

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Isolasi Transformator

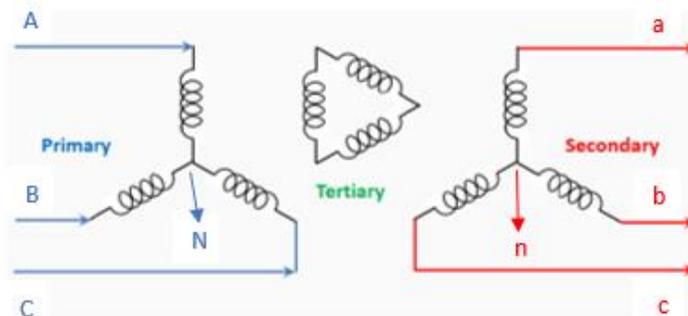
Transformator adalah peralatan pada sistem tenaga listrik yang berfungsi sebagai pengubah nilai tegangan yang keberadaannya sangat penting bagi proses pendistribusian energi listrik. Kondisi transformator harus selalu dijaga agar tidak terjadi kerusakan yang bisa menghambat pendistribusian energi listrik. Sehingga dalam pemeliharannya harus dilakukan dengan rutin dan baik. Salah satu komponen penting pada transformator yang harus selalu dijaga kondisinya adalah isolasi transformator. Isolasi transformator merupakan sebuah komponen yang berfungsi untuk mencegah terjadinya hubung singkat antar kumparan pada bagian dalam transformator. Sehingga pemeliharaan dan pengujian pada isolasi transformator harus dilakukan secara rutin untuk menghindari terjadinya kerusakan pada isolasi transformator. Selain berfungsi sebagai pencegah terjadinya hubung singkat, isolasi transformator juga berfungsi sebagai pendingin pada transformator.

Transformator di Gardu Induk 150 kv Bantul merupakan salah contoh transformator yang pemeliharannya harus dilakukan secara rutin. Pemeliharaan rutin ini biasanya dilakukan selama 2 tahun sekali. Ada beberapa pengujian isolasi pada transformator yang menjadi pemeliharaan rutinnnya yaitu uji indeks polarisasi, tangen delta dan *break down voltage*. Uji indeks polarisasi sendiri merupakan sebuah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui besar kebocoran arus (*leakage current*). Sementara uji tangen delta merupakan sebuah pengujian kerugian dielektrik untuk mengetahui kualitas isolasi belitan dengan mengukur arus bocor kapasitifnya. Dan *break down voltage* atau uji tegangan tembus minyak transformator merupakan sebuah pengujian pada transformator yang berfungsi untuk mengetahui untuk mengetahui kondisi minyak transformator sebagai isolasi dan untuk mengetahui batas kemampuan minyak transformator untuk menahan hantaran listrik

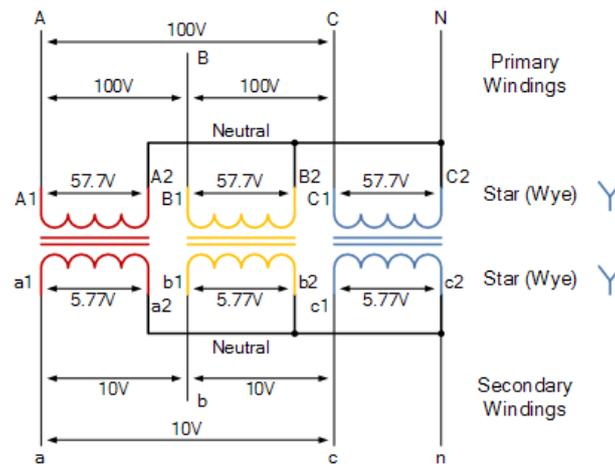
Dan berikut ini adalah data teknis Trafo 1 pada Gardu Induk 150 kv Bantul yang dilakukan pengujian isolasi transformator.

Tabel 4. 1 Data teknis Trafo 1 di Gardu Induk 150 kV

NO	ITEM	SPESIFIKASI
1.	<i>Serial Number</i>	A45006
2.	<i>Special ID</i>	TRAFO 1
3.	<i>Circuit Designation</i>	BAY TRAFO 1
4.	<i>Company</i>	PLN P3B JB
5.	<i>Location</i>	Bantul
6.	<i>Division</i>	APP SALATIGA
7.	<i>Year Manufactured</i>	1995
8.	<i>Manufactured Location</i>	China
9.	<i>Tank Type</i>	<i>Sealed-Conservator</i>
10.	<i>Class</i>	ONAN/ONAF
11.	<i>Coolant</i>	<i>OIL</i>
12.	<i>Weight</i>	102000 kg
13.	<i>kV</i>	150 kV
14.	<i>VA Rating</i>	60 MVA
15.	<i>Phases</i>	3
16.	<i>Winding Config (H-L)</i>	Wye-Wye
17.	<i>Winding Config (H-T)</i>	Wye-Delta
18.	<i>Winding Config (L-T)</i>	Wye-Delta



Gambar 4.1 Hubungan Star-Star pada Trafo 1 di Gardu Induk 150 kV Bantul



Gambar 4.2 Rangkain Star-Star pada transformator

## 4.2 Proses Uji Isolasi Ttransformator

Dalam proses pengujian isolasi transformator ada beberapa tahapan pelaksanaan yang harus dilakukan. Hal ini dilakukan untuk mengurangi terjadinya kesalahan pada saat pengujian dan juga untuk mendapatkan hasil pengujian yang maksimal. Ada 3 tahapan pelaksanaan dalam proses pengujian transformator yaitu, persiapan, pelaksanaan dan penyelesaian.

### 4.2.1 Proses Pengujian Indeks Polarisasi

Berikut ini adalah proses dari pengujian indeks polarisasi yang dilakukan pada transformator:

#### 1. Sarana dan Prasarana

- *Safety helm*
- *Safety shoes*
- *Body harness*
- Pentanahan lokal
- Rambu-rambu K3
- *High voltage insulation tester* (Kyoritsu 3125)
- Kabel/probe dan aksesoris
- *Tool set* dan *cable roll*
- Tangga



Gambar 4.3 High Voltage Insulation Tester (Kyoritsu 3125)

Tabel 4.2 Spesifikasi high voltage insulation tester (Kyoritsu 3125)

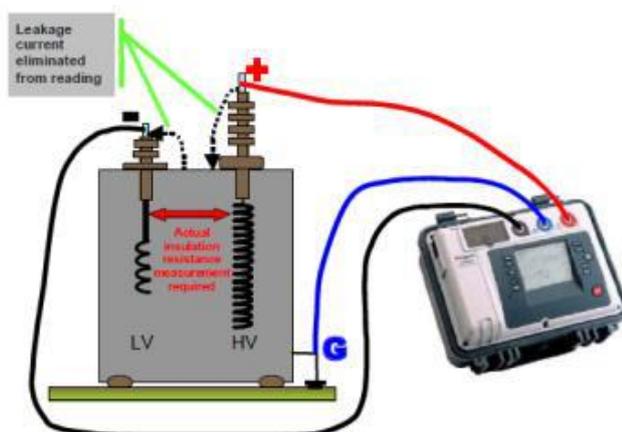
Insulation Resistance				
Range	500 V	1000 V	2500 V	5000 V
Measuring range	0.0 - 99.9MΩ 100 - 999MΩ	0.0 - 99.9MΩ 100 - 999MΩ 1.00 - 1.99GΩ	0.0 - 99.9MΩ 100 - 999MΩ 1.00 - 9.99GΩ 10.0 - 99.9GΩ	0.0 - 99.9MΩ 100 - 999MΩ 1.00 - 9.99GΩ 10.0 - 99.9GΩ 100 - 1000GΩ (1TΩ)
Accuracy	±5%rdg ±3dgt	±5%rdg ±3dgt	±5%rdg ±3dgt	±5%rdg ±3dgt ±20%(100GΩ or more)
Short Circuit Current	1.3mA approx			
Rated test Current	1mA to 1.2mA	1mA to 1.2mA at 1MΩ load	1mA to 1.2mA at 2.5MΩ load	1mA to 1.2mA at 5MΩ load

