

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Penelitian

Setelah melakukan penelitian di PT. INDONESIA POWER UJP PLTU Jawa Tengah 2 Adipala, didapatkan data tentang permasalahan dan tujuan penelitian yang akan dibahas yaitu pengujian tahanan isolasi *tangent delta* pada bushing generator transformer. Data yang diperoleh dari hasil pengujian nantinya akan dideskripsikan untuk menyelesaikan permasalahan dalam penelitian ini.

Hasil observasi tentang tahanan isolasi generator dapat mengetahui mengenai bagaimana pemeliharaan bushing generator transformer serta hasil dari pengujian tahanan isolasi pada generator PT. INDONESIA POWER UJP PLTU Jawa Tengah 2 Adipala dengan metode *tangent delta*.

#### 4.2 Pengujian Insulation Resistance

Pengujian PI, digunakan untuk mengetahui tingkat kekeringan, kebersihan dan keamanan isolasi suatu belitan pada mesin listrik. Pengukuran ini dilakukan selama 10 menit, dengan membandingkan hasil pengukuran tahanan isoalsi 10 menit terhadap hasil pengukuran selama 1 menit. Dengan rumus sebagai berikut :

$$PI = \text{Pengukuran 10 menit} / \text{Pengukuran 1 menit}$$

- Untuk isolasi belitan yang baik, nilai PI harus minimum 2 pada pengukuran di temperatur 20 °C.
- Nilai PI dibawah diantara 1.5 - 2 , peralatan masih dapat dioperasikan, tapi perlu pengawasan dan pemantauan berkala.
- Nilai PI dibawah 1.5, mengindikasikan isolasi belitan peralatan tersebut dalam keadaan basah, kotor atau sudah ada yang bocor. Sehingga perlu dilakukan pembersihan, pengeringan dan refurbish apabila ditemukan kerusakan pada isolasinya.

Sekarang ini sudah banyak alat Insulation Resistance Meter yang bisa mengukur tahanan isolasi dan PI yang dapat menampilkan hasil pengukuran pada suhu 20 °C, dengan melakukan konversi secara otomatis sesuai dengan standar IEC.

Pengukuran tahanan isolasi (insulation resistance test) maupun Polarisation Index (PI) dapat dilakukan dilapangan, dan biasanya dilaksanakan sebagai pengukuran awal untuk menentukan langkah selanjutnya apakah peralatan tersebut dapat diperbaiki dilapangan atau harus dibawa ke workshop untuk dilakukan pengetesan lebih lanjut.

Untuk setiap pengukuran belitan dengan insulation resistance test selesai dilakukan, jangan lupa untuk mengosongkan muatan belitan tersebut, dengan menghubungkan singkatkan titik pengukuran belitan dengan ground.

Data pengujian Polarisation Index yang dilakukan pada Generator Transformer setelah terjadi flash over pada Arrsester. Data uji Insulation Resistance ditunjukkan pada Tabel 4.1.

**Tabel 4. 1 Data uji Insulation Resistance**

<b>NO</b>	<b>INFORMATION</b>	<b>R1</b>	<b>R10</b>	<b>PI (GΩ)</b>
1	Test HV	1.735	3	1.729
2	Test LV	10.84	29.9	2.75
3	Bushing	8.74	21.8	2.49

Perhitungan Polarisation Index adalah sebagai berikut:

PI:  $R_{10}/R_1$

Dimana:

PI : Polarisation Index

R10 : Pengujian pada menit ke 10

R1 : Pengujian pada menit ke 1

Perhitungan Polarisation Index diatas bisa menggunakan rumus diatas, dari data yang diperoleh dapat dilakukan perhitungan:

Perhitungan Test Bushing

PI :  $R_{10}/R_1$

: 8.74/21.8

: 2.49 GΩ

Hasil Perhitungan pada Test Bushing diatas menyatakan Polarisation Index masih keadaan baik. Standar Polarisation Index Trafo adalah sebagai berikut:

Standar Polarisation Index:

1 – 1.1 : Jelek

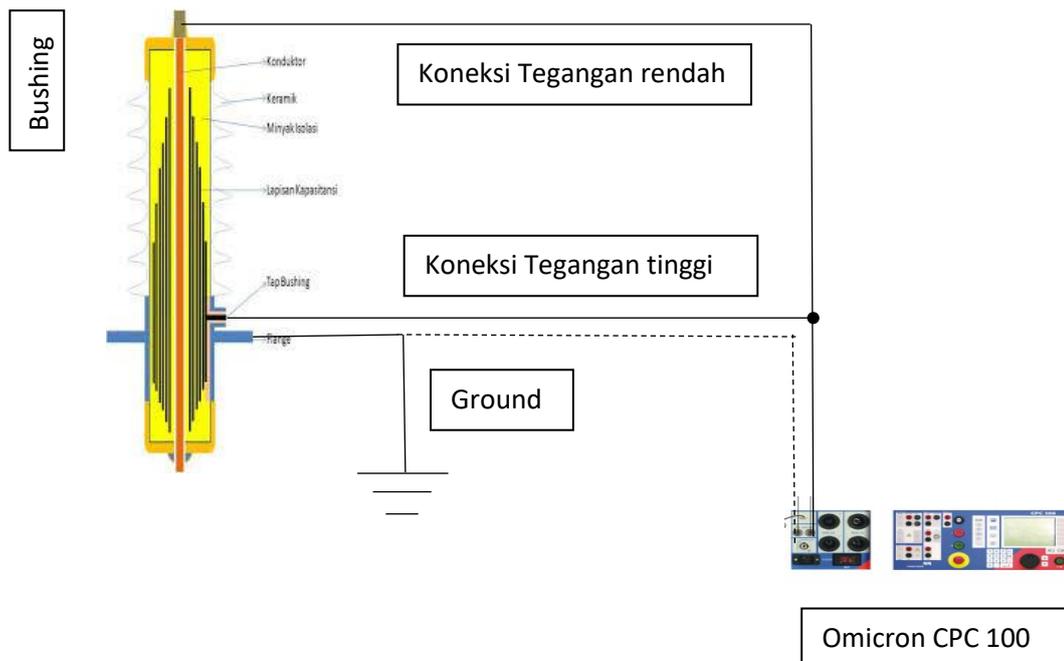
1.1 – 1.25 : Dipertanyakan

1.25 – 2 : Baik

Standar Polarisation Index Trafo, apabila hasil pengujian diantara 1 – 1.1 harus ditindak lanjuti apakah trafo kotor, lembab, atau sudah ada yang bocor, maka perlu ditindak lanjuti, atau bisa melakukan uji tan delta. Dan hasil pengujian diatas 1.25 – 2 trafo keadaan baik tidak perlu dipantau, hanya saja untuk hasil pengujian 1.1 – 1.25 masih perlu dipantau lagi.

#### **4.3 Rangkaian Pengujian Tangent Delta**

Pada penelitian pengujian tahanan isolasi *tangent delta* bushing generator transformer PT INDONESIA POWER UJP PLTU Jawa Tengah 2 Adipala menggunakan mode pengujian GST-guard yang mana nilai kapasitansi yang digunakan sebagai referensi pengujian adalah kapasitansi objek yang diuji terhadap *ground* dan membatasi kapasitansi obyek lain yang mempengaruhi nilai kapasitansi. Rangkaian pengujian tan delta bushing ditunjukkan pada Gambar 4.1.



**Gambar 4.1 Rangkaian Pengujian Tan Delta bushing**

Pada gambar 4.1 ditunjukkan rangkaian pengujian tan delta dengan mode pengujian GST-guard. Langkah awal sebelum melakukan pengujian adalah dengan membebaskan trafo dari tegangan dengan melepas sambungan ke busbar. Kemudian memasang pentanahan temporer pada trafo agar proses pengujian berjalan aman. Bersihkan bushing dan hubung singkat antar terminal primer, sekunder dan tersier dengan menggunakan bare konduktor atau kabel lurus. Kemudian untuk *kabel Low Voltage Lead* dihubungkan ke konduktor bushing dan *High Voltage Lead* ke Tap Bushing. Lalu sambungkan kabel ground Omicron CPC 100 ke ground sebagai pengaman. Setelah rangkaian dipastikan terpasang semua dengan benar, pengujian bisa dilakukan.

