°C yang semula 15,2 GΩm naik resistivitasnya menjadi 130 GΩm setelah di purifikasi. Nilai resistivitas setelah dipurifikasi menjadi lebih tinggi dibanding sebelum dipurifikasi. Hal tersebut karena kontaminan yang terdapat dalam minyak isolasi yang telah dibebani berkurang setelah dilakukan purifikasi. Proses *boiling* mampu meningkatkan nilai resistivitas dan mengurangi kandungan air. Dengan demikian sampel minyak isolasi sampel 3 dari segi karakteristik resistivitasnya masih layak digunakan kembali karena telah memenuhi standar IEC 60422.



Gambar 14. Grafik hasil pengujian resistivitas dan setelah purifikasi pada sampel 4

Gambar 14(a) dan 14(b), menunjukkan bahwa nilai resistivitas sampel 4 meningkat setelah melalui proses *boiling*. Nilai resistivitas meningkat dengan naiknya temperature pada proses *boiling*. Sampel 4 tegangan -496 Vdc ada kondisi sebelum purifikasi pada suhu 26°C sebesar 13,6GΩm meningkat menjadi 39,7 GΩm. Dengan tegangan +496 V pada suhu 26°C nilai resistivitas 13,4 GΩm menjadi 41,1 GΩm pada suhu 100°C. Nilai resistivitas tersebut sudah memenuhi standar IEC 60422. Nilai resistivitas setelah dipurifikasi menjadi lebih tinggi dibanding sebelum dipurifikasi. Hal tersebut karena kontaminan yang terdapat dalam minyak isolasi yang telah dibebani berkurang setelah dilakukan purifikasi. Proses *boiling* mampu meningkatkan nilai resistivitas dan mengurangi kandungan air. Dengan demikian dari empat sampel minyak isolasi hanya sampel 2 dari segi karakteristik resistivitasnya belum layak digunakan kembali karena tidak memenuhi standar IEC 60422 >3, untuk sampel 1, sampel 3 dan sampel 4 masih layak digunakan sesuai standar IEC 60422.

### 3.5 Rekapitulasi minyak transformator dengan Standar sebelum dan setelah purifikasi

Setelah dilakukan pengujian dan purifikasi maka dapat dilakukan analisa hasil seluruh pengujian minyak isolasi trafo pada pengujian sebelum dan pengujian setelah purifikasi terhadap standar IEC 60422 Tujuan dari analisa ini adalah mengetahui perubahan nilai yang terjadi pada karakteristik dielektrik minyak trafo setelah dilakukan purifikasi dengan proses *boiling*. Hasil pengujian ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 9. Rekapitulasi seluruh pengujian sampel 1 pada suhu 26°C-100°C terhadap standar.

Pengujian	Metode	Standar IEC 60422		Setelah Purifikasi			
		Baik	Cukup	26°C	50°C	75°C	100°C
Tegangan Tembus (kV)	IEC 156	>40	30-40	17,8	27,1	56,5	60,3
Kandungan Air (ppm)	IEC 814	<15	15-20	61,92	15,66	3,56	0,949
Tan δ	IEC 247	<0,05		0,02974	0,024	0,0167	0,00665

Resistivitas (GΩm)	IEC 247	>3	0,2-3	-9,7 +9,7	-10,8 +10,7	-14,3 +14,4	-51,6 +54,9
--------------------	---------	----	-------	--------------	----------------	----------------	----------------

Pada tabel 9 terlihat terjadi perbaikan tegangan tembus, kandungan air, tan δ dan resistivitas pada setiap kenaikan suhu. Pada suhu 26°C ketiga parameter belum memenuhi standar IEC 60422 kecuali nilai tan δ sudah memenuhi standar IEC 60422. Nilai Tegangan tembus pada kondisi suhu 50°C belum memenuhi standar IEC 60422. Parameter yang memenuhi standar baik pada suhu 50°C adalah kandungan air, tan δ dan resistivitas. Pada kondisi suhu 75°C dan 100°C semua parameter memenuhi standar Baik IEC 60422.