	at 0.5M $\Omega$ load			
Open circuit voltage	500VDC +30% -0%	1000VDC +20% -0%	2500VDC +20% -0%	5000VDC +20% -0%
Maximum display	999 Counts (1000 counts only at 1000G $\Omega$ )			
Current consumption	About 1000mA (During measurement)			
<b>Voltage Measurement</b>				
Measuring range	30 - 600V AC/DC [50/60Hz]			
Accuracy	$\pm 2\% \text{rdg} \pm 3 \text{dgt}$			
Maximum display	630 Counts			
Current consumption	110mA approx			
<b>General</b>				
Safety Standard	IEC 61010-1 CAT III 600V, pollution Degree 2			
Power supply (DC battery)	DC12V : R14 $\times$ 8			
Dimensions	205(L) $\times$ 152(W) $\times$ 94(D)mm			
Weight	1.8kg approx			
Included Accessories	7165A (Line probe) 7224A (Earth cord) 7225A (Guard cord) 8019 (Hook type prod) 9159 (Carrying case [Hard]) LR14 $\times$ 8pcs (Alkaline battery size) Instruction Manual			

Optional Accessories	7168A (Line probe with alligator clip) 7253 (Longer Line probe with alligator clip) 8302 (Adaptor for recorder)
-------------------------	---

## 2. Persiapan

- Siapkan alat ukur tahanan isolasi transformator, aksesoris dan perlengkapan lainnya serta yakinkan semuanya dalam kondisi baik.
- Yakinkan sumber tegangan atau baterai alat uji tahanan isoalsi transformator dalam kondisi baik dan siap pakai.
- Persiapkan *tool set* yang diperlukan.
- Persiapkan blanko/formulir pengukuran.
- Yakinkan peralatan yang akan diukur/diuji dalam kondisi bebas tegangan atau transformator dalam kondisi mati.
- Yakinkan alat uji tahanan isolasi dalam kondisi baik dengan cara *short probe phasa-ground* kemudian arahkan selektor pada tegangan 5000 V lalu tekan dan putar tombol “*press to test*” dan pastikan nilainya 0.
- Pastikan peralatan yang akan diuji telah terhubung dengan ground untuk membuang induksi tegangan.



Gambar 4.4 Diagram pengkabelan uji indeks polarisasi

### 3. Pelaksanaan

- Posisikan selektor tegangan sesuai dengan kebutuhan objek yang diuji ( 500 , 1000 atau 5000 V ).
- Setting *timer* sesuai kebutuhan dengan menekan tombol “*time set*” lalu pilih “*timer 1*” lalu pilih waktu yang dibutuhkan dengan menekan tombol “*up*” atau “*down*” pada peralatan.
- Untuk uji indeks polarisasi *timer* diatur selama 1 meni dan 10 menit
- Pasang *probe EARTH* pada titik ukur sesuai kebutuhan.
- Lepas sambungan grounding pada peralatan yang akan diukur.
- Pegang probe line HV kemudian tekan dan putar tombol “*press to test*” (putar ke kanan).
- Tempelkan ujung *probe line HV* pada objek yang akan diuji.
- Lakukan proses pengujian hingga timer berhenti
- Lepas ujung *probe line HV* dari objek pengujian..
- Catat hasilnya pada blangko yang telah disiapkan.
- Bandingkan hasil uji dengan hasil uji sebelumnya, jika terlalu jauh selisih hasil uji maka lakukan evaluasi metode pengujiannya dan lakukan pengujian ulang.
- Hilangkan sisa tegangan dengan memasang kembali grounding local.
- Tekan dan putar tombol “*press to test*” ke posisi semula (putar ke kiri).
- Putar selektor tegangan ke posisi *OFF*.
- Lepas probe *EARTH* dari object yang diuji.

### 4. Penyelesaian

- Lepas rangkaian kabel pada alat ukur/uji dan simpan pada kotak penyimpanan
- Catat jumlah dan tanggal pemakaian pada kartu kontrol pemakaian alat uji indeks polarisasi.

#### 4.2.2 Proses Pengujian Tangen Delta

Berikut ini adalah proses dari pengujian tangen delta yang dilakukan pada transformator:

##### 1. Sarana dan Prasarana

- *Safety helm*
- *Safety shoes*
- *Body harness*
- Pentanahan lokal
- Rambu-rambu K3
- *Insulation Diagnostic System Megger Delta 4000*
- Kabel/probe dan aksesoris
- *Tool set dan cable roll*
- Tangga



Gambar 4.5 *Insulation Diagnostic System (Megger Delta 4000)*

Tabel 4.3 Spesifikasi *insulation diagnostic system (Megger Delta 4000)*

General	
Input Power	90 - 264 V 45 - 66 Hz 16 A max
Output Voltage	0 to 12 kV, continuously adjustable
Test Frequency Range	45-70 Hz (12 kV) 0.0001 Hz maximum resolution

Output Power	3.6 kVA
Output Current	300 mA (4 minutes) 200 mA (30 minutes) 100 mA (continuous) The power supply capacity can be expanded to 4 A at 12 kV using the optional Resonating Inductor, (Cat. No. 670600-1).
<b>Measuring Ranges</b>	
Voltage	25 V to 12 kV, 1 V resolution
Current	0 to 5 Amps, 0.1 $\mu$ A maximum resolution. The measurement can be corrected to either 2.5 kV or 10 kV equivalents.
Capacitance	0 to 100 $\mu$ F, 0.01 pF maximum resolution
Inductance	6 H to 10 MH, 0.1 mH maximum resolution
Power factor	0-100% (0-1), 0.001% maximum resolution
Dissipation factor	0-100 (0-10,000%), 0.001% maximum resolution
Watt Loss	0 to 2 kW, actual power, 0 to 100 kW when corrected to 10 kV equivalent. 0.1 mW maximum resolution. The measurement can be corrected to either 2.5 kV or 10 kV equivalents.
<b>Noise Immunity</b>	
Electromagnetic	15mA induced noise into any test lead with no loss of measurement accuracy at maximum interference to specimen current of 20:1
Electromagnetic	500 $\mu$ T, at 50/60 Hz in any direction
Temperature	Operating: -20 to +55° C (-4 to +131° F) Storage: -50 to +70° C (-58 to +158° F)
Relative humidity	Operating: 0 to 95% non-condensing Storage: 0 to 95% non-condensing

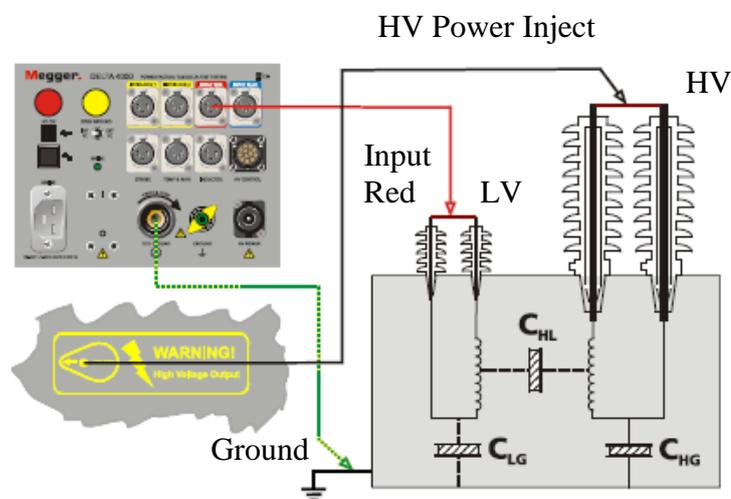
## 2. Persiapan

- Tempatkan alat tes pada jarak paling tidak 1,8 m dari obyek tes.
- Persiapkan alat ukur, kabel dan accessories lainnya serta yakinkan semuanya dalam kondisi baik.
- Persiapkan laptop untuk pengujian yang sudah terinstal aplikasi PowerDB
- Lepaskan semua klem, konduktor dan grounding lokal pada obyek yang akan diuji.