#### 4.4 Pengujian Tangent Delta

Setelah melakukan penelitian pada pengujian *tangent delta* telah mendapatkan hasil berupa pengukuran yang telah diuji menggunakan alat ukur Omicron CPC 100. Hasil yang didapatkan adalah hasil uji tahanan isolasi *tangent delta* pada tiap fasa sebelum terjadi nya *flashover* dan setelah terjadinya *flashover*. Fasa R, S, T telah diukur untuk mengetahui tahanan isolasi

Dari hasil pengujian tan delta bushing generator transformer pada PT. INDONESIA POWER UJP PLTU Jawa Tengah 2 Adipala diperoleh data-data sebagai berikut:

- Alat Ukur : Omicron CPC 100
- Step up Trafo : Transformator eksternal 22kV/500 Kv
- Tanggal : 6-7 September 2018
- Temperature : 31°C
- Waktu : Siang hari
- Frekuensi : 50 Hz

Pengukuran akan mendapatkan hasil berupa:

1. Pengujian *Tangent Delta* pada kondisi FAT.
2. Pengujian *Tangent Delta* pada kondisi *commisioning*.
3. Pengujian *Tangent Delta* pada tiap phasa setelah terjadinya *flashover*.
4. Pengujian *Tangent Delta* setelah dilakukan tindakan akibat *flashover*.

Pengukuran akan dilakukan tiap phasa generator transformer, agar mengetahui hasil dari tahanan isolasi pada tiap phasa, yaitu phasa R, S, T. Standar pengujian *tangent delta* yang digunakan pada generator transformer PT. INDONESIA POWER UJP PLTU Jawa Tengah 2 Adipala adalah *ANSI C 57.12.90*.

## 4.5 Pengujian Tangent Delta tiap Phasa

### 4.5.1 Pengujian pada Phasa R

Tabel 4. 2 Pengujian Tangent Delta pada phasa R

NO	KONDISI	PHASA R		TEGANGAN UJI (kV)
		KAPASITANSI ( $\mu$ F)	TAN DELTA (%)	
1	FAT	489.5	0.280	2
2	Commisioning	448.7	0.266	2
3	Setelah flashover	15845	0.590	10

Data hasil Pengujian *Tangent Delta* pada phasa R ditunjukkan pada tabel 4.2. Dari hasil pengujian pada phasa R hasil menunjukan berapa persen ukuran *tangent delta* pada phasa R dalam 3 kondisi, yaitu kondisi FAT, *Commisioning* dan kondisi setelah terjadinya *flash over*. Hasil tersebut menunjukan bahwa kondisi setiap isolasi mempengaruhi nilai daripada tan delta itu sendiri. Hal ini terbukti ketika dalam kondisi FAT, yaitu kondisi saat isolasi masih dalam uji kelayakan produk memiliki nilai rendah 0.280 % begitu juga saat dalam kondisi *commisioning* yaitu 0.266 %. Berbeda dengan ketika dalam kondisi setelah *flashover* karena memburuknya isolasi memiliki nilai tan delta 0.590%.

Sempel perhitungan pada phasa R pada kondisi setelah *flashover*:

$$\begin{aligned} \text{Tan Delta} &= \frac{P}{V^2 \omega C} 100\% \\ \text{Tan Delta} &= \frac{2.91377 \times 0.001}{10000^2 \times 2\pi f \times 15845 \times 10^{-12}} 100\% \\ \text{Tan Delta} &= \frac{2.91377 \times 10}{2 \times 3.14 \times 50 \times 15845} 100\% \\ \text{Tan Delta} &= 0.590\% \end{aligned}$$

Dimana:

P : Daya (Watt)

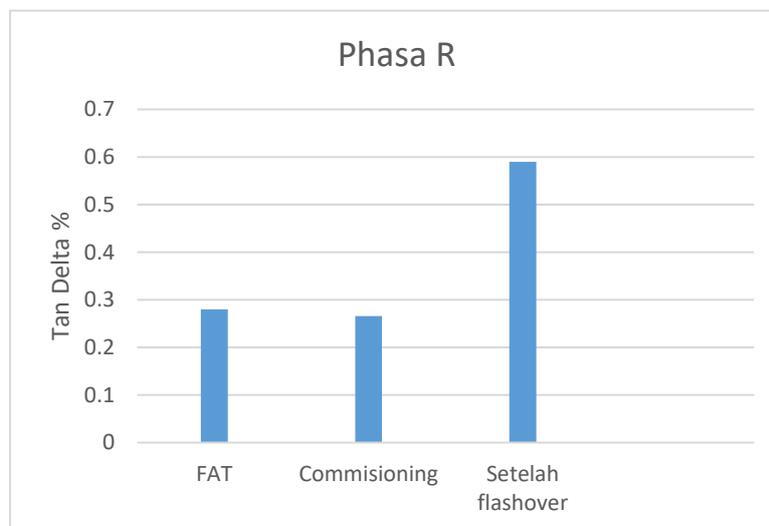
V : Tegangan (Volt)

C : Kapasitansi (Farad)

$\omega$  :  $2\pi f$

Grafik Pengujian Tangent Delta pada phasa R ditunjukkan oleh Gambar

4.2.



