

BAB IV

HASIL DAN ANALISIS

4.1. Hasil Penelitian

Dari hasil pengujian yang dilakukan pada generator unit 2 PT. PJB UBJ O & M PLTU 1 Pacitan Jawa Timur, telah didapatkan data-data yang berhubungan dengan rumusan masalah dan tujuan penelitian yaitu mengenai data pengujian tahan isolasi generator unit 2 PT. PJB UBJ O & M PLTU 1 Pacitan dengan metode tan delta. Data-data tersebut nantinya akan di deskripsikan dan dianalisis serta dipresentasikan untuk mendapatkan jawaban dari rumusan masalah dalam penelitian ini.

Dengan membandingkan nilai hasil pengujian tan delta dengan standart yang digunakan maka akan mendapatkan hasil nilai tahanan isolasi pada generator unit 2 PLTU Pacitan. Hasil dari penelitian ini nantinya dapat digunakan sebagai acuan untuk dapat mengetahui cara pemeliharaan pada generator unit 2 PLTU Pacitan.

4.2. Data Spesifikasi Generator

Generator merupakan alat yang berfungsi merubah energi mekanik berupa putaran poros menjadi energi listrik. PLTU Pacitan menggunakan generator jenis hubung langsung dengan media pendingin hidrogen, memiliki 2 kutub, 3 fasa, 50 Hz dengan putaran 3000 rpm. Generator ini juga menggunakan system eksitasi *rotating brushless type* (AC) dengan *rectifier*, sedangkan tegangannya di atur oleh *automatic voltage regulator* (AVR). Kemampuan maksimum generator ini adalah 325.8 MW/unit.

Ketika turbin berputar 3000 rpm dan dikopel dengan generator, maka generator akan menghasilkan energi listrik bolak-balik (AC) sebesar 20 kV. Perputaran tersebut yang menghasilkan perpotongan gaya gerak magnet yang nantinya menjadi energi listrik. Berikut adalah spesifikasi dari generator yang digunakan pada PLTU Pacita:

Tabel 4.1. Data spesifikasi generator

Parameter	Unit	Keterangan
Tipe generator		QFSN-315-2-20B
<i>Guaranted power</i>	MW	215
<i>Rated capacity</i>	Mm	370
Daya maksimal keluaran	MW	325.8
<i>Rated power factor cosØN</i>		0.85
Tegangan stator	kV	20
Arus stator	A	10726.7
frekuensi	Hz	50
Putaran	Rpm	3000
Tegangan eksitasi	V	472
Arus eksitasi	A	2152
tipe koneksi belitan stator		YY
Model pendingin		<i>Water hydrogen-hydrogen</i>
Model eksitasi		<i>Shelf-shunt excitation</i>
Parameter Kinerja		
Parameter	Unit	keterangan
<i>The maximum three phase short circuited current (the inical value of DC component)</i>	%	916.85
kebisingan	Db (A)	≤85
Kapasitas puncak	Time	≥10000
<i>Service lift of generator</i>	Year	≥30

Tabel 4.1. Data spesifikasi generator (lanjutan)

Getaran (<i>Vibration</i>)		
Parameter	Unit	keterangan
Getaran <i>bearing</i>	Mm	≤ 0.08
Getaran poros	Mm	≤ 0.15
<i>Bearing vibration under over speed condition</i>	Mm	≤ 0.08
Nilai getaran bantalan		
Vertikal	Mm	≤ 0.025
Horisontal	Mm	≤ 0.025
Aksial	Mm	≤ 0.025
<i>Rated speed shaft vibration value</i>		
Vertikal		≤ 0.075
Horisontal		≤ 0.075
Kerugian dan efisiensi (dinilai dari kondisi)		
<i>Stator copper winding loss</i> <i>Q_{cu}</i>	KW	710
Rugi stator Q _{fe}	KW	560.61
Rugi eksitasi Q _{cu 2}	KW	988.37
Rugi hubung singkat Q _{kd}	KW	664.99
Rugi mekanik Q _m	KW	654.15
Rugi total $\sum Q$	KW	3578.12
Efisiensi beban penuh	%	98.88

4.3. Pengujian Tan Delta

Setelah dilakukan penelitian dan pengujian tahanan isolasi dengan metode tan delta pada belitan stator, maka didapatkan hasil berupa data pengujian yang telah diuji menggunakan alat ukur pabrikan Mitsubishi Elektrik. Hasilnya adalah nilai tan delta pada setiap fasa dengan variasi tegangan yang dinaikkan. Pengujian dilakukan pada setiap fasa untuk mengetahui keseimbangan nilai tahanan isolasi dari fasa ke fasa.

Dari pengujian tan delta pada belitan stator generator unit 2 PLTU Pacitan diperoleh data-data sebagai berikut:

- Alat ukur : Doble M4000 Insulation Analyzer
Megger MIT 1025
- Tanggal pengujian : 25 Februari 2018
- Temperature : 29°C
- Waktu : Sore Hari
- Humidity : 40%
- Frekuensi : 50 Hz
- Standart : IEEE std 286-2000
VDE 0530 Part 1
Initial $\tan\delta (0.2 U_n) = 4\%$
Increase $(\tan\delta 0.6 - \tan\delta 0.2) / 2 = 0.25\%$
Increase $\Delta \tan\delta (\tan\delta 0.8 - \tan\delta 0.6) = 0.5\%$

Dari data pengujian akan didapatkan hasil berupa:

- a. Perbandingan Tan Delta dengan tegangan uji
- b. Perbandingan Charge Current dengan tegangan uji
- c. Perbandingan Kapasitansi dengan tegangan uji
- d. Perbandingan Loss Watt dengan tegangan uji

Pengujian dilakukan pada sisi belitan stator generator unit 2 PLTU Pacitan dan dilakukan pada setiap fasa untuk mengetahui nilai tahanan isolasi yaitu fasa R, S, T. standart yang digunakan pada pengujian ini adalah IEEE std 286-2000 dan VDE 0530 Part 1. Dengan prosedur pengambilan data dimulai

dari tegangan ijek 2 kV lalu tegangan injek dinaikkan menjadi 4 kV, 6 kV, 8 kV sampai dengan 10 kV.

4.4. Pengujian Tan Delta Pada Setiap Phasa

Berikut adalah data pengujian tahanan isolasi per-phasanya pada belitan stator generator:

4.4.1. Pengujian Pada Phasa R

Dari pengujian yang dilakukan pada phasa R didapatkan data sebagai berikut:

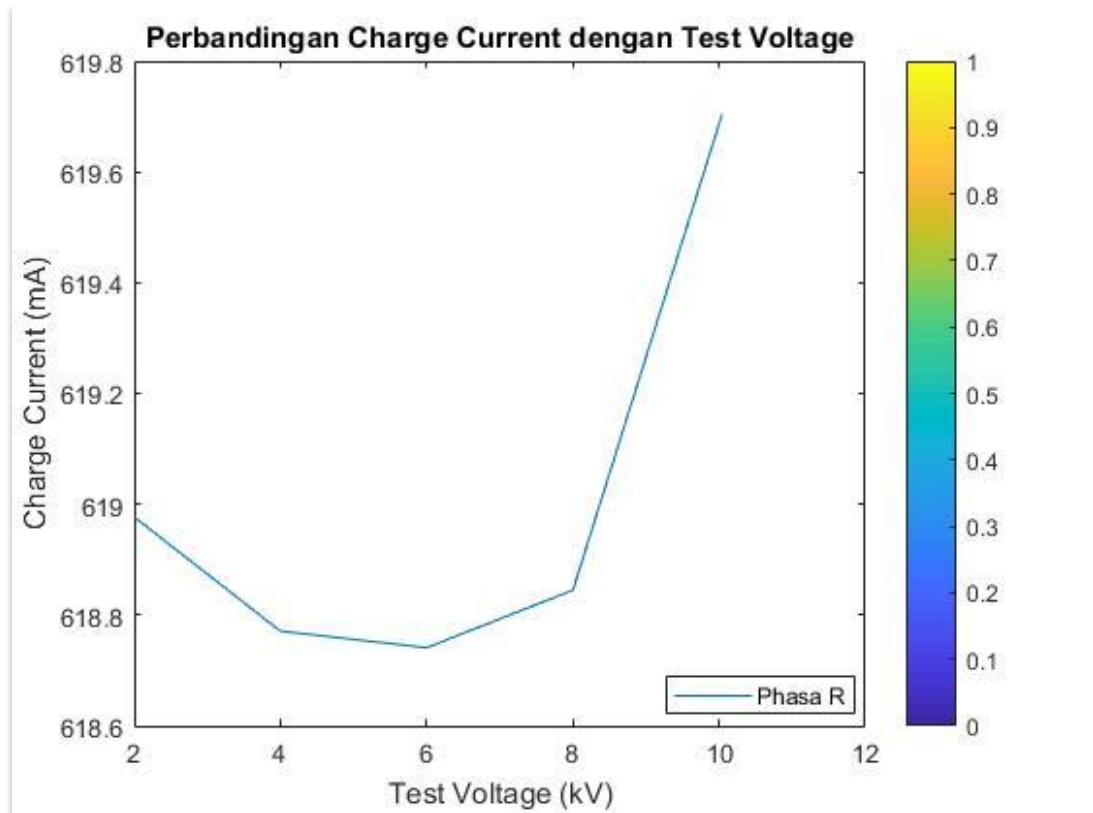
Tabel 4.2. Data pengujian phasa R

No	Phasa R				
	Test Voltage (kV)	Charge Current (mA)	Capacitance (pF)	Loss Watt (watt)	Dissipation Factor (%)
1	2	618.977	196904.5	117.61	1.9
2	3.999	618.771	196946	118.551	1.916
3	5.999	618.741	197005	119.035	1.924
4	8.002	618.845	197079	121.355	1.961
5	10.042	619.704	197446.5	134.943	2.178