## 3. Pelaksanaan

- Pastikan bahwa peralatan yang akan di uji sudah bebas dari tegangan.
- Rangkai modul control Delta 4000 dengan Trafo *Step-up* dimana posisi trafo berada dibawah modul control dan pastikan *grounding* alat terhubung dengan *grounding* sistem.
- Gelar kabel uji HV dan pastikan tidak ada tekukan pada kabel saat proses ini dilakukan.
- Hubungkan ujung kabel HV dengan terminal konektor sesuaikan dengan objek yang akan di uji sedangkan ujung satunya dihubungkan pada probe HV objek uji
- Hubungkan kabel pengukuran pada objek uji (jika diperlukan)
- Sambung kabel power alat uji ke tegangan sumber 220 volt AC.
- Hidupkan alat uji tangen delta dengan memosisikan saklar pada posisi "1"..
- Sambungkan kabel USB antara alat uji tangen delta dengan laptop pengujian Tangen Delta.
- Sambung kabel power laptop pengujian tangen delta ke tegangan 220 volt AC.
- Hidupkan laptop pengujian Tangen Delta.
- Klik icon "PowerDB 10 Lite" pada desktop laptop pengujian.
- Pada pilihan instrument, pilih bagian power factor "DELTA 4000"
- Pilih jenis obyek uji yang akan diuji.
- Masukkan data *Nameplate* obyek uji pada test plan pengujian.

- Pastikan koneksi antara alat uji dengan laptop pengujian sudah lancar dengan cara klik kanan pada tabel pengujian dan pilih alamat port komunikasi sesuai dengan yang tertera di *device manager*.
- Untuk memulai pengujian, klik kanan pada no pengujian.
- Masukkan nilai tegangan uji sesuaikan dengan objek yang akan diuji.
- Klik tombol F2 pada keyboard laptop.
- Tekan dan tahan kedua safety interlock alat uji tahan sampai proses pengujian selesai.
- Setelah selesai pengujian klik “Save”.



Gambar 4.6 Diagram pengkabelan uji tangen delta

#### 4. Penyelesaian

- Matikan Alat uji dengan memosisikan saklar pada posisi “0”.
- Lepas kabel power alat uji dan laptop pengujian dari sumber tegangan 220 volt AC.
- Lepas semua kabel pengujian pada objek uji.
- Lepas grounding, rangkaian pengukuran dan aksesoris alat uji
- Periksa kebersihan alat dan simpan kembali pada tempatnya.
- Print hasil pengujian
- Selesai.

### 4.2.3 Proses Pengujian *Break Down Voltage* (BDV)

Berikut ini adalah proses dari pengujian *Break Down Voltage* yang dilakukan pada transformator:

#### 1. Sarana dan Prasarana

- *Laboratory Oil Dielectric Strength Test Set* Megger – OTS 100 AF
- Gelas / Cawan uji
- Gapper *break down voltage* uk. 2.5 mm
- *Magnetic Stirrer*
- Sampel minyak isolasi trafo
- Tisu / kain majun
- Pinset
- Botol Limbah
- Sarung tangan karet
- Masker



Gambar 4.7 *Laboratory Oil Dielectric Strength Test Set* (Megger - OTS 100 AF)

Tabel 4.4 Spesifikasi *laboratory oil dielectric strength test set*

Test voltage	OTS100AF 0 to 100 kV rms maximum (50 kV - 0 - 50 kV)
Voltage resolution and accuracy	0.1 kV °1% °2 digits
Vessels	400 ml (standard) 150 ml (option) Nylon 12 chamber provides precision

	electrode alignment, adjustment wheels lock electrodes in position, option of 150 ml vessel for low volume oil samples
Temperature measuring range	10 °C to 65 °C
Temperature sensor resolution	1 °C
Interface	USB 2.0 compatible 2 x USB type-A (Flash drive, printer, other) 1 x USB type-B (Factory use only)
Internal printer	Option) Matrix impact printer Paper 57.5 mm wide
External printer	Any printer with USB interface and PCL3 driver
Protection	Dual safety micro switches on chamber cover
Display	320 x 240 QVGA colour display with backlight
Operating temperature range and humidity	0 °C to +50 °C 80% RH at 40 °C
Storage temperature range and humidity	-30 °C to +65 °C 95% RH at 40 °C
Maximum altitude	2000 m

## 2. Persiapan

- Siapkan sampel minyak yang akan diuji  $\pm$  1 Liter dan pastikan tidak ada gelembung udara.
- Lepaskan wadah uji dari alat uji dengan membuka tutup pengaman utama.
- Ambil *Stirrer* dari dalam wadah uji minyak menggunakan stik magnetik/pinset , dan bersihkan dan simpan di tempat yang aman dan bersih.

- Pastikan jarak *Gap* elektroda menggunakan alat ukur *Gapper* 2,5 mm.
- Jika perlu menyesuaikan jarak, putarlah pengatur jarak maju mundur sesuai yang diinginkan.
- Bersihkan bagian dalam wadah uji minyak dan tutup wadah uji dengan tisu tanpa serat lalu bersihkan kembali menggunakan minyak sampel yang akan diuji - bilasan minyak ditampung di ember kemudian tutup rapat dan tempatkan di tempat yang aman dan bersih.
- Pastikan tidak ada ceceran atau tumpahan minyak di meja uji dan lantai Lab atau di lokasi trafo .
- Masukkan contoh minyak ke dalam wadah uji minyak hingga batas takaran tanpa menimbulkan gelembung udara.
- Tempatkan wadah uji minyak pada tempatnya.
- Masukkan stirrer yang sudah bersih - kering ke dalam wadah uji minyak.
- Tutuplah wadah uji minyak.
- Tutuplah *cover* pengaman utama .
- Sambungkan kabel grounding alat uji dengan sistim grounding.
- Sambungkan alat uji pada sumber tegangan 220 Volt.

### 3. Pelaksanaan

- Nyalakan alat uji dengan memposisikan saklar ke posisi "ON".
- Pada display LCD , dengan menekan tombol "OK", pilihlah acuan standar IEC 60156.
- Tekan tombol "OK" pada "Test ID", muncul "Set Test ID". Isikan nama sampel minyak yang akan diuji.
- Tekan tombol "OK" pada "Oil Type", pilihlah jenis Mineral.
- Tekan tombol "OK" pada "Gap (mm)", pilihlah jarak 2.50 .
- Tekan tombol "OK" pada "Stirrer", pilihlah gambar *stirrer* ( sesuaikan dengan kondisi alat ) .
- Tekan "TEST", maka *STIRRER* akan berputar mengaduk minyak selama 5 menit (timer akan menghitung mundur).

- Setelah waktu 5 menit itu tercapai, maka alat uji akan bekerja secara otomatis meliputi pengujian tegangan tembus sebanyak 6 kali. Setelah pengujian akhir selesai , hasil ukur tercetak secara otomatis.
- Tulis hasil ukur pada blangko hasil Uji yang telah disiapkan
- Selesai pengujian, sisa sampling hasil uji minyak dimasukkan ke dalam jirigen limbah. Ceceran dan tumpahan minyak segera dibersihkan.
- Masukkan hasil uji pada buku laporan pengujian

#### 4. Penyelesaian

- Matikan alat uji dengan memposisikan saklar pada posisi ”Off”.
- Lepas kabel power 220 V AC dari stop kontak.
- Lepas kabel *grounding* alat uji dari *system grounding*.
- Buka *cover* pengaman utama alat uji.
- Ambil stirrer dari wadah uji minyak dan bersihkan dalam dan tutup wadah uji dengan tisu/kain majun .
- Bersihkan lokasi uji dari ceceran minyak dan kembalikan peralatan uji pada tempatnya semula.