Tabel 10. Rekapitulasi seluruh pengujian sampel 2 pada suhu 26°C-100°C terhadap standar

Pengujian	Metode	Standar IEC 60422		Setelah Purifikasi			
		Baik	Cukup	26°C	50°C	75°C	100°C
Tegangan Tembus (kV)	IEC 156	>40	30-40	15,1	20,9	37,1	55,7
Kandungan Air (ppm)	IEC 814	<15	15-20	150,1	31,34	7,9	1,925
Tan δ	IEC 247	<0,05		0,061	0,0598	0,058	0,036
Resistivitas (GΩm)	IEC 247	>3	0,2-3	-4 +4	-4,1 +4,2	-4,4 +4,5	-14,5 +15,2

Pada tabel 10 terjadi perbaikan tegangan tembus, kandungan air, tan δ dan resistivitas pada setiap kenaikan suhu. Nilai kandungan air dan tan δ pada kondisi 50°C belum memenuhi standar IEC 60422, sedangkan pada suhu 75°C-100°C nilai tan δ belum memenuhi standar IEC 60422. Pada suhu 75°C nilai tegangan tembus sudah memenuhi standar baik IEC 60422 untuk nilai tan δ belum memenuhi standar, sedangkan pada suhu 100°C nilai karakteristik tegangan tembus sudah memenuhi standar IEC 60422 dan nilai parameter kandungan air, tan δ dan resistivitas sudah memenuhi standar baik IEC 60422.

Tabel 11. Rekapitulasi seluruh pengujian sampel 3 pada suhu 26°C-100°C terhadap standar

Pengujian	Metode	Standar IEC 60422		Setelah Purifikasi			
		Baik	Cukup	26°C	50°C	75°C	100°C
Tegangan Tembus (kV)	IEC 156	>40	30-40	18,4	37,2	66,8	68,1
Kandungan Air (ppm)	IEC 814	<15	15-20	30,24	10,501	3,377	0,72
Tan δ	IEC 247	<0,05		0,0165	0,0083	0,007	0,003
Resistivitas (GΩm)	IEC 247	>3	0,2-3	-14,5 +15,2	-54,5 +54,7	-91,1 +85,8	-135,5 +130



Pada tabel 11 terjadi perbaikan nilai dari masing- masing parameter seperti tegangan tembus, kadar air, tan  $\delta$  dan resistivitas. Pada suhu 50°C untuk nilai tegangan tembus dan rugi-rugi dielektrik belum memenuhi standar IEC 60422, sedangkan untuk kadar air dan resistivitas nilai parameter memenuhi standar baik IEC 60422. Pada kondisi 75°C nilai parameter tegangan tembus dan rugi-rugi dielektrik tidak memenuhi standar baik IEC 60422, unttuk nilai parameter kadar air dan resistivitas memnuhi standar baik IEC 60422. Pada suhu 100°C nilai tegangan tembus, kadar air,tan  $\delta$  dan resistivitas memenuhi standar baik IEC 60422.

**Tabel 12. Rekapitulasi seluruh pengujian sampel 4 pada suhu 26°C-100°C terhadap standar**

Pengujian	Metode	Standar IEC 60422		Sebelum Purifikasi		Setelah Purifikasi	
		Baik	Cukup	26°C	50°C	75°C	100°C
Tegangan (kV)	IEC 156	>40	30-40	17,8	31,7	48,1	60,5
Kandungan Air (ppm)	IEC 814	<15	15-20	52,53	16,08	4,049	0,76
Tan $\delta$	IEC 247	<0,05		0,01991	0,0134	0,012	0,011
Resistivitas (G $\Omega$ m)	IEC 247	>3	0,2-3	-13,6 +13,4	-30,8 +31,7	-35,5 +36,2	-39,7 +41,1