Data-data diatas merupakan keluaran dari Doble M4000 Insulation Analyzer yang merupakan instrument untuk pengujian tan delta pada kabel dan belitan mesin-mesin listrik. Dari data-data diatas selanjutnya dianalisis untuk mendapatkan hasil kondisi dari tahanan isolasi belitan stator phasa R.

a. Perbandingan Charge current dengan Test Voltage

Perbandingan Charge Current dengan Test Voltage ditunjukkan pada gambar 4.1:

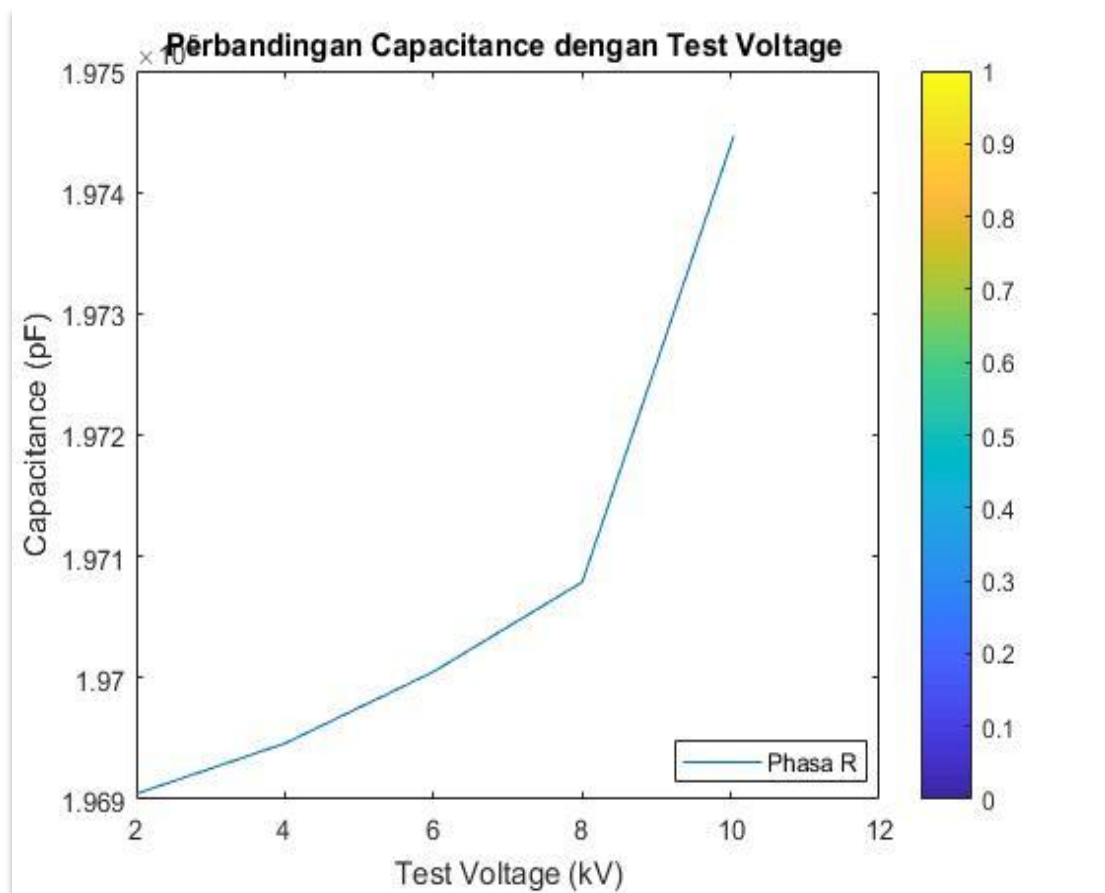


Gambar 4.1. Grafik perbandingan Charge Current dengan Test Voltage

Dari grafik pada gambar 4.1. yaitu perbandingan antara Charge Current dengan Test Voltage menunjukkan bahwa terdapat perubahan nilai Charge Current terhadap variasi tegangan yang diberikan. Variasi tegangan yang diberikan yaitu mulai dari 2 kV lalu dinaikkan menjadi 4 kV, 6 kV, 8 kV dan 10 kV. Dengan variasi tegangan yang diberikan, selisih perubahan nilai Charge Current tidak begitu besar dapat dilihat dari colorbar yang masih berada di warna biru yaitu dengan rata-rata nilai Charge Current yaitu 619 mA. Itu berarti nilai Charge Current masih bisa diterima.

b. Perbandingan Capacitance dengan Test Voltage

Perbandingan Capacitance dengan Test Voltage ditunjukkan pada gambar 4.2:

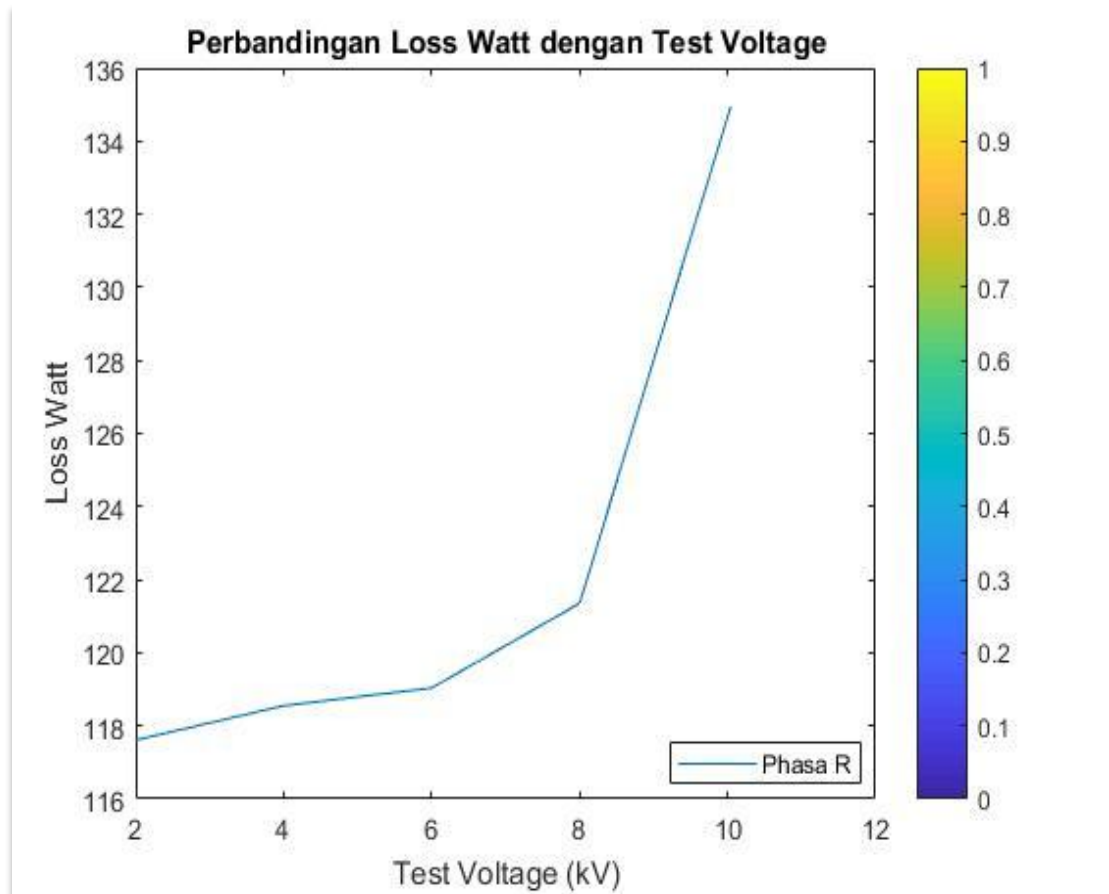


Gambar 4.2. Grafik perbandingan Capacitance dengan Test Voltage

Dari grafik pada gambar 4.2. yaitu perbandingan Capacitance dengan Test Voltage menunjukkan bahwa terdapat perubahan pada nilai Capacitance terhadap variasi tegangan yang diberikan. Variasi tegangan yang diberikan yaitu mulai dari 2 kV lalu dinaikkan menjadi 4 kV, 6 kV, 8 kV dan 10 kV. Dengan variasi tegangan yang diberikan selisih perubahan nilai Capacitance tidak begitu besar, dapat dilihat pada colorbar yang masih berada pada warna biru dengan nilai rata-rata Capacitance yaitu 197076.2 pF atau 0.197 μ F. Itu berarti nilai Capacitance masih dapat diterima.

c. Perbandingan Loss Watt dengan Test Voltage

Perbandingan Loss Watt dengan Test Voltage ditunjukkan pada gambar 4.3:

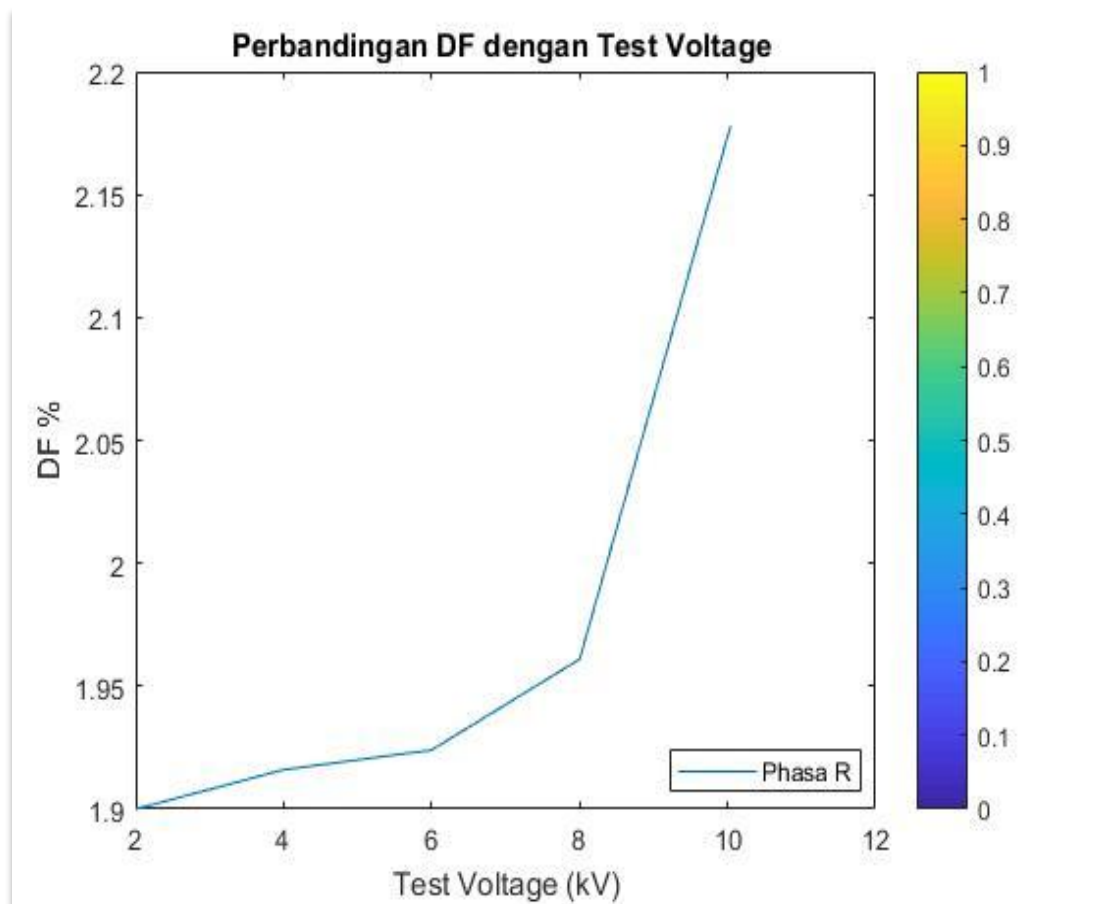


Gambar 4.3. Grafik perbandingan Loss Watt dengan Test Voltage

Dari grafik pada gambar 4.3. yaitu perbandingan antara Loss watt dengan Test Voltage menunjukkan bahwa terdapat perubahan nilai Loss Watt terhadap variasi tegangan yang diberikan. Variasi tegangan yang diberikan yaitu mulai dari 2 kV lalu dinaikkan menjadi 4 kV, 6 kV, 8 kV dan 10 kV. Dengan variasi tegangan yang diberikan selisih perubahan nilai Loss Watt tidak begitu besar, dapat dilihat pada colorbar yang masih berada pada warna biru dengan nilai rata-rata Loss Watt yaitu 122.299 W. Itu berarti nilai Loss Wat masih dapat diterima.

d. Perbandingan Dissipation Factor dengan Test Voltage

Perbandingan Dissipation Factor dengan Test Voltage ditunjukkan pada gambar 4.4:



Gambar 4.4. Grafik perbandingan Dissipation Factor dengan Test Voltage

Dari grafik pada gambar 4.4. yaitu perbandingan antara Dissipation Factor dengan Test Voltage menunjukkan bahwa terdapat perubahan nilai Dissipation Factor terhadap variasi tegangan yang diberikan. Variasi tegangan yang diberikan yaitu mulai dari 2 kV lalu dinaikkan menjadi 4 kV, 6 kV, 8 kV dan 10 kV. Dengan variasi tegangan yang diberikan selisih perubahan nilai Dissipation Factor tidak begitu besar, dapat dilihat pada colorbar yang masih berada pada warna biru dengan nilai rata-rata Dissipation Factor yaitu 1.9758 %. Itu berarti nilai Dissipation Factor

masih dapat diterima. Nilai rata-rata Dissipation factor ditunjukkan pada tabel 4.3:

Table 4.3. Nilai rata-rata tan delta fasa R

No	Test Voltage (kV)	Dissipation Factor (%)
1	2	1.9
2	3.999	1.916
3	5.999	1.924
4	8.002	1.961
5	10.042	2.178
Rata-rata DF (%) Fasa R		1.9758

Dari tabel diatas pada fasa R nilai Dissipation Factor atau Tan Delta mengalami kenaikan terhadap variasi tegangan yang diberikan. Hal tersebut tidak menjadi masalah karena selisih dari nilai Dissipation factor tidak terlalu besar dengan rata-rata nilai tan delta yaitu 1.9758 %. Berikut sampel perhitungan nilai Dissipation factor pada fasa R:

- Tegangan uji 2 kV

Pada tegangan uji 2 kV parameter uji ditunjukkan pada tabel 4.4.:

Tabel 4.4. Tabel tegangan uji 2 kV

Loss Watt (W)	Charge Current (mA)	Capacitance (μ F)
117,61	618,977	0,197

Berdasarkan data pada tabel 4.4. dapat dihitung factor dissipasi atau tan delta sebagai berikut:

$$DF = \omega \cdot R_s \cdot C_s$$

$$R_s = \frac{P}{I^2}$$

$$R_s = \frac{P}{I^2} = \frac{117.61}{618.977^2} = \frac{117.61 \times 10^{-2}}{38312.526 \times 10^{-12}} = 30696.95\Omega$$

$$DF = 2\pi f \times R_s \times C_s$$

$$= 2 \times 3.14 \times 50 \times 30696.95 \times 0.197$$

$$= 1898851.938 \times 10^{-6}$$

$$= 1.898 \%$$

- Tegangan uji 4 kV

Pada tegangan uji 4 kV parameter uji ditunjukkan pada tabel 4.5.:

Tabel 4.5. Tabel tegangan uji 4 kV

Loss Watt (W)	Charge Current (mA)	Capacitance (μ F)
118,551	618,771	0,197

Berdasarkan data pada tabel 4.5. dapat dihitung factor dissipasi atau tan delta sebagai berikut:

$$DF = \omega \cdot R_s \cdot C_s$$

$$R_s = \frac{P}{I^2}$$

$$R_s = \frac{P}{I^2} = \frac{118.551}{618.771^2} = \frac{118.551 \times 10^{-2}}{382877.55 \times 10^{-12}} = 30963.16\Omega$$

$$DF = 2\pi f \times R_s \times C_s$$

$$= 2 \times 3.14 \times 50 \times 30963.16 \times 0.197$$

$$= 1915319.337 \times 10^{-6}$$

$$= 1.915 \%$$

- Tegangan uji 6 kV

Pada tegangan uji 6 kV parameter uji ditunjukkan pada tabel 4.6.:

Tabel 4.6. Tabel tegangan uji 6 kV

Loss Watt (W)	Charge Current (mA)	Capacitance (μF)
119,035	618,741	0,197

Berdasarkan data pada tabel 4.6. dapat dihitung factor dissipasi atau tan delta sebagai berikut:

$$DF = \omega \cdot R_s \cdot C_s$$

$$R_s = \frac{P}{I^2}$$

$$R_s = \frac{P}{I^2} = \frac{119.035}{618.741^2} = \frac{119.035 \times 10^{-2}}{382840.42 \times 10^{-12}} = 31092.59\Omega$$

$$DF = 2\pi f \times R_s \times C_s$$

$$= 2 \times 3.14 \times 50 \times 31092.59 \times 0.197$$

$$= 1923325.37 \times 10^{-6}$$

$$= 1.923 \%$$

- Tegangan uji 8 kV

Pada tegangan uji 8 kV parameter uji ditunjukkan pada tabel 4.7.:

Tabel 4.7. Tabel tegangan uji 8 kV

Loss Watt (W)	Charge Current (mA)	Capacitance (μF)
121,355	618,845	0,197

Berdasarkan data pada tabel 4.7. dapat dihitung factor dissipasi atau tan delta sebagai berikut:

$$DF = \omega \cdot R_s \cdot C_s$$

$$R_s = \frac{P}{I^2}$$

$$R_s = \frac{P}{I^2} = \frac{121.355}{618.845^2} = \frac{121.355 \times 10^{-2}}{382969.13 \times 10^{-12}} = 31687.93\Omega$$

$$DF = 2\pi f \times R_s \times C_s$$

$$= 2 \times 3.14 \times 50 \times 31687.93 \times 0.197$$

$$= 1960152.098 \times 10^{-6}$$

$$= 1.960 \%$$

- Tegangan uji 10 kV

Pada tegangan uji 10 kV parameter uji ditunjukkan pada tabel 4.8.:

Tabel 4.8. Tabel tegangan uji 10 kV

Loss Watt (W)	Charge Current (mA)	Capacitance (μ F)
134,943	619,704	0,197

Berdasarkan data pada tabel 4.8. dapat dihitung factor dissipasi atau tan delta sebagai berikut:

$$DF = \omega \cdot R_s \cdot C_s$$

$$R_s = \frac{P}{I^2}$$

$$R_s = \frac{P}{I^2} = \frac{134.943}{619.704^2} = \frac{134.943 \times 10^{-2}}{384033.05 \times 10^{-12}} = 35138.38\Omega$$

$$DF = 2\pi f \times R_s \times C_s$$

$$= 2 \times 3.14 \times 50 \times 35138.38 \times 0.197$$

$$= 2173590.034 \times 10^{-6}$$

$$= 2.173 \%$$

Dari hasil perhitungan nilai Faktor dissipasi atau Tan Delta diatas selisih dengan hasil pengukuran hanya sekitar 0,01%.