### 4.3 Data Hasil Pengujian Isolasi Transformator

Setelah melakukan pengujian isolasi transformator, data hasil pengujian akan kembali diolah untuk mengetahui kondisi isolasi transformator apakah telah sesuai dengan standar yang telah ditentukan. Data hasil pengujian saat ini (hasil uji tahun 2018) akan dibandingkan dengan data hasil dari pengujian sebelumnya (hasil uji tahun 2016), hal ini dilakukan untuk mengevaluasi dan mengetahui apakah ada penurunan kualitas pada isolasi transformator.

#### 4.3.1 Data Hasil Uji Indeks Polarisasi

Berikut ini adalah tabel data hasil uji indeks polarisasi pada Trafo 1 dari hasil uji sebelumnya (hasil uji tahun 2016) dengan hasil uji saat ini (hasil uji 2018).

Tabel 4.5 Data hasil uji indeks polarisasi pada Trafo 1

No.	Aktifitas	Hasil Uji Sebelumnya (2016)		Hasil Uji Saat Ini (2018)	
		1 Menit (MΩ)	10 Menit (MΩ)	1 Menit (MΩ)	10 Menit (MΩ)
1.	Primer-Ground	4.170	5.020	5.720	8.080
2.	Sekunder-Ground	3.860	5.310	4.200	6.850
3.	Tersier-Ground	2.360	4.650	3.110	6.450
4.	Primer-Sekunder	3.460	5.000	3.390	6.230
5.	Primer-Tersier	4.630	6.600	5.710	8.830
6.	Sekunder-Tersier	2.030	2.880	2.880	4.370

#### 4.3.2 Data Hasil Uji Tangen Delta

Berikut ini adalah tabel data hasil uji tangen delta pada Trafo 1 dari hasil uji sebelumnya (hasil uji tahun 2016) dengan hasil uji saat ini (hasil uji 2018):

Tabel 4.6 Data hasil uji tangen delta pada Trafo 1 tahun 2016

Pengujian	Test kV	Ic (mA)	Watts	Cap (pF)
<b>Inject HV: Primer</b>				
CHL	10,00	21,550	0,4064	6.862,06
CH	10,00	11,364	0,4095	3.618,28
CH+CHL	10,00	32,383	0,8205	10.461,60
<b>Inject HV: Sekunder</b>				
CLT	10,00	42,206	0,8530	13.472,08
CL	10,00	4,063	0,2788	1.293,15
CL+CLT	10,00	46,230	1,1328	14.732,9
<b>Inject HV: Tersier</b>				
CHT	2,00	0,104	0,0007	166,23
CT	2,00	7,823	0,0563	12.443,67
CT+CHT	2,00	7,913	0,0570	12.610,23

Tabel 4.7 Data hasil uji tangen delta pada Trafo 1 tahun 2018

Pengujian	Test kV		Ic (mA)	Watts	Cap (pF)
<b>Inject HV: Primer</b>					
CHL	10,00		21,520	0,3980	6.877,57
CH	10,00		11,341	0,3751	3.612,19
CH+CHL	10,00		32,822	0,7766	10.471,31
<b>Inject HV: Sekunder</b>					
CLT	10,00		42,521	0,8229	13.535,91
CL	10,00		4,010	0,2430	1.281,62
CL+CLT	10,00		46,398	1,0697	14.788,20
<b>Inject HV: Tersier</b>					
CHT	2,00		0,104	0,0006	166,59
CT	2,00		7,829	0,0566	12.504,01
CT+CHT	2,00		7,938	0,0576	12.670,68

#### 4.3.3 Data Hasil Uji *Break Down Voltage* (BDV)

Berikut ini adalah tabel data hasil uji *Break Down Voltage* pada Trafo 1 dari hasil uji sebelumnya (hasil uji tahun 2016) dengan hasil uji saat ini (hasil uji 2018):

Tabel 4.8 Data hasil uji *Break Down Voltage* pada Trafo 1

Minyak	Test ke-	Hasil Uji Sebelumnya (2016)	Hasil Uji Saat Ini (2018)
Minyak Bagian Bawah	1	55,2 kV	47,5 kV
	2	47,2 kV	71,3 kV
	3	39,6 kV	77,1 kV
	4	54,3 kV	55,6 kV
	5	52,8 kV	66,4 kV
	6	49,8 kV	75,0 kV
	Rata-rata	49,8 kV	65,5 kV
Minyak OLTC	1	35,6 kV	44,2 kV
	2	37,8 kV	40,7 kV

	3	39,9 kV	38,7 kV
	4	36,8 kV	47,8 kV
	5	36,9 kV	43,2 kV
	6	37,4 kV	49,1 kV
	Rata-rata	37,4 kV	43,9 kV

Tabel 4.8 Lanjutan.

#### 4.4 Perhitungan Nilai Indeks Polarisasi

Berdasarkan data hasil uji indeks polarisasi pada Trafo 1 maka nilai indeks polarisasinya dapat ditentukan dengan perhitungan berikut ini:

1. Hasil uji indeks polarisasi tahun 2016

a. Primer-Ground

$$IP = \frac{R_{10}}{R_1}$$

$$IP = \frac{5.020}{4.170}$$

$$IP = 1,20$$

b. Sekunder-Ground

$$IP = \frac{R_{10}}{R_1}$$

$$IP = \frac{5.310}{3.860}$$

$$IP = 1,37$$

c. Tersier-Ground

$$IP = \frac{R_{10}}{R_1}$$

$$IP = \frac{4.650}{2.360}$$

$$IP = 1,97$$

d. Primer-Sekunder

$$IP = \frac{R_{10}}{R_1}$$

$$IP = \frac{5.000}{3.460}$$

$$IP = 1,44$$

e. Primer-Tersier

$$IP = \frac{R_{10}}{R_1}$$

$$IP = \frac{6.600}{4.630}$$

$$IP = 1,42$$

f. Sekunder-Tersier

$$IP = \frac{R_{10}}{R_1}$$

$$IP = \frac{2.880}{2.030}$$

$$IP = 1,41$$

2. Hasil uji indeks polarisasi tahun 2018

a. Primer-Ground

$$IP = \frac{R_{10}}{R_1}$$

$$IP = \frac{8.080}{5.720}$$

$$IP = 1,41$$

b. Sekunder-Ground

$$IP = \frac{R_{10}}{R_1}$$

$$IP = \frac{6.850}{4.200}$$

$$IP = 1,63$$

c. Tersier-Ground

$$IP = \frac{R_{10}}{R_1}$$

$$IP = \frac{6.450}{3.110}$$

$$IP = 2,07$$

d. Primer-Sekunder

$$IP = \frac{R_{10}}{R_1}$$

$$IP = \frac{6.230}{3.390}$$

$$IP = 1,84$$

e. Primer-Tersier

$$IP = \frac{R_{10}}{R_1}$$

$$IP = \frac{8.830}{5.710}$$

$$IP = 1,55$$

f. Sekunder-Tersier

$$IP = \frac{R_{10}}{R_1}$$

$$IP = \frac{4.370}{2.880}$$

$$IP = 1,52$$

Berdasarkan hasil perhitungan indeks polarisasi tersebut maka kondisi isolasi pada Trafo 1 dapat diketahui. Jika nilai indeks polarisasi nya masih dalam batas wajar maka transformator tersebut dalam keadaan baik. Dan berikut merupakan nilai standart dari indeks polarisasi yang diizinkan.