**Gambar 4. 2 Grafik Pengujian Tangent Delta pada phasa R**

#### 4.5.2 Pengujian pada Phasa S

Tabel 4. 3 Pengujian Tangent Delta pada phasa S

NO	KONDISI	PHASA S		TEGANGAN UJI (kV)
		KAPASITANSI ( $\mu$ F)	TAN DELTA (%)	
1	FAT	485.9	0.270	2
2	Commisioning	446.1	0.337	2
3	Setelah flashover	15849.7	0.630	10

Data hasil Pengujian *Tangent Delta* pada phasa S ditunjukkan pada tabel 4.3. Dari hasil pengujian pada phasa S hasil menunjukan berapa persen ukuran *tangent delta* pada phasa S dalam 3 kondisi, yaitu kondisi FAT, *Commisioning* dan kondisi setelah terjadinya *flash over*. Hasil tersebut menunjukan bahwa kondisi setiap isolasi mempengaruhi nilai daripada tan delta itu sendiri. Hal ini terbukti ketika dalam kondisi FAT, yaitu kondisi saat isolasi masih dalam uji kelayakan produk memiliki nilai rendah 0.270 % begitu juga saat dalam kondisi *commisioning* yaitu 0.337 %. Berbeda dengan ketika dalam kondisi setelah *flashover* karena memburuknya isolasi memiliki nilai tan delta 0.630%.

Sempel perhitungan pada phasa S pada kondisi setelah flashover:

$$\begin{aligned} \text{Tan Delta} &= \frac{P}{V^2 \omega C} 100\% \\ \text{Tan Delta} &= \frac{3.12381 \times 0.001}{10000^2 2\pi f \times 15849.7 \times 10^{12}} 100\% \\ \text{Tan Delta} &= \frac{3.12381 \times 10}{2 \times 3.14 \times 50 \times 15849.7} 100\% \\ \text{Tan Delta} &= 0.630\% \end{aligned}$$

Dimana:

P : Daya (Watt)

V : Tegangan (Volt)

C : Kapasitansi (Farad)

$\omega$  :  $2\pi f$

Grafik Pengujian Tangent Delta pada phasa S ditunjukkan oleh Gambar

4.3.



**Gambar 4. 3 Grafik Pengujian Tangent Delta pada phasa S**

### 4.5.3 Pengujian pada Phasa T

Tabel 4. 4 Pengujian Tangent Delta pada phasa T

NO	KONDISI	PHASA T		TEGANGAN UJI (kV)
		KAPASITANSI ( $\mu$ F)	TAN DELTA (%)	
1	FAT	486.6	0.270	2
2	Commisioning	448.8	0.337	2
3	Setelah flashover	15848.8	0.630	10

Data hasil pengujian *Tangent Delta* pada phasa T ditunjukkan pada tabel 4.4. Dari hasil pengujian pada phasa T hasil menunjukan berapa persen ukuran tangent delta pada phasa T dalam 3 kondisi, yaitu kondisi FAT, *Commisioning* dan kondisi setelah terjadinya *flash over*. Hasil tersebut menunjukan bahwa kondisi setiap isolasi mempengaruhi nilai daripada tan delta itu sendiri. Hal ini terbukti ketika dalam kondisi FAT, yaitu kondisi saat isolasi masih dalam uji kelayakan produk memiliki nilai rendah 0.270 % begitu juga saat dalam kondisi *commisioning* yaitu 0.337 %. Berbeda dengan ketika dalam kondisi setelah *flashover* karena memburuknya isolasi memiliki nilai tan delta 0.620%.

Sempel perhitungan pada phasa T pada kondisi setelah flashover:

$$\text{Tan Delta} = \frac{P}{V^2 \omega C} 100\%$$

$$\text{Tan Delta} = \frac{3.08995 \times 0.001}{10000^2 \times 2\pi f \times 15848.8 \times 10^{12}} 100\%$$

$$\text{Tan Delta} = \frac{3.12381 \times 10}{2 \times 3.14 \times 50 \times 15848.8} 100\%$$

$$\text{Tan Delta} = 0.620\%$$

Dimana:

P : Daya (Watt)

V : Tegangan (Volt)

C : Kapasitansi (Farad)

$\omega$  :  $2\pi f$

Grafik Pengujian Tangent Delta pada phasa T ditunjukkan oleh Gambar 4.4.