4.4.2. Pengujian Pada Phasa S

Dari pengujian yang dilakukan pada phasa S didapatkan data sebagai berikut:

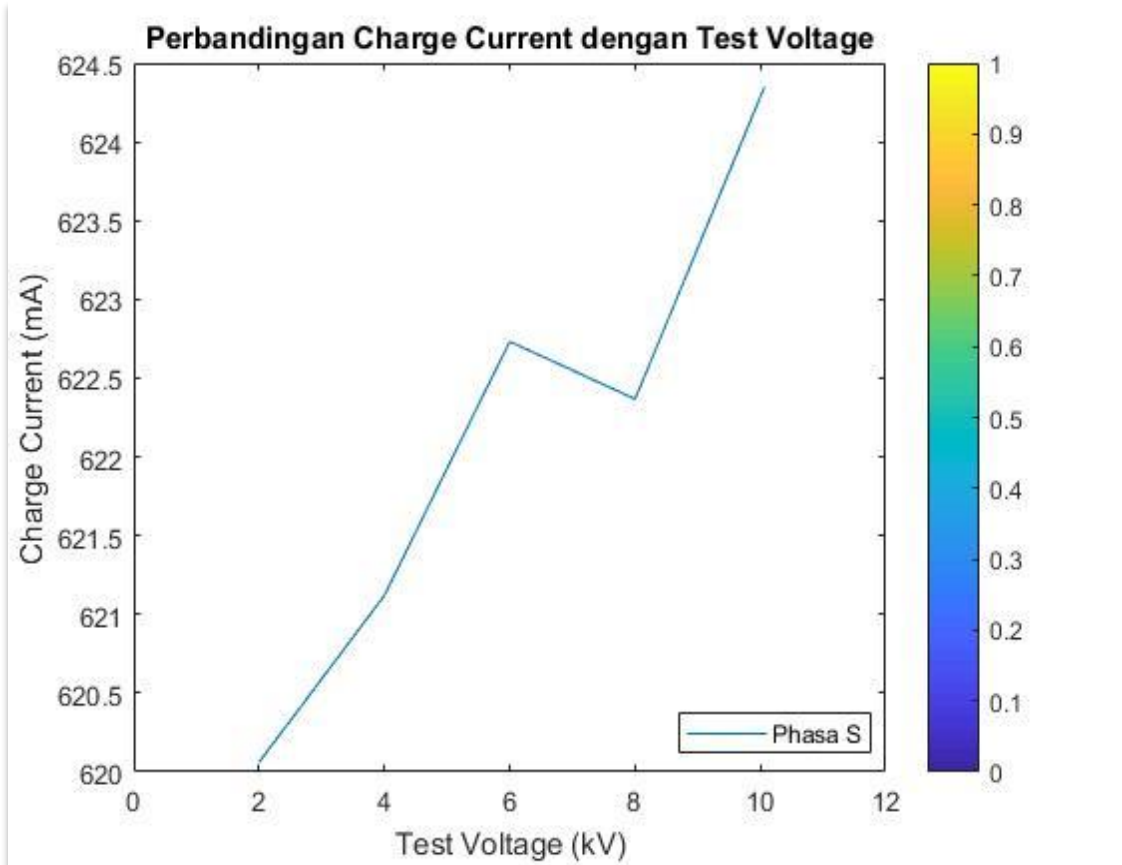
Table 4.9. Data pengujian Phasa S

No	Phasa S				
	Test Voltage (kV)	Charge Current (mA)	Capacitance (pF)	Loss Watt (watt)	Dissipation Factor (%)
1	1.999	620.061	197858.5	124.339	2.005
2	4	621.119	197831	124.638	2.007
3	6.001	622.732	197965.5	126.327	2.029
4	8.002	622.367	198005.5	129.333	2.078
5	10.69	624.35	198530	144.239	2.31

Data-data diatas merupakan keluaran dari Dobbble M4000 Insulation Analyzer yang merupakan instrument untuk pengujian tan delta pada kabel dan belitan mesin-mesin listrik. Dari data-data diatas selanjutnya dianalisis untuk mendapatkan hasil kondisi dari tahanan isolasi belitan stator phasa S.

a. Perbandingan Charge Current dengan Test Voltage

Perbandingan Charge Current dengan Test Voltage ditunjukkan pada gambar 4.5:

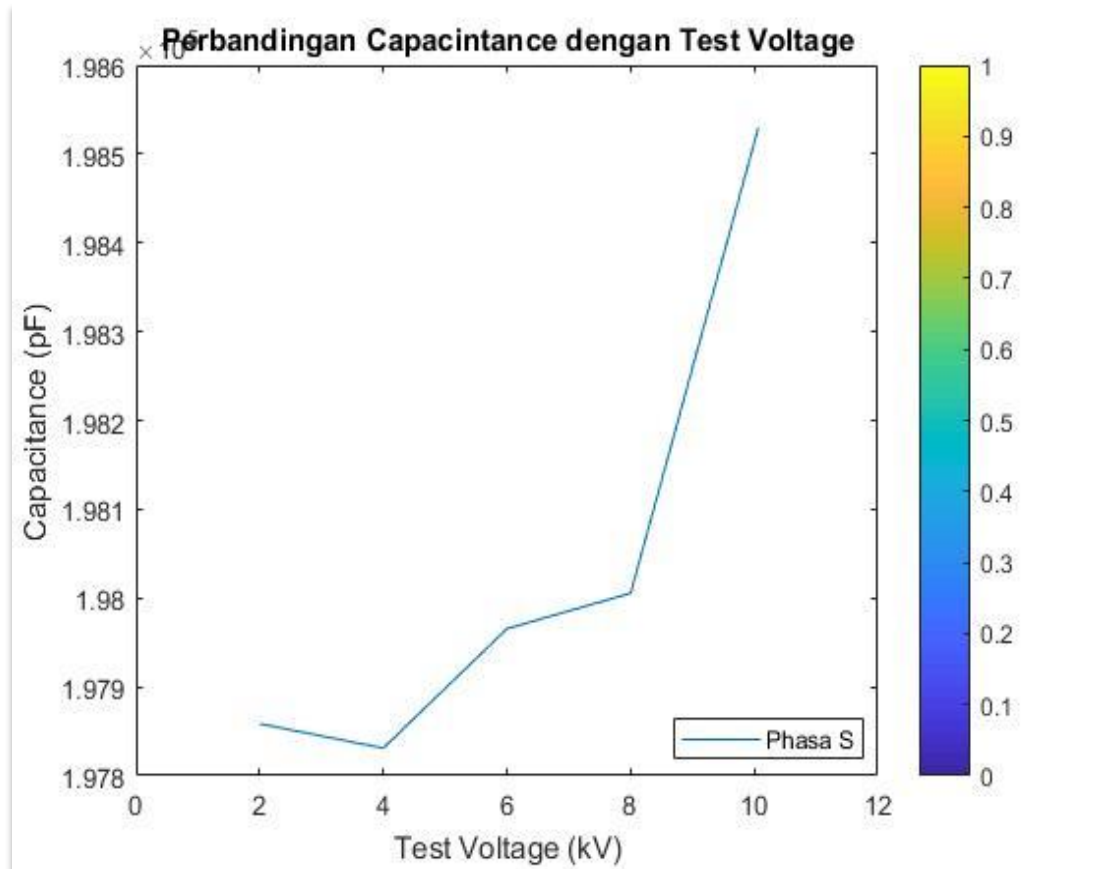


Gambar 4.5. Grafik perbandingan Charge Current dengan Test Voltage

Dari grafik pada gambar 4.5. yaitu perbandingan antara Charge Current dengan Test Voltage menunjukkan bahwa terdapat perubahan nilai Charge Current terhadap variasi tegangan yang diberikan. Variasi tegangan yang diberikan yaitu mulai dari 2 kV lalu dinaikkan menjadi 4 kV, 6 kV, 8 kV dan 10 kV. Dengan variasi tegangan yang diberikan, selisih perubahan nilai Charge Current tidak begitu besar dapat dilihat dari colorbar yang masih berada di warna biru yaitu dengan rata-rata nilai Charge Current yaitu 622 mA. Itu berarti nilai Charge Current masih bisa diterima.

b. Perbandingan Capacitance dengan Test Voltage

Perbandingan Capacitance dengan Test Voltage ditunjukkan pada gambar 4.6:

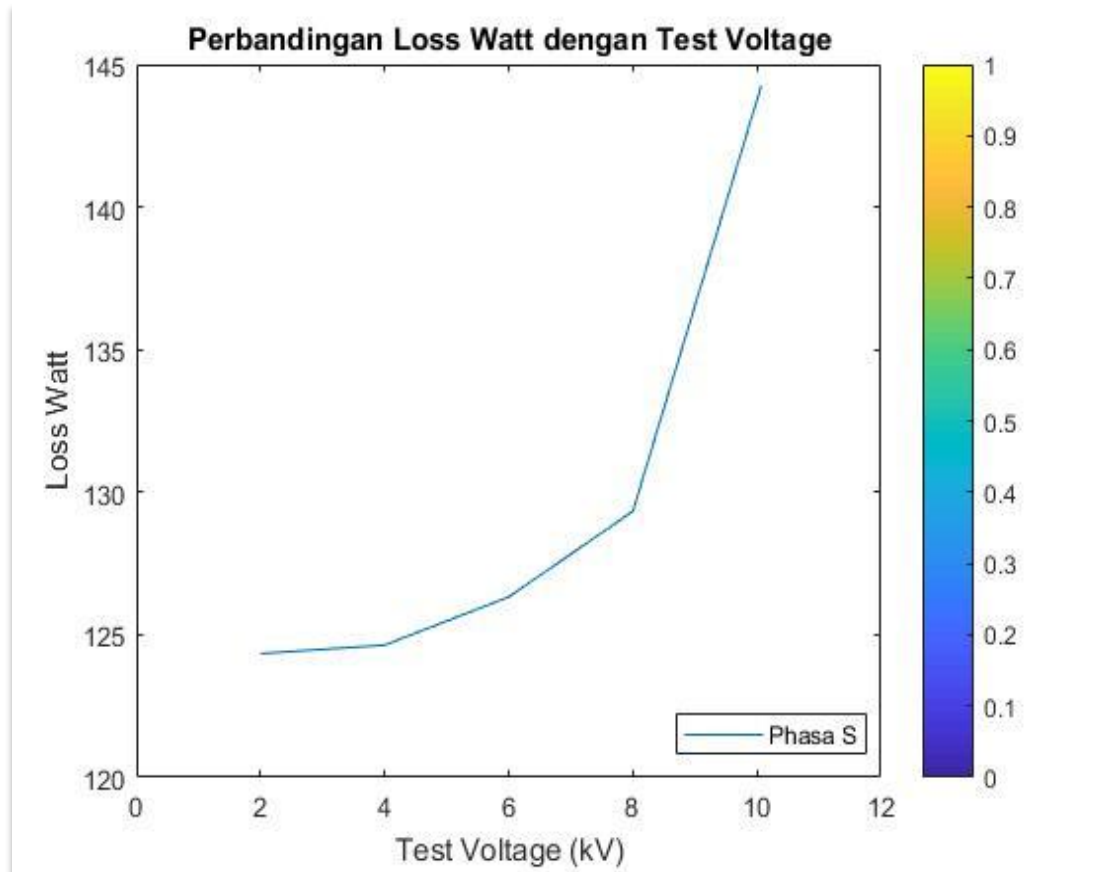


Gambar 4.6. Grafik perbandingan Capacitance dengan Test Voltage

Dari grafik pada gambar 4.6. yaitu perbandingan Capacitance dengan Test Voltage menunjukkan bahwa terdapat perubahan pada nilai Capacitance terhadap variasi tegangan yang diberikan. Variasi tegangan yang diberikan yaitu mulai dari 2 kV lalu dinaikkan menjadi 4 kV, 6 kV, 8 kV dan 10 kV. Dengan variasi tegangan yang diberikan selisih perubahan nilai Capacitance tidak begitu besar, dapat dilihat pada colorbar yang masih berada pada warna biru dengan nilai rata-rata Capacitance yaitu 198038.1 pF atau 0.198 μ F. Itu berarti nilai Capacitance masih dapat diterima.

c. Perbandingan Loss Watt dengan Test Voltage

Perbandingan Loss Watt dengan Test Voltage ditunjukkan pada gambar 4.7:

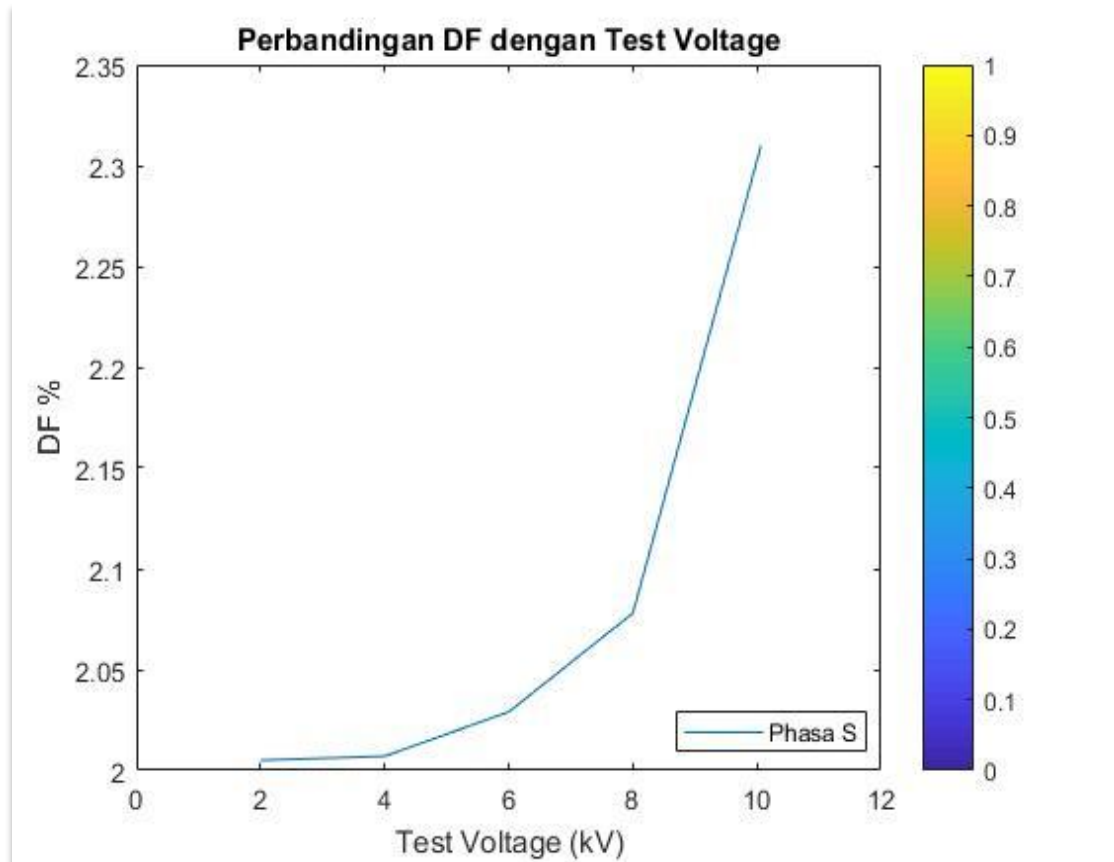


Gambar 4.7. Grafik perbandingan Loss Watt dengan Test Voltage

Dari grafik pada gambar 4.7. yaitu perbandingan antara Loss watt dengan Test Voltage menunjukkan bahwa terdapat perubahan nilai Loss Watt terhadap variasi tegangan yang diberikan. Variasi tegangan yang diberikan yaitu mulai dari 2 kV lalu dinaikkan menjadi 4 kV, 6 kV, 8 kV dan 10 kV. Dengan variasi tegangan yang diberikan selisih perubahan nilai Loss Watt tidak begitu besar, dapat dilihat pada colorbar yang masih berada pada warna biru dengan nilai rata-rata Loss Watt yaitu 129.775 W. Itu berarti nilai Loss Wat masih dapat diterima.

d. Perbandingan Dissipation Factor dengan Test Voltage

Perbandingan Dissipation Factor dengan Test Voltage ditunjukkan pada gambar 4.8:



Gambar 4.8. Grafik perbandingan DF dengan Test Voltage

Dari grafik pada gambar 4.8. yaitu perbandingan antara Dissipation Factor dengan Test Voltage menunjukkan bahwa terdapat perubahan nilai Dissipation Factor terhadap variasi tegangan yang diberikan. Variasi tegangan yang diberikan yaitu mulai dari 2 kV lalu dinaikkan menjadi 4 kV, 6 kV, 8 kV dan 10 kV. Dengan variasi tegangan yang diberikan selisih perubahan nilai Dissipation Factor tidak begitu besar, dapat dilihat pada colorbar yang masih berada pada warna biru dengan nilai rata-rata Dissipation Factor yaitu 2.0858 %. Itu berarti nilai Dissipation Factor

masih dapat diterima. Nilai rata-rata Dissipation factor ditunjukkan pada tabel 4.10.:

Tabel 4.10. Nilai rata-rata tan delta fase S

No	Test Voltage (kV)	Dissipation Factor (%)
1	1.999	2.005
2	4	2.007
3	6.001	2.029
4	8.002	2.078
5	10.069	2.31
Rata-rata DF (%) Fase S		2.0858