Tabel 4.9 Klasifikasi kondisi hasil uji indeks polarisasi

Kondisi	Indeks Polarisasi
Berbahaya	< 1,0
Jelek	1,0 - 1,1
Dipertanyakan	1,1 – 1,25

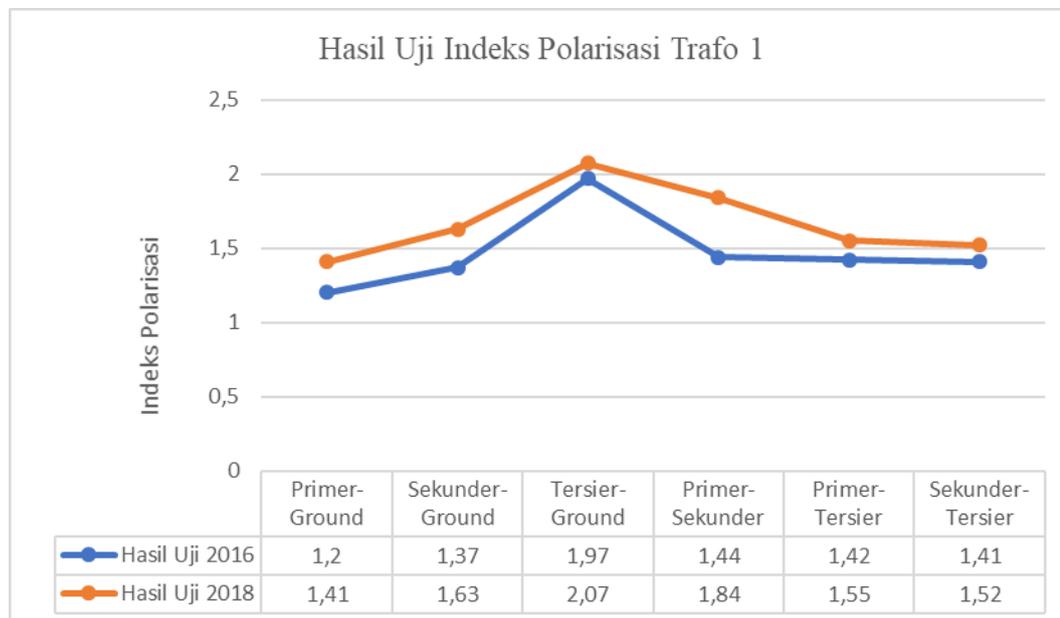
Baik	1,25 – 2,0
Sangat Baik	> 2,0

Tabel 4.9 Lanjutan.

Tabel 4.10 Data nilai indeks polarisasi pada Trafo 1

No.	Aktifitas	Hasil Uji Sebelumnya (2016)		Hasil Uji Saat Ini (2018)	
		IP	Keterangan	IP	Keterangan
1.	Primer-Ground	1,20	Dipertanyakan	1,41	Baik
2.	Sekunder-Ground	1,37	Baik	1,63	Baik
3.	Tersier-Ground	1,97	Baik	2,07	Sangat Baik
4.	Primer-Sekunder	1,44	Baik	1,84	Baik
5.	Primer-Tersier	1,42	Baik	1,55	Baik
6.	Sekunder-Tersier	1,41	Baik	1,52	Baik

#### 4.5 Analisis Nilai Indeks Polarisasi



Gambar 4.8 Grafik hasil pengujian indeks polarisasi pada Trafo 1

Dari hasil uji dan hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa kondisi belitan isolasi pada Trafo 1 dalam keadaan baik. Ini karena nilai indeks polarisasi pada tahun 2016 dan tahun 2018 rata-rata masih baik dan dalam standart yang

diizinkan yaitu 1,25-2 (baik). Namun terdapat beberapa bagian yang mengalami kondisi di bawah standart yaitu pada hasil uji tahun 2016 pada bagian Primer-Ground. Nilai indeks polarisasi pada bagian Primer-Ground hanya sebesar 1,2 dan termasuk dalam kondisi yang dipertanyakan (1,1-1,25) sehingga diperlukan tindakan lanjut untuk memperbaiki nilai indeks polarisasinya. Dan ada beberapa hal yang dapat mempengaruhi besarnya nilai indeks polarisasi pada isolasi transformator yaitu air dan gelembung udara. Air dan gelembung udara pada transformator dapat menyebabkan terjadinya hubung singkat dan penurunan kualitas isolasi transformator. Sehingga kondisi pada bagian dalam transformator harus benar-benar kering. Selain itu sifat dari kertas isolasi belitan pada transformator sangat mudah menyerap air sehingga memang pada belitan transformator kondisinya harus kering dan tidak terdapat air ataupun gelembung udara. Berdasarkan grafik hasil uji indeks polarisasi pun terdapat peningkatan nilai indeks polarisasi pada tahun 2018. Pada bagian Primer-Groundnya pun nilai indeks polarisasinya sudah sebesar 1,41 yang dimana nilai tersebut sudah diatas standart yang diizinkan yaitu 1,25-2 (baik). Ini berarti pihak dari PLN sudah melakukan perbaikan pada isolasi belitan transformatornya. Umumnya perbaikan yang dilakukan adalah dengan cara divacuum pada bagian dalam transformator sehingga tidak terdapat lagi air dan gelembung udaranya.

#### 4.6 Perhitungan Nilai Tangen Delta

Berdasarkan data hasil uji tangen delta pada Trafo 1 maka nilai tangen deltanya dapat ditentukan dengan perhitungan berikut ini:

1. Hasil uji tangen delta tahun 2016

a. CHL

$$\text{Tan } \delta = \frac{P}{V^2 \cdot \omega \cdot C}$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,4064}{10.000^2 \times 2 \times 3,14 \times 50 \times 6.862,06 \times 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,4064}{10^8 \times 314 \times 6.862,06 \times 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,4064}{314 \times 0,686206} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,4064}{215,5} \times 100\% = 0,19\%$$

b. CH

$$\text{Tan } \delta = \frac{P}{V^2 \cdot \omega \cdot C}$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,4095}{10.000^2 \times 2 \times 3,14 \times 50 \times 3.618,28 \times 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,4095}{10^8 \times 314 \times 3.618,28 \times 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,4095}{314 \times 0,361828} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,4095}{113,6} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = 0,36\%$$

c. CH+CHL

$$\text{Tan } \delta = \frac{P}{V^2 \cdot \omega \cdot C}$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,8205}{10.000^2 \times 2 \times 3,14 \times 50 \times 10.461,60 \times 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,8205}{10^8 \times 314 \times 10.461,60 \times 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,8205}{314 \times 1,046160} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,8205}{328,5} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = 0,25\%$$

d. CLT

$$\text{Tan } \delta = \frac{P}{V^2 \cdot \omega \cdot C}$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,8530}{10.000^2 \times 2 \times 3,14 \times 50 \times 13.472,08 \times 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,8530}{10^8 \times 314 \times 13.472,08 \times 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,8530}{314 \times 1,347208} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,8530}{423,0} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = 0,20\%$$

e. CL

$$\text{Tan } \delta = \frac{P}{V^2 \cdot \omega \cdot C}$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,2788}{10.000^2 \times 2 \times 3,14 \times 50 \times 1.293,15 \times 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,2788}{10^8 \times 314 \times 1.293,15 \times 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,2788}{314 \times 0,129315} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,2788}{40,6} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = 0,69\%$$

f. CL+CLT

$$\text{Tan } \delta = \frac{P}{V^2 \cdot \omega \cdot C}$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{1,1328}{10.000^2 \times 2 \times 3,14 \times 50 \times 14.732,9 \times 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{1,1328}{10^8 \times 314 \times 14.732,9 \times 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{1,1328}{314 \times 1,47329} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{1,1328}{462,6} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = 0,24\%$$

g. CHT

$$\text{Tan } \delta = \frac{P}{V^2 \cdot \omega \cdot C}$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,0007}{2.000^2 \times 2 \times 3,14 \times 50 \times 166,23 \times 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,0007}{10^6 \times 1.256 \times 166,23 \times 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,0007}{1.256 \times 0,00016623} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,0007}{0,2087} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = 0,33\%$$

h. CT

$$\text{Tan } \delta = \frac{P}{V^2 \cdot \omega \cdot C}$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,0563}{2.000^2 \times 2 \times 3,14 \times 50 \times 12.443,67 \times 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,0563}{10^6 \times 1.256 \times 12.443,67 \times 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,0563}{1.256 \times 0,01244367} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,0563}{15,629} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = 0,36\%$$

i. CT+CHT

$$\text{Tan } \delta = \frac{P}{V^2 \cdot \omega \cdot C}$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,0570}{2.000^2 \times 2 \times 1.256 \times 50 \times 12.610,23 \times 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,0570}{10^6 \times 1.256 \times 12.610,23 \times 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,0570}{1.256 \times 0,01261023} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,0570}{15,838} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = 0,36\%$$