Pada tabel 12 terjadi perbaikan dan peningkatan setiap nilai parameter setelah melalui proses purifikasi dengan proses *boiling*. Pada kondisi suhu 50°C nilai tegangan tembus sudah memenuhi standar cukup IEC 60422, sedangkan kandungan air belum memenuhi standar IEC 60422, untuk nilai rugi-rugi dielektrik dan resistivitas memenuhi standar baik IEC 60422. Dapat dilihat pada suhu 75°C nilai tegangan tembus sudah memenuhi standar baik IEC 60422 , sedangkan untuk kandungan air, rugi-rugi dielektrik dan resistivitas masih memenuhi standar baik 60422. Pada suhu 100°C untuk semua sampel sudah memenuhi standar baik IEC 60422.

#### 4. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa purifikasi minyak isolasi transformator yang telah digunakan dengan proses *boiling* berhasil memperbaiki nilai karakteristik parameter kualitas minyak isolasi. Nilai tegangan tembus pada sampel 3 sebelum dipurifikasi 18,4 kV, pada suhu 100°C meningkat menjadi 68,1 kV mempunyai nilai tertinggi dibandingkan sampel lainnya nilai tersebut sudah memenuhi standar IEC 60422. Nilai *water content* menurun setelah dilakukan proses *boiling*, penurunan tertinggi terjadi pada sampel 2 suhu 26°C dari 109,79 ppm menjadi 45,61 ppm. Nilai tan  $\delta$  sebelum dan setelah

dilakukan purifikasi pada sampel 1 menurun dari 0,0297 menjadi 0,00665 , sampel 2 dari 0,061 menjadi 0,0360, sampel 3 dari 0,0165 menjadi 0,00347, sampel 4 dari 0,0199 menjadi 0,0109. Setelah dilakukan purifikasi nilai resistivitas sampel 1 suhu 26°C mengalami peningkatan dari 9,7 G $\Omega$ m menjadi 51,6 G $\Omega$ m, sampel 2 dari 4 G $\Omega$ m menjadi 14,5 G $\Omega$ m, sampel 3 dari 15,2 G $\Omega$ m menjadi 135,5 G $\Omega$ m, sampel 4 dari 13,4 G $\Omega$ m menjadi 41,1 G $\Omega$ m. Berdasarkan standar IEC 60422, pada ke-empat sampel minyak bekas trafo yang telah dipurifikasi yang layak untuk digunakan kembali sebagai minyak isolasi trafo dari urutan yang terbaik pada sampel 3, sampel 4 dan sampel 1. Untuk sampel 2 dari nilai parameternya belum memenuhi standar IEC .60422 sebagai minyak isolasi trafo.

#### Referensi

- [1] Naidu.M, *High Voltage Engineering 2ed.* Mc-Graw-Hill Publitsing Company Limited. New Delhi, 1995
- [2] Shilvy Herviany, “ANALISIS PERBANDINGAN KARAKTERISTIK DIELEKTRIK PADA MINYAK BEKAS TRANSFORMATOR 20 kV SEBELUM DAN SETELAH PURIFIKASI DENGAN ADSORBEN,” *Transient*, vol. 4 No.3, 2015.
- [3] Swastika Mahardika, “PURIFIKASI FAKTOR RUGI DIELEKTRIK (TAN  $\delta$ ) DAN RESISTIVITAS SERTA WARNA DARI MINYAK ISOLASI TRANSFORMATOR SETELAH MENGALAMI PEMBEBANAN, DENGAN BENTONIT AKTIF,” *Transient*, Vol 4 No.3, 2015.
- [4] *IEC 60156, Insulating Liquids- Determination of Breakdown Voltage at Power Frequency- Test Method..*
- [5] *User Manual Aquamax KF Coulometric Karl Fischer Titrators.* United Kingdom: GR Scientific Family of Titrators, 2010
- [6] *IEC 60247, Measurement of Relative Permittivity, Dielectric Dissipation Factor (Tan  $\delta$ ) and DC Resistivity. .*
- [7] *IEC 60422, Mineral Insulating Oils in Electrical Equipment-Supervision and maintenance guidance.* 2013.