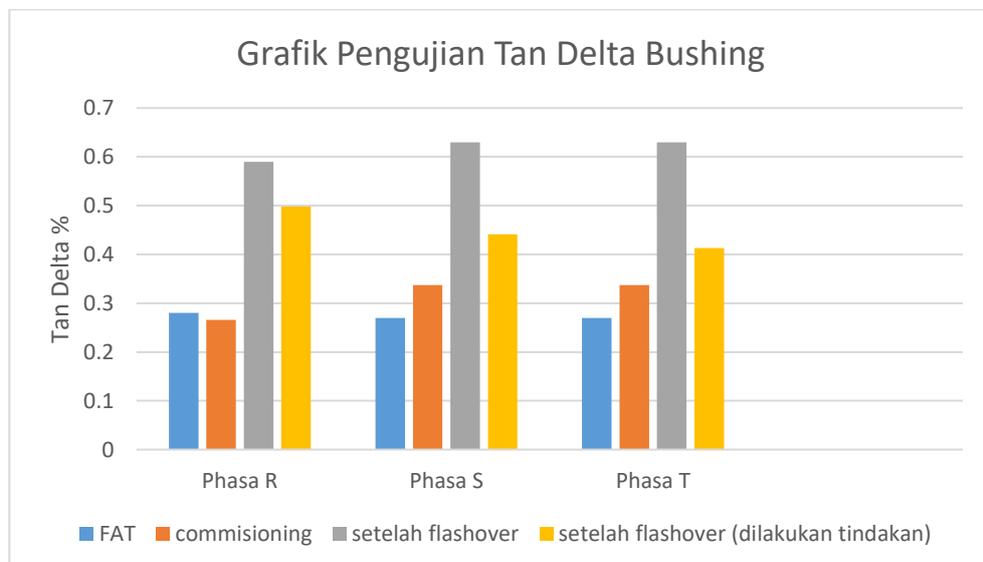
**Gambar 4. 4 Grafik Pengujian Tangent Delta pada phasa T**

#### 4.5.4 Pengujian Tangent Delta setelah dilakukan tindakan

Tabel 4. 5 Pengujian Tangent Delta setelah dilakukan tindakan

NO	PHASA	HASIL PENGUJIAN		TEGANGAN UJI (kV)
		KAPASITANSI ( $\mu$ F)	TAN DELTA (%)	
1	R	480.8	0.4984	10
2	S	477.0	0.4412	10
3	T	476.4	0.4131	10

Data Pengujian *Tangent Delta* setelah dilakukan tindakan ditunjukkan pada tabel 4.5. Dapat dilihat pada tabel 4.6 hasil pengujian *tangent delta* pada phasa R, S, T bernilai berbeda dengan pada saat baru terjadinya *flashover*. Pada phasa R memiliki nilai 0.4984%, pada phasa S memiliki nilai 0.4412% dan pada phasa T memiliki nilai 0.4131%. Grafik pengujian tan delta bushing ditunjukkan pada gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Grafik Pengujian Tan Delta Bushing

#### 4.6 Hasil dan Analisis Pengujian Tangent Delta

##### Standar Isolasi *Tangent Delta*

Pada pengujian Tangent Delta yang dilakukan dengan mencari nilai tahanan isolasi pada bushing generator transformer PT. INDONESIA POWER UJP PLTU Jawa Tengah 2 Adipala memiliki standar nilai yang menjadi acuan apakah tahanan isolasi pada bushing masih baik. Standar nilai yang dipakai untuk pengujian Tangent Delta pada bushing generator transformer PT. INDONESIA POWER UJP PLTU Jawa Tengah 2 Adipala yaitu standar dari *ANSI C 57.12.90*.