## 2. Hasil uji tagen delta tahun 2018

### a. CHL

$$\text{Tan } \delta = \frac{P}{V^2 \cdot \omega \cdot C}$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,3980}{10.000^2 \times 2 \times 3,14 \times 50 \times 6.877,57 \times 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,3980}{10^8 \times 314 \times 6.877,57 \times 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,3980}{314 \times 0,687757} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,3980}{215,9} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = 0,18\%$$

### b. CH

$$\text{Tan } \delta = \frac{P}{V^2 \cdot \omega \cdot C}$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,3751}{10.000^2 \times 2 \times 3,14 \times 50 \times 3.612,19 \times 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,3751}{10^8 \times 314 \times 3.612,19 \times 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,3751}{314 \times 0,361219} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,3751}{113,4} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = 0,33\%$$

c. CH+CHL

$$\text{Tan } \delta = \frac{P}{V^2 \cdot \omega \cdot C}$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,7766}{10.000^2 \times 2 \times 3,14 \times 50 \times 10.471,31 \times 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,7766}{10^8 \times 314 \times 10.471,31 \times 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,7766}{314 \times 1,047131} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,7766}{328,8} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = 0,24\%$$

d. CLT

$$\text{Tan } \delta = \frac{P}{V^2 \cdot \omega \cdot C}$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,8299}{10.000^2 \times 2 \times 3,14 \times 50 \times 13.535,91 \times 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,8299}{10^8 \times 314 \times 13.535,91 \times 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,8299}{314 \times 1,353591} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,8299}{425,0} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = 0,19\%$$

e. CL

$$\text{Tan } \delta = \frac{P}{V^2 \cdot \omega \cdot C}$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,2430}{10.000^2 \times 2 \times 3,14 \times 50 \times 1.281,62 \times 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,2430}{10^8 \times 314 \times 1.281,62 \times 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,2430}{314 \times 0,128162} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,2430}{40,2} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = 0,60\%$$

f. CL+CLT

$$\text{Tan } \delta = \frac{P}{V^2 \cdot \omega \cdot C}$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{1,0697}{10.000^2 \times 2 \times 3,14 \times 50 \times 14.788,20 \times 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{1,0697}{10^8 \times 314 \times 14.788,20 \times 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{1,0697}{314 \times 1,478820} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{1,0697}{464,3} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = 0,23\%$$

g. CHT

$$\text{Tan } \delta = \frac{P}{V^2 \cdot \omega \cdot C}$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,0006}{2.000^2 \times 2 \times 3,14 \times 50 \times 166,59 \times 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,0006}{10^6 \times 1.256 \times 166,59 \times 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,0006}{1.256 \times 0,00016659} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,0006}{0,2092} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = 0,29\%$$

h. CT

$$\text{Tan } \delta = \frac{P}{V^2 \cdot \omega \cdot C}$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,0566}{2.000^2 \times 2 \times 3,14 \times 50 \times 12.504,01 \times 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,0566}{10^6 \times 1.256 \times 12.504,01 \times 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,0566}{1.256 \times 0,01250401} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,0566}{15,705} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = 0,36\%$$

i. CT+CHT

$$\text{Tan } \delta = \frac{P}{V^2 \cdot \omega \cdot C}$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,0576}{2.000^2 \times 2 \times 3,14 \times 50 \times 12.670,68 \times 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,0576}{10^6 \times 1.256 \times 12.670,68 \times 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,0576}{1.256 \times 0,01267068} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,0576}{15,914} \times 100\%$$

$$\text{Tan } \delta = 0,36\%$$

Berdasarkan hasil uji tangeren delta, isolasi trafo akan dinyatakan dalam kondisi baik jika hasil pengukurannya kurang dari 0,5%. Berikut adalah standart nilai uji tangeren delta pada transformator.

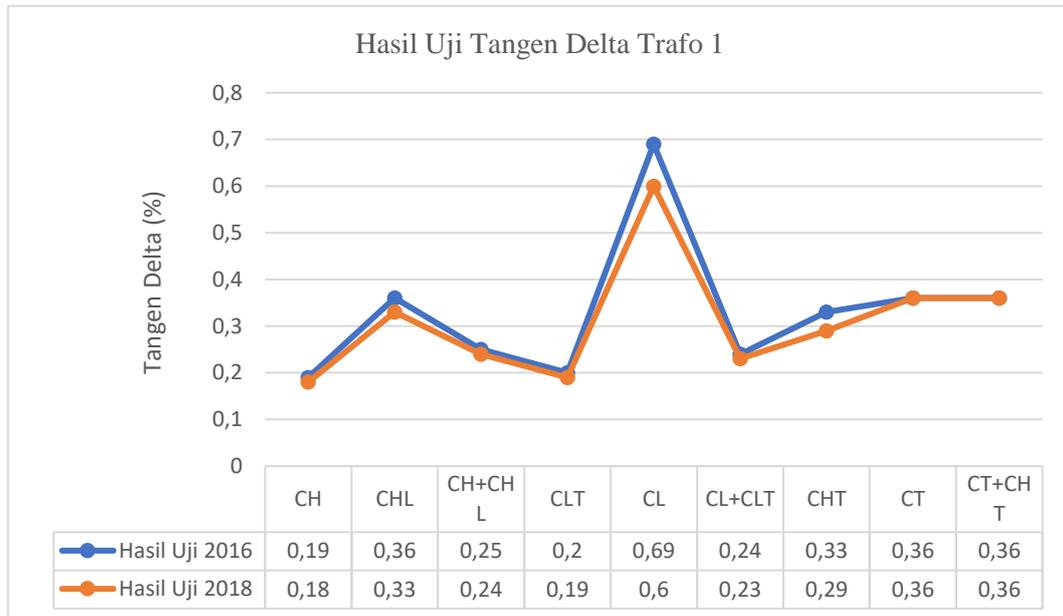
Tabel 4.11 Klasifikasi kondisi hasil uji tangeren delta

Hasil Uji	Kondisi
< 0,5 %	Bagus
≥ 0,5 % - 0,7 %	Mengalami penurunan
≥ 0,7 % - 1,0 %	Perlu investigasi
≥ 1,0 %	Jelek, perlu reklamasi

Tabel 4.12 Data nilai tangeren delta pada Trafo 1

Pengujian	Hasil Uji Sebelumnya (2016)		Hasil Uji Saat Ini (2018)	
	Tangeren Delta	Keterangan	Tangeren Delta	Keterangan
<b>Inject HV: Primer</b>				
CHL	0,19%	Bagus	0,18%	Bagus
CH	0,36%	Bagus	0,33%	Bagus
CH+CHL	0,25%	Bagus	0,24%	Bagus
<b>Inject HV: Sekunder</b>				
CLT	0,20%	Bagus	0,19%	Bagus
CL	0,69%	Mengalami Penurunan	0,60%	Mengalami Penurunan
CL+CLT	0,24%	Bagus	0,23%	Bagus
<b>Inject HV: Tersier</b>				
CHT	0,33%	Bagus	0,29%	Bagus
CT	0,36%	Bagus	0,36%	Bagus
CT+CHT	0,36%	Bagus	0,36%	Bagus

#### 4.7 Analisis Tangen Delta Pada Transformator



Gambar 4.9 Grafik hasil pengujian tangen delta pada Trafo 1

Dari hasil uji dan hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa kondisi kualitas belitan isolasi pada Trafo 1 dalam keadaan baik. Ini karena nilai tangen delta pada tahun 2016 dan tahun 2018 rata-rata masih baik dan dalam standart yang diizinkan yaitu kurang dari 0,5%(bagus). Namun terdapat beberapa bagian yang mengalami penurunan kualitas yaitu pada hasil uji tahun 2016 pada bagian CL. Dimana nilai tangen delta pada bagian CL sebesar 0,69% dan nilai tersebut termasuk dalam kondisi mengalami penurunan (sama dengan atau lebih dari 0,5%-0,7%) sehingga perlu tindak lanjut untuk memperbaiki nilai tangen deltanya. Namun nilai tangen delta tersebut tidak terlalu berpengaruh pada sistem kerja transformator karena nilainya yg masih jauh dengan kondisi tangen delta yang buruk. Namun berdasarkan grafik hasil uji tangen delta terdapat penurunan nilai tangen delta pada hasil uji tahun 2018 disemua bagian kapasitansi. Hal ini berarti pihak PLN sudah memperbaikinya sehingga kondisi isolasi transformatornya semakin baik. Karena semakin kecil nilai tangen deltanya maka akan semakin baik kondisi isolasi transformatornya begitu juga dengan sebaliknya. Walaupun perubahan nilai tangen deltanya tidak terlalu signifikan tetapi hal tersebut sudah cukup untuk meningkat kan kondisi isolasi pada transformator.

#### 4.8 Analisis Pengaruh Ir Terhadap Losses Daya

Ir atau I resistif adalah arus yang mengalir melalui isolasi yang memiliki komponen resistif. Ir merupakan salah satu indikator untuk mengetahui kondisi dari isolasi transformator. Ir juga merupakan salah satu penyebab timbulnya losses daya pada isolasi transformator. Dan berdasarkan hasil pengujian tangen delta, maka nilai Ir nya dapat diketahui dengan rumus  $P = V.Ir$ . Dari rumus tersebut juga dapat diketahui seberapa besar pengaruh Ir terhadap besarnya nilai losses daya yang ditimbulkan dengan tegangan yang sama. Dan berikut ini adalah cara menentukan nilai Ir pada isolasi transformator.

- Perhitungan Ir

$$P = V.Ir$$

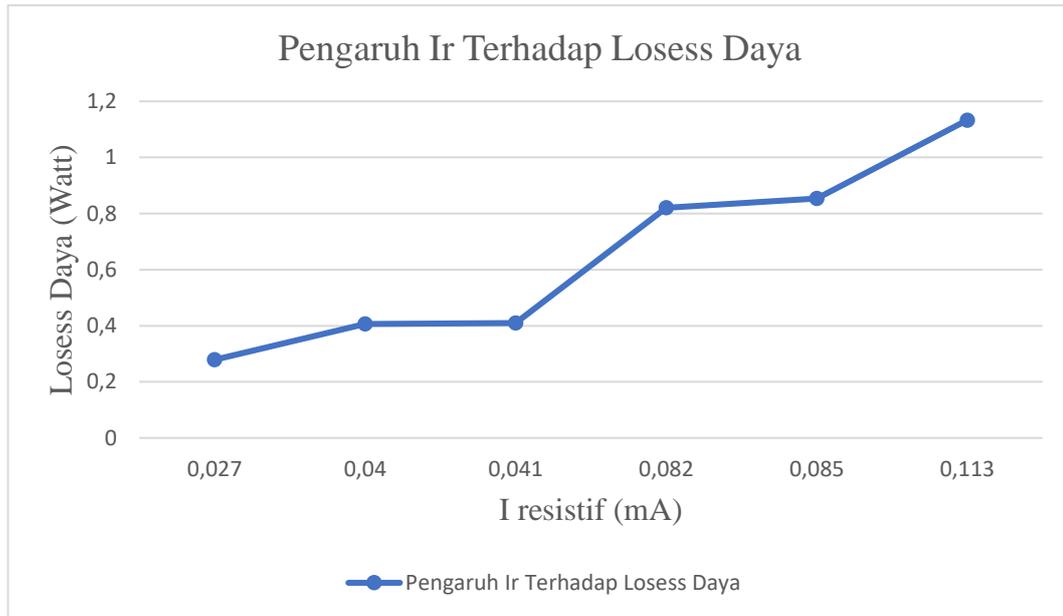
$$Ir = \frac{P}{V}$$

$$Ir = \frac{0,4064}{10.000}$$

$$Ir = 0,04 \text{ mA}$$

Tabel 4.13 Data nilai Ir yang dihasilkan

Losses Daya (watt)	Tegangan Uji (kV)	Ir (mA)
0,2788	10,00	0,027
0,4064	10,00	0,040
0,4095	10,00	0,041
0,8205	10,00	0,082
0,8530	10,00	0,085
1,1328	10,00	0,113



Gambar 4.10 Grafik pengaruh Ir terhadap losess daya

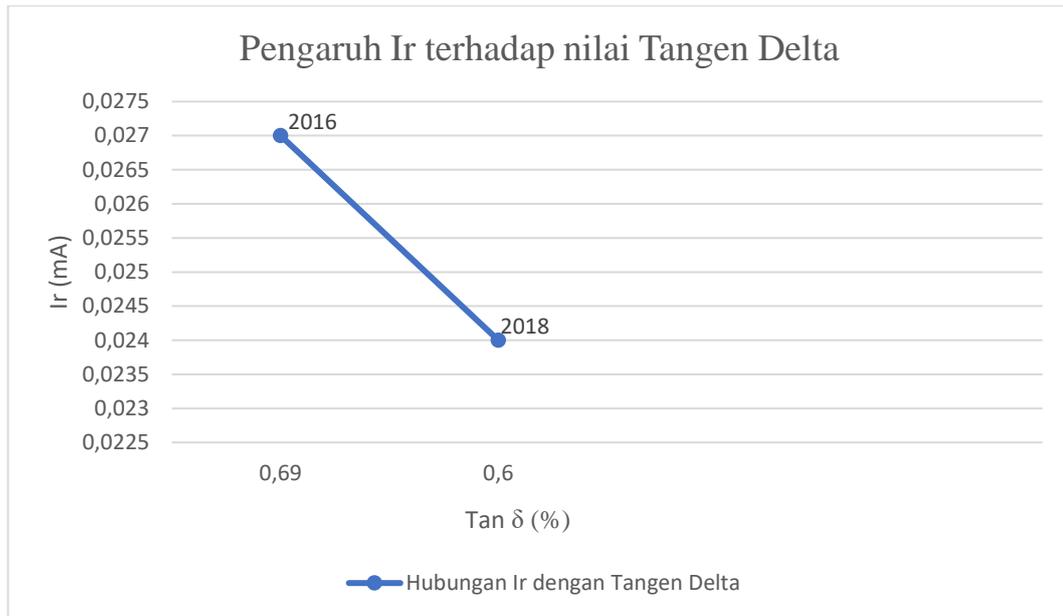
Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai Ir akan mempengaruhi besarnya losess daya. Karena semakin besar nilai Ir pada isolasi transformator maka akan semakin besar pula losess daya yang dihasilkan dan jika semakin kecil nilai Ir nya maka akan semakin kecil pula nilai losess dayanya. Ini berarti besarnya nilai losess daya berbanding lurus dengan besarnya nilai Ir dengan menggunakan tegangan yang sama. Nilai Ir ini disebabkan adanya kontaminasi dan penurunan kualitas pada isolasi transformator. Oleh sebab itu perawatan dan pemeliharaan pada bagian isolasi transformator sangat diperlukan untuk menghilangkan nilai Ir pada isolasi transformator. Karena jika nilai Ir = 0 berdasarkan rumus  $P = V \cdot I_r$ , maka yang terjadi adalah  $P = V \cdot 0$  dan  $P = 0$ . Dan ini berarti losess dayanya akan bernilai 0 atau tidak ada losess dayanya

#### 4.9 Analisis Pengaruh Ir Terhadap Nilai Tangen Delta

Seperti yang diketahui sebelumnya Ir merupakan arus yang terjadi akibat adanya gangguan pada isolasi transformator. Ir juga merupakan salah satu penyebab terjadinya rugi sudut atau tangen delta. Dan berdasarkan rumus  $\tan \delta = \frac{I_r}{I_c}$  kita dapat mengetahui hubungan antara nilai Ir dengan tangen delta. Dan seperti diketahui sebelumnya juga tan delta merupakan rugi sudut arus yang disebabkan oleh menurunnya kondisi isolasi pada transformator.