Nilai Tangent Delta dianggap baik bila memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

$\text{Tan}\delta < 0.5\%$  = bernilai baik

$0.5\% < \text{Tan}\delta < 0.7\%$  = perlu dilakukan tindakan

$\text{Tan}\delta > 0.7\%$  = bernilai buruk (harus dilakukan tindakan)

**Tabel 4. 6 Nilai Standar Tangent Delta**

KONDISI	PHASA	PHASA	PHASA	STANDAR	KRITERIA
	R	S	T		
FAT	0.280	0.270	0.270	$\text{Tan}\delta < 0.5\%$	Baik
Commisioning	0.266	0.337	0.337	$\text{Tan}\delta < 0.5\%$	Baik
Setelah Flashover	0.590	0.630	0.620	$0.5\% < \text{Tan}\delta < 0.7\%$	Perlu dilakukan tindakan
Setelah tindakan	0.4984	0.4412	0.4131	$\text{Tan}\delta < 0.5\%$	Baik

Data Nilai Standar pengujian *Tangent Delta* ditunjukkan pada tabel 4.6. Dari data hasil pengujian Tangent Delta tahanan isolasi *Tangent Delta* pada bushing

generator transformer PT. INDONESIA POWER UJP PLTU Jawa Tengah 2 Adipala pada saat kondisi FAT, FAT (*Factory Acceptance Test*) yaitu syarat yang harus dipenuhi oleh peralatan listrik untuk dapat beroperasi dengan baik. Dapat dilihat bahwa tahanan isolasi masih dalam kondisi baik pada saat kondisi FAT. Hal itu dikarenakan dari pengujian pada kondisi FAT, mendapatkan hasil bahwa fasa R, fasa S, dan fasa T memiliki nilai *Tangent Delta* yaitu 0.280% untuk fasa R, 0.270% untuk fasa S, dan 0.270% untuk fasa T. Hasil tersebut dapat dipastikan bahwa nilai tersebut tidak melampaui nilai dari standar yang sudah ditetapkan oleh *ANSI C 57.12.90* yaitu  $\text{Tan}\delta < 0.5\%$ . Jadi nilai pada setiap fasa masih dalam keadaan baik.

Pengujian juga dilakukan pada saat dalam kondisi *Commisioning*. *Commisioning* adalah kondisi pengujian secara operasional suatu peralatan listrik untuk memastikan bahwa telah memenuhi semua peraturan yang berlaku. Pada kondisi *Commisioning* fasa R, fasa S, dan fasa T memiliki keadaan isolasi yang baik dikarenakan nilai yang dihasilkan tidak melampaui standar yang sudah ditetapkan oleh *ANSI C 57.12.90*. sehingga peralatan listrik masih dapat bekerja dalam kondisi baik.

Pengujian yang ketiga adalah setelah terjadinya *flashover*. *Flashover* adalah gangguan loncatan api yang disebabkan antara isolator atau komponen listrik bertegangan tinggi. Pada saat kondisi setelah *flashover*, fasa R, fasa S, dan fasa T memiliki nilai tidak sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh *ANSI C 57.12.90* untuk bisa beroperasi. Hal itu dikarenakan nilai yang dihasilkan tiap fasa memiliki standar  $0.5\% < \text{Tan}\delta < 0.7\%$  sehingga perlu segera dilakukan tindakan sebelum beroperasi untuk mengurangi risiko terjadinya kerusakan pada peralatan listrik lainnya.

Setelah mengetahui bahwa nilai *Tangent Delta* bushing generator transformer PT. INDONESIA POWER UJP PLTU Jawa Tengah 2 Adipala bernilai buruk, pihak perusahaan terutama bagian pemeliharaan segera melakukan tindakan guna mengurangi risiko terjadinya kerusakan pada peralatan listrik lainnya. Tindakan pertama bagian pemeliharaan perusahaan yaitu membersihkan isolasi

untuk menghindari isolasi dari adanya komponen-komponen kecil mengganggu saat dilakukan pengujian seperti uap atau debu. Setelah dibersihkan dilakukan pelapisan pada isolasi dengan menggunakan *Dow Corning Compound* untuk melapisi isolasi bushing dari adanya retakan-retakan kecil tak terlihat. Setelah dilakukan pelapisan, dilakukan pengujian terakhir guna memastikan isolasi dapat bekerja dengan baik. Dari hasil pengujian terakhir dapat dilihat bahwa nilai tiap masing-masing fasa bernilai baik atau tidak melampaui dari standar yang telah ditetapkan oleh *ANSI C 57.12.90*, yaitu 0.4984% untuk fasa R, 0.4412% untuk fasa S, dan 0.4131% untuk fasa T. Dapat dilihat dari hasil pengujian terakhir dari ketiga fasa dalam kondisi baik sehingga generator transformer sudah bisa kembali beroperasi dengan baik.