Tabel 4.14 Data pengaruh Ir terhadap nilai tangen delta

Tan $\delta$		Ir (mA)	
Hasil Uji Sebelumnya	Hasil Uji Saat Ini	Hasil Uji Sebelumnya	Hasil Uji Saat Ini
0,69 %	0,60 %	0,027	0,024



Gambar 4.11 Grafik pengaruh Ir terhadap nilai tangen delta

Dari tabel dan grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa hubungan Ir dan tan delta dengan nilai Ic yang tetap adalah searah. Jadi semakin kecil nilai Ir nya maka akan semakin kecil pula tan delta yang dihasilkan dan semakin besar nilai Ir nya maka akan semakin besar pula tan deltanya. Ini sesuai dengan rumus  $\tan \delta = \frac{I_r}{I_c}$  dimana besarnya nilai tangen delta sangat dipengaruhi oleh besarnya Ir yang dihasilkan. Karen semakin kecil nilai tangen deltanya maka akan semakin bagus kondisi isolasi transformatornya. Jika  $I_r = 0$  maka yang terjadi adalah  $\tan \delta = \frac{0}{I_c}$  dan  $\tan \delta = 0$  dan kondisi isolasi transformator yang bagus adalah jika tangen deltanya bernilai 0. Dan jika  $I_r = 0$  berdasarkan rumus  $I_t = I_r + I_c$  maka yang terjadi adalah  $I_t = 0 + I_c$  dan  $I_t = I_c$ , oleh sebab itu arus yang mengalir pada isolasi seharusnya arus kapasitif murni.

#### 4.10 Perhitungan Nilai *Break Down Voltage* (BDV)

Berdasarkan data hasil uji *Break Down Voltage* pada Trafo 1 maka nilai *Break Down Voltage* dapat ditentukan dengan perhitungan berikut ini:

1. Hasil uji *Break Down Voltage* tahun 2016

a. Minyak bagian bawah

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

$$E_{rata-rata} = \frac{49,8 \text{ kV}}{2,5 \text{ mm}}$$

$$E_{rata-rata} = 19,92 \text{ kV/mm}$$

b. Minyak OLTC

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

$$E_{rata-rata} = \frac{37,4 \text{ kV}}{2,5 \text{ mm}}$$

$$E_{rata-rata} = 14,96 \text{ kV/mm}$$

2. Hasil uji *Break Down Voltage* tahun 2018

a. Minyak bagian bawah

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

$$E_{rata-rata} = \frac{65,5 \text{ kV}}{2,5 \text{ mm}}$$

$$E_{rata-rata} = 26,2 \text{ kV/mm}$$

b. Minyak OLTC

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

$$E_{rata-rata} = \frac{43,9 \text{ kV}}{2,5 \text{ mm}}$$

$$E_{rata-rata} = 17,44 \text{ kV/mm}$$

Dan berdasarkan hasil uji tegangan tembus (BDV), minyak isolasi trafo akan dinyatakan dalam kondisi baik jika hasil pengukurannya sesuai dengan standart nilai yang telah ditentukan. Berikut adalah standart nilai tegangan tembus pada minyak transformator.

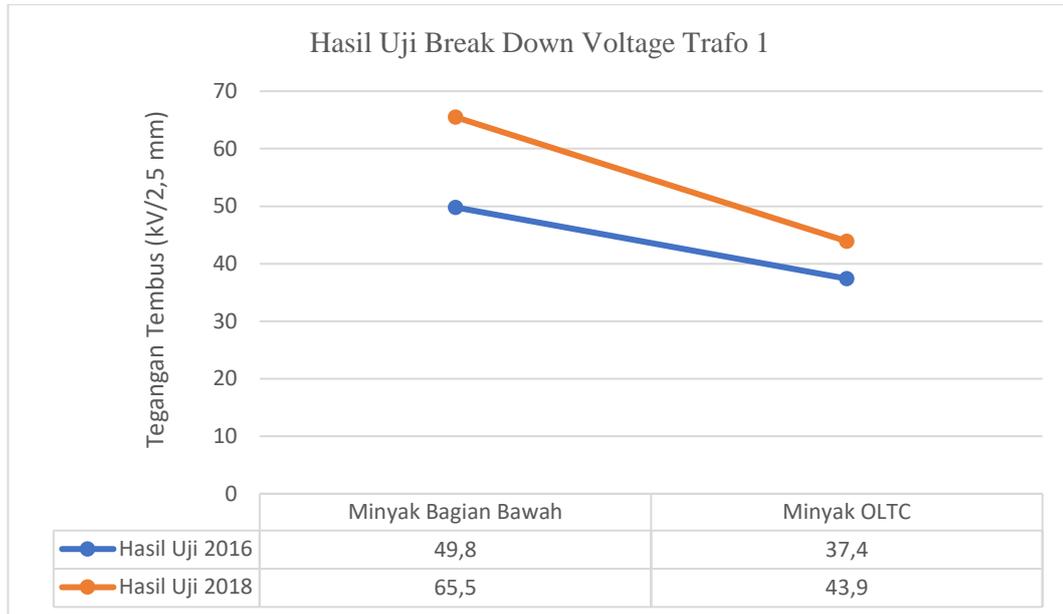
Tabel 4.15 Klasifikasi kondisi hasil uji Break Down Voltage

Tegangan (kV)	Bagus (kV/mm)	Buruk (kV/mm)
< 70	> = 30 kV/2.5 mm	< = 30 kV/2.5 mm
70-170	> = 40 kV/2.5 mm	< = 40 kV/2.5 mm
> 170	> = 50 kV/2.5 mm	< = 50 kV/2.5 mm

Tabel 4.16 Data nilai BDV pada Trafo 1

Minyak	Hasil Uji Sebelumnya (2016)		Hasil Uji Saat Ini (2018)	
	BDV	Keterangan	BDV	Keterangan
Minyak Bagian bawah	49,8 kV/2,5 mm	Bagus	65,5 kV/2,5 mm	Bagus
Minyak OLTC	37,4 kV/2,5 mm	Buruk	43,9 kV/2,5 mm	Bagus

#### 4.11 Analisis Break Down Voltage Transformator



Gambar 4. 12 Grafik hasil pengujian *Break Down Voltage* pada Trafo 1

Dari hasil uji dan hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa kondisi kualitas minyak isolasi pada Trafo 1 dalam keadaan baik. Ini karena nilai BDV pada minyak bagian bawah dan minyak OLTC rata-rata dalam keadaan baik dan sesuai dengan standart yang diizinkan yaitu harus lebih dari 40 kV/2,5 mm. Namun pada bagian minyak OLTC di hasil uji tahun 2016 nilai BDV nya mengalami kondisi penurunan sebesar 37,4kv. Tapi berdasarkan grafik hasil uji BDV terjadi peningkatan kualitas BDV minyak pada hasil uji tahun 2018 ini berarti pihak PLN melakukan perbaikan pada minyak transformator. Perbaikan ini biasanya berupa purifikasi atau penggantian minyak itu sendiri. Purifikasi merupakan sebuah cara untuk memurnikan kandungan minyak transformator. Karena minyak transformator yang digunakan menerima tegangan tinggi dan dalam waktu yang lama maka dapat mengalami penurunan kualitas seperti minyak menjadi kotor, terdapat kandungan air ataupun gelembung udara. Terdapat beberapa tahap dalam purifikasi yaitu *boiling, filtering, centrifuge reclaiming* dan *regeneration*.