Dari tabel diatas pada fase S nilai Dissipation Factor atau Tan Delta mengalami kenaikan terhadap variasi tegangan yang diberikan. Hal tersebut tidak menjadi masalah karena selisih dari nilai Dissipation factor tidak terlalu besar dengan rata-rata nilai tan delta yaitu 2.0858 %. Berikut sampel perhitungan nilai Dissipation factor pada fase S:

- Tegangan uji 2 kV

Pada tegangan uji 2 kV parameter uji ditunjukkan pada tabel 4.11.:

Tabel 4.11. Tabel tegangan uji 2 kV

Loss Watt (W)	Charge Current (mA)	Capacitance (μ F)
124,339	620,061	0,198

Berdasarkan data pada tabel 4.11. dapat dihitung factor dissipasi atau tan delta sebagai berikut:

$$DF = \omega \cdot R_s \cdot C_s$$

$$R_s = \frac{P}{I^2}$$

$$R_s = \frac{P}{I^2} = \frac{124.339}{620.061^2} = \frac{124.339 \times 10^{-2}}{384474.4 \times 10^{-12}} = 32339.99\Omega$$

$$DF = 2\pi f \times R_s \times C_s$$

$$= 2 \times 3.14 \times 50 \times 32339.99 \times 0.198$$

$$= 2010642.107 \times 10^{-6}$$

$$= 2.010 \%$$

- Tegangan uji 4 kV

Pada tegangan uji 4 kV parameter uji ditunjukkan pada tabel 4.12.:

Tabel 4.12. Tabel tegangan uji 4 kV

Loss Watt (W)	Charge Current (mA)	Capacitance (μ F)
124,638	621,119	0,198

Berdasarkan data pada tabel 4.12. dapat dihitung factor dissipasi atau tan delta sebagai berikut:

$$DF = \omega \cdot R_s \cdot C_s$$

$$R_s = \frac{P}{I^2}$$

$$R_s = \frac{P}{I^2} = \frac{124.638}{621.119^2} = \frac{124.638 \times 10^{-2}}{385788.81 \times 10^{-12}} = 32305.24\Omega$$

$$DF = 2\pi f \times R_s \times C_s$$

$$= 2 \times 3.14 \times 50 \times 32305.24 \times 0.198$$

$$= 2008481.32 \times 10^{-6}$$

$$= 2.008 \%$$

- Tegangan uji 6 kV

Pada tegangan uji 6 kV parameter uji ditunjukkan pada tabel 4.13.:

Tabel 4.13. Tabel tegangan uji 6 kV

Loss Watt (W)	Charge Current (mA)	Capacitance (μF)
126,327	622,732	0,198

Berdasarkan data pada tabel 4.13. dapat dihitung factor dissipasi atau tan delta sebagai berikut:

$$DF = \omega \cdot R_s \cdot C_s$$

$$R_s = \frac{P}{I^2}$$

$$R_s = \frac{P}{I^2} = \frac{126.327}{622.732^2} = \frac{126.327 \times 10^{-2}}{387795.14 \times 10^{-12}} = 32575.70\Omega$$

$$DF = 2\pi f \times R_s \times C_s$$

$$= 2 \times 3.14 \times 50 \times 32575.70 \times 0.198$$

$$= 2025296.669 \times 10^{-6}$$

$$= 2.025 \%$$

- Tegangan uji 8 kV

Pada tegangan uji 8 kV parameter uji ditunjukkan pada tabel 4.14.:

Tabel 4.14. Tabel tegangan uji 8 kV

Loss Watt (W)	Charge Current (mA)	Capacitance (μF)
129,333	622,367	0,198

Berdasarkan data pada tabel 4.14. dapat dihitung factor dissipasi atau tan delta sebagai berikut:

$$DF = \omega \cdot R_s \cdot C_s$$

$$R_s = \frac{P}{I^2}$$

$$R_s = \frac{P}{I^2} = \frac{126.333}{622.367^2} = \frac{126.333 \times 10^{-2}}{387340.68 \times 10^{-12}} = 33389.99\Omega$$

$$DF = 2\pi f \times R_s \times C_s$$

$$= 2 \times 3.14 \times 50 \times 33389.99 \times 0.198$$

$$= 2075922.21 \times 10^{-6}$$

$$= 2.076 \%$$

- Tegangan uji 10 kV

Pada tegangan uji 10 kV parameter uji ditunjukkan pada tabel 4.15.:

Tabel 4.15. Tabel tegangan uji 10 kV

Loss Watt (W)	Charge Current (mA)	Capacitance (μ F)
144,239	624,35	0,198

Berdasarkan data pada tabel 4.15. dapat dihitung factor dissipasi atau tan delta sebagai berikut:

$$DF = \omega \cdot R_s \cdot C_s$$

$$R_s = \frac{P}{I^2}$$

$$R_s = \frac{P}{I^2} = \frac{144.239}{624.35^2} = \frac{144.239 \times 10^{-2}}{389812.92 \times 10^{-12}} = 37002.11\Omega$$

$$DF = 2\pi f \times R_s \times C_s$$

$$= 2 \times 3.14 \times 50 \times 37002.11 \times 0.198$$

$$= 2300495.059 \times 10^{-6}$$

$$= 2.300 \%$$

Dari hasil perhitungan nilai faktor dissipasi atau Tan Delta diatas selisih dengan hasil pengukuran hanya sekitar 0,01%.

4.4.3. Pengujian Pada Phasa T

Dari pengujian yang dilakukan pada phasa T didapatkan data sebagai berikut:

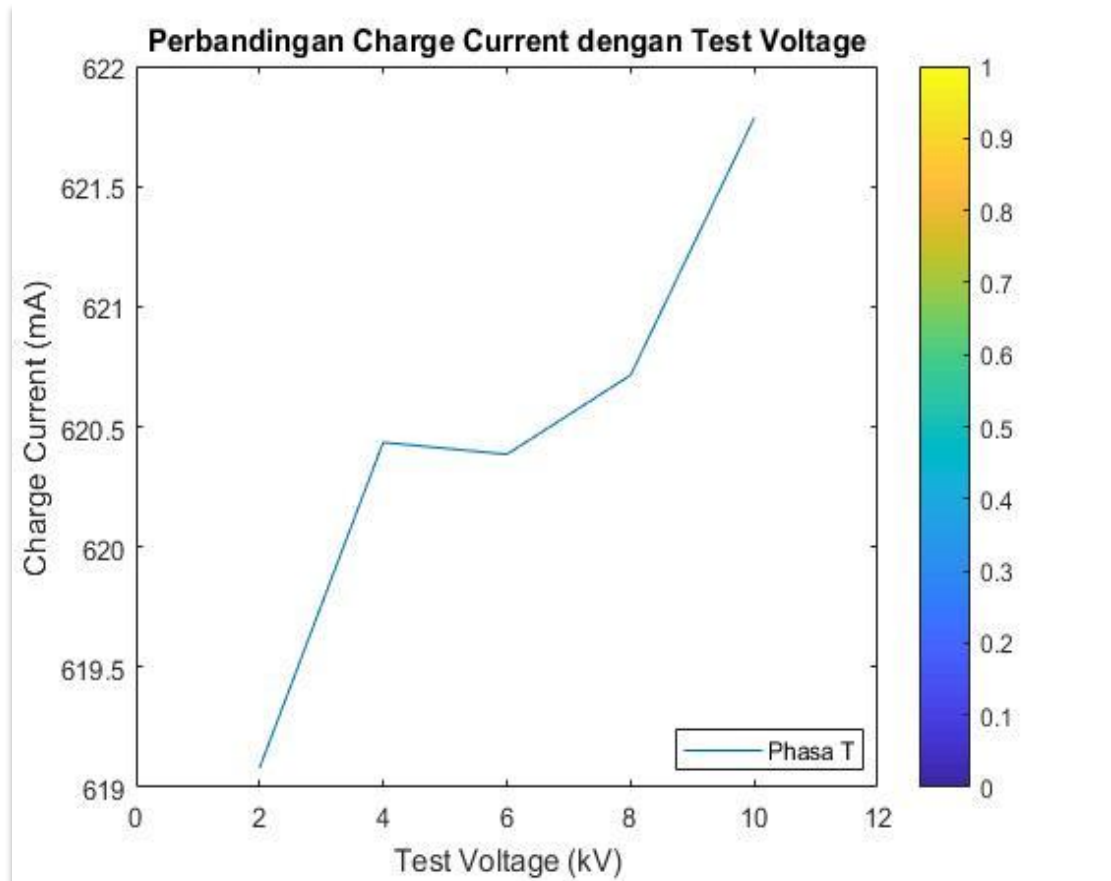
Tabel 4.16. Data pengujian Phasa T

No	Phasa T				
	Test Voltage (kV)	Charge Current (mA)	Capacitance (pF)	Loss Watt (watt)	Dissipation Factor (%)
1	1.999	619.08	197056.5	119.522	1.931
2	3.999	620.435	197118	120.246	1.938
3	5.999	620.385	197196.5	121.352	1.956
4	8.002	620.715	197263	123.201	1.985
5	10.006	621.787	197642.5	138.213	2.223

Data-data diatas merupakan keluaran dari Doble M4000 Insulation Analyzer yang merupakan instrument untuk pengujian tan delta pada kabel dan belitan mesin-mesin listrik. Dari data-data diatas selanjutnya dianalisis untuk mendapatkan hasil kondisi dari tahanan isolasi belitan stator phasa T.

a. Perbandingan Charge Current dengan Test Voltage

Perbandingan Charge Current dengan Test Voltage ditunjukkan pada gambar 4.9:

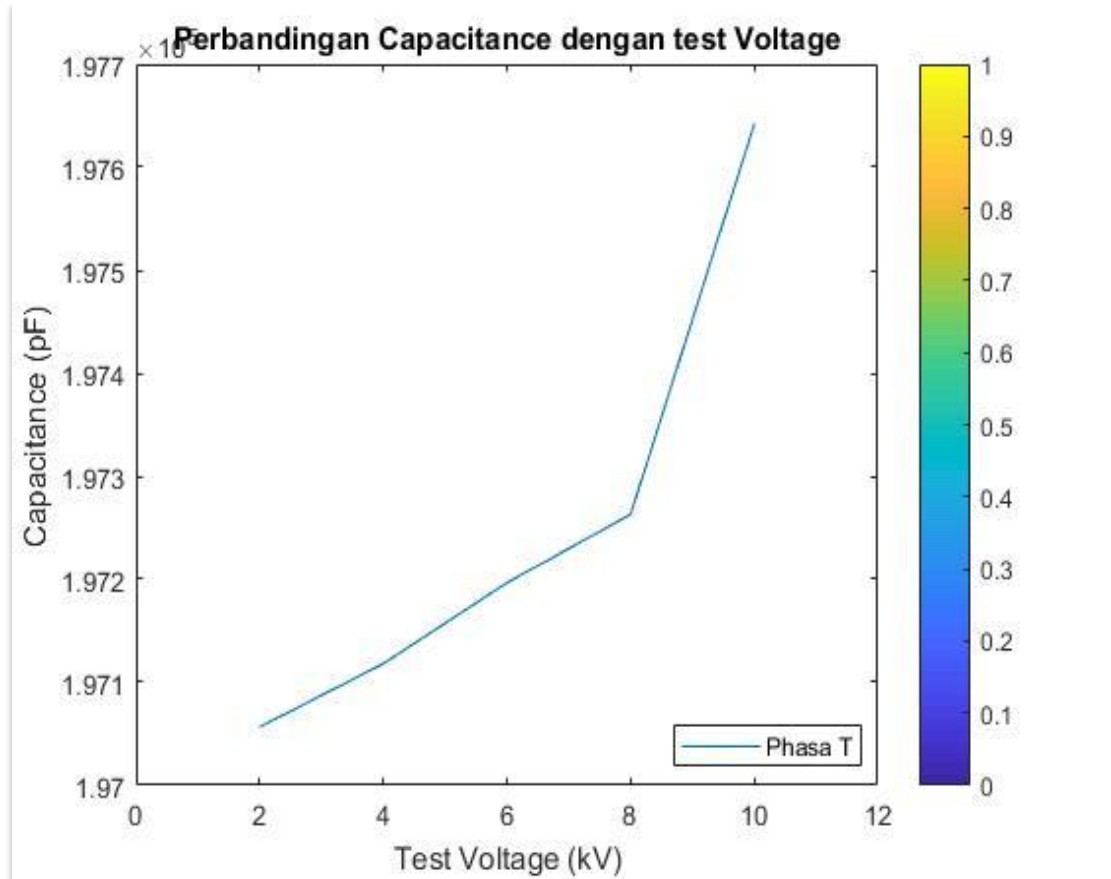


Gambar 4.9. Grafik perbandingan Charge Current dengan Test Voltage

Dari grafik pada gambar 4.9. yaitu perbandingan antara Charge Current dengan Test Voltage menunjukkan bahwa terdapat perubahan nilai Charge Current terhadap variasi tegangan yang diberikan. Variasi tegangan yang diberikan yaitu mulai dari 2 kV lalu dinaikkan menjadi 4 kV, 6 kV, 8 kV dan 10 kV. Dengan variasi tegangan yang diberikan, selisih perubahan nilai Charge Current tidak begitu besar dapat dilihat dari colorbar yang masih berada di warna biru yaitu dengan rata-rata nilai Charge Current yaitu 620.48 mA. Itu berarti nilai Charge Current masih bisa diterima.

b. Perbandingan Capacitance dengan Test Voltage

Perbandingan Capacitance dengan Test Voltage ditunjukkan pada gambar 4.10:

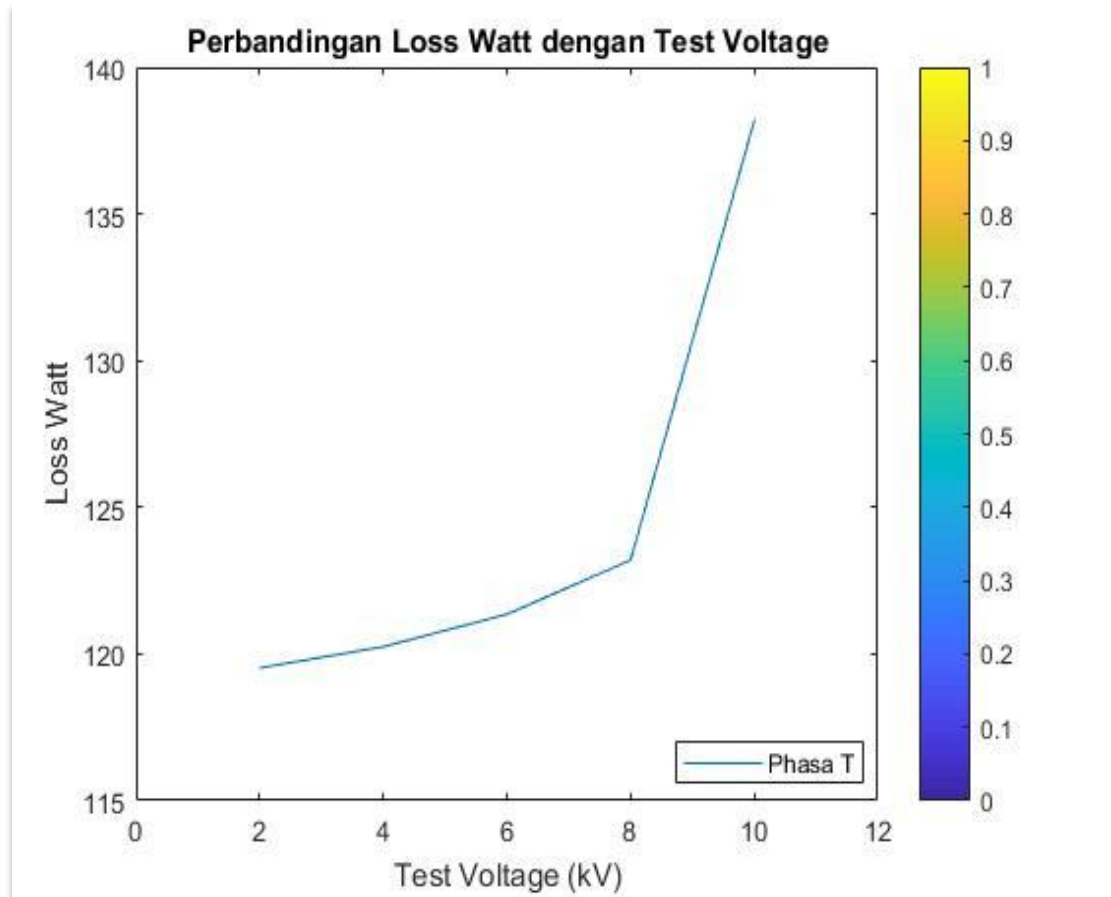


Gambar 4.10. Grafik perbandingan Capacitance dengan Test voltage

Dari grafik pada gambar 4.10. yaitu perbandingan Capacitance dengan Test Voltage menunjukkan bahwa terdapat perubahan pada nilai Capacitance terhadap variasi tegangan yang diberikan. Variasi tegangan yang diberikan yaitu mulai dari 2 kV lalu dinaikkan menjadi 4 kV, 6 kV, 8 kV dan 10 kV. Dengan variasi tegangan yang diberikan selisih perubahan nilai Capacitance tidak begitu besar, dapat dilihat pada colorbar yang masih berada pada warna biru dengan nilai rata-rata Capacitance yaitu 197255.3 pF atau 0.197 μ F. Itu berarti nilai Capacitance masih dapat diterima.

c. Perbandingan Loss Watt dengan Test Voltage

Perbandingan Loss Watt dengan Test Voltage ditunjukkan pada gambar 4.11:

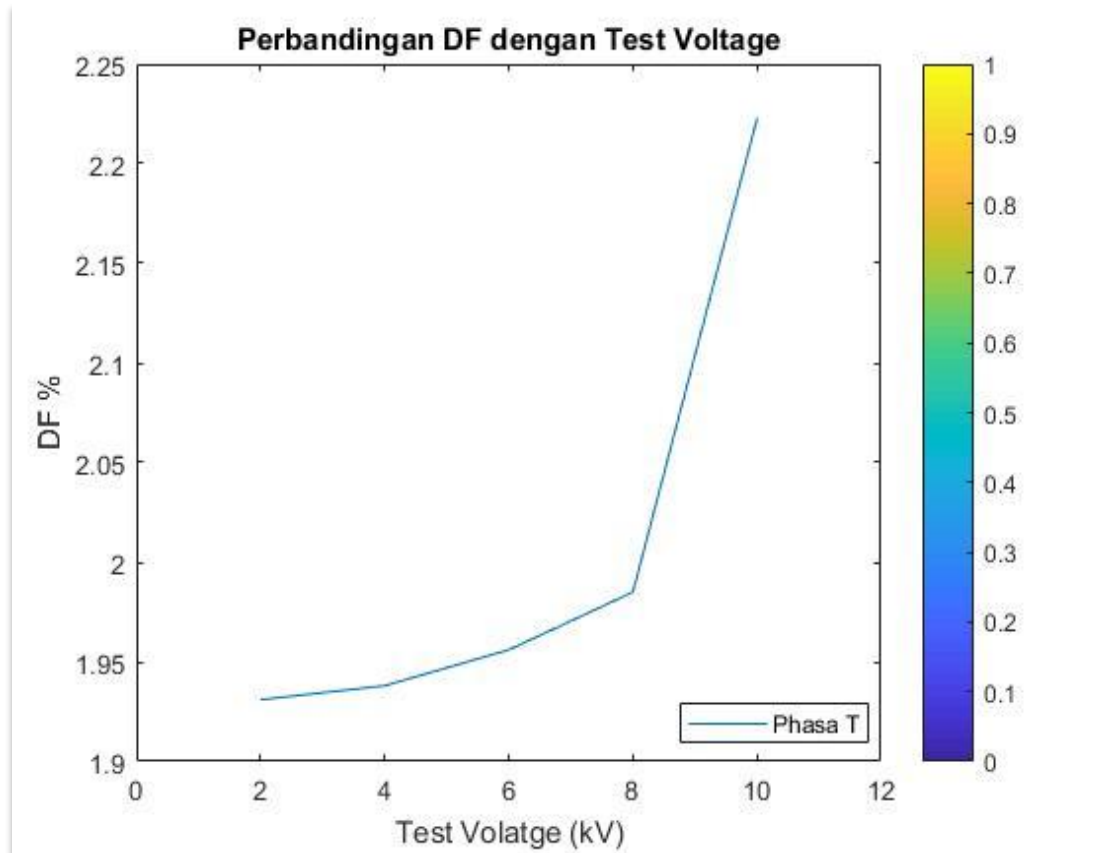


Gambar 4.11. Grafik perbandingan Loss Watt dengan Test Voltage

Dari grafik pada gambar 4.11. yaitu perbandingan antara Loss watt dengan Test Voltage menunjukkan bahwa terdapat perubahan nilai Loss Watt terhadap variasi tegangan yang diberikan. Variasi tegangan yang diberikan yaitu mulai dari 2 kV lalu dinaikkan menjadi 4 kV, 6 kV, 8 kV dan 10 kV. Dengan variasi tegangan yang diberikan selisih perubahan nilai Loss Watt tidak begitu besar, dapat dilihat pada colorbar yang masih berada pada warna biru dengan nilai rata-rata Loss Watt yaitu 124.507 W. Itu berarti nilai Loss Wat masih dapat diterima.

d. Perbandingan Dissipation Factor dengan Test Voltage

Perbandingan Dissipation Factor dengan Test Voltage ditunjukkan pada gambar 4.12:



Gambar 4.12. Grafik perbandingan DF dengan Test Voltage

Dari grafik pada gambar 4.12. yaitu perbandingan antara Dissipation Factor dengan Test Voltage menunjukkan bahwa terdapat perubahan nilai Dissipation Factor terhadap variasi tegangan yang diberikan. Variasi tegangan yang diberikan yaitu mulai dari 2 kV lalu dinaikkan menjadi 4 kV, 6 kV, 8 kV dan 10 kV. Dengan variasi tegangan yang diberikan selisih perubahan nilai Dissipation Factor tidak begitu besar, dapat dilihat pada colorbar yang masih berada pada warna biru dengan nilai rata-rata Dissipation Factor yaitu 2 %. Itu berarti nilai Dissipation Factor masih dapat diterima. Nilai rata-rata Dissipation factor ditunjukkan pada tabel 4.17:

Tabel 4.17. Nilai rata-rata tan delta fase T

No	Test Voltage (kV)	Dissipation Factor (%)
1	1.999	1.931
2	3.999	1.938
3	5.999	1.956
4	8.002	1.985
5	10.006	2.223
Rata-rata DF (%) Phasa T		2.0066

Dari tabel diatas pada fase T nilai Dissipation Factor atau Tan Delta mengalami kenaikan terhadap variasi tegangan yang diberikan. Hal tersebut tidak menjadi masalah karena selisih dari nilai Dissipation factor tidak terlalu besar dengan rata-rata nilai tan delta yaitu 2.0066 %. Berikut sampel perhitungan nilai Dissipation factor pada fase T:

- Tegangan uji 2 kV

Pada tegangan uji 2 kV parameter uji ditunjukkan pada tabel 4.18.:

Tabel 4.18. Tabel tegangan uji 2 kV

Loss Watt (W)	Charge Current (mA)	Capacitance (μ F)
119,522	619,08	0,197

Berdasarkan data pada tabel 4.18. dapat dihitung factor dissipasi atau tan delta sebagai berikut:

$$DF = \omega \cdot R_s \cdot C_s$$

$$R_s = \frac{P}{I^2}$$

$$R_s = \frac{P}{I^2} = \frac{119.522}{619.08^2} = \frac{119.522 \times 10^{-2}}{383260.046 \times 10^{-12}} = 31185.61\Omega$$

$$DF = 2\pi f \times R_s \times C_s$$

$$= 2 \times 3.14 \times 50 \times 31185.61 \times 0.197$$

$$= 1929079.711 \times 10^{-6}$$

$$= 1.929 \%$$

- Tegangan uji 4 kV

Pada tegangan uji 4 kV parameter uji ditunjukkan pada tabel 4.19.:

Tabel 4.19. Tabel tegangan uji 4 kV

Loss Watt (W)	Charge Current (mA)	Capacitance (μ F)
120,246	620,435	0,197

Berdasarkan data pada tabel 4.19. dapat dihitung factor dissipasi atau tan delta sebagai berikut:

$$DF = \omega \cdot R_s \cdot C_s$$

$$R_s = \frac{P}{I^2}$$

$$R_s = \frac{P}{I^2} = \frac{120.246}{620.435^2} = \frac{120.246 \times 10^{-2}}{384939.59 \times 10^{-12}} = 31237.63\Omega$$

$$DF = 2\pi f \times R_s \times C_s$$

$$= 2 \times 3.14 \times 50 \times 31237.63 \times 0.197$$

$$= 1932297.255 \times 10^{-6}$$

$$= 1.932 \%$$

- Tegangan uji 6 kV

Pada tegangan uji 6 kV parameter uji ditunjukkan pada tabel 4.20.:

Tabel 4.20. Tabel tegangan uji 6 kV

Loss Watt (W)	Charge Current (mA)	Capacitance (μF)
121,352	620,385	0,197

Berdasarkan data pada tabel 4.20. dapat dihitung factor dissipasi atau tan delta sebagai berikut:

$$DF = \omega \cdot R_s \cdot C_s$$

$$R_s = \frac{P}{I^2}$$

$$R_s = \frac{P}{I^2} = \frac{121.352}{620.385^2} = \frac{121.352 \times 10^{-2}}{384877.55 \times 10^{-12}} = 31530.03\Omega$$

$$DF = 2\pi f \times R_s \times C_s$$

$$= 2 \times 3.14 \times 50 \times 31530.03 \times 0.197$$

$$= 1950384.472 \times 10^{-6}$$

$$= 1.950 \%$$

- Tegangan uji 8 kV

Pada tegangan uji 8 kV parameter uji ditunjukkan pada tabel 4.21.:

Tabel 4.21. Tabel tegangan uji 8 kV

Loss Watt (W)	Charge Current (mA)	Capacitance (μF)
123,201	620,715	0,197

Berdasarkan data pada tabel 4.21. dapat dihitung factor dissipasi atau tan delta sebagai berikut:

$$DF = \omega \cdot R_s \cdot C_s$$

$$R_s = \frac{P}{I^2}$$

$$R_s = \frac{P}{I^2} = \frac{123.201}{620.715^2} = \frac{123.201 \times 10^{-2}}{385287.11 \times 10^{-12}} = 31976.41 \Omega$$

$$DF = 2\pi f \times R_s \times C_s$$

$$= 2 \times 3.14 \times 50 \times 31976.41 \times 0.197$$

$$= 1977996.955 \times 10^{-6}$$

$$= 1.978 \%$$

- Tegangan uji 10 kV

Pada tegangan uji 10 kV parameter uji ditunjukkan pada tabel 4.22.:

Tabel 4.22. Tabel tegangan uji 10 kV

Loss Watt (W)	Charge Current (mA)	Capacitance (μ F)
138,213	621,787	0,198

Berdasarkan data pada tabel 4.22. dapat dihitung factor dissipasi atau tan delta sebagai berikut:

$$DF = \omega \cdot R_s \cdot C_s$$

$$R_s = \frac{P}{I^2}$$

$$R_s = \frac{P}{I^2} = \frac{138.213}{621.787^2} = \frac{138.213 \times 10^{-2}}{386619.07 \times 10^{-12}} = 35749.14 \Omega$$

$$DF = 2\pi f \times R_s \times C_s$$

$$= 2 \times 3.14 \times 50 \times 35749.14 \times 0.198$$

$$= 2222595.532 \times 10^{-6}$$

$$= 2.223 \%$$

Dari hasil perhitungan nilai faktor dissipasi atau Tan Delta diatas selisih dengan hasil pengukuran hanya sekitar 0,01%.

4.5. Analisis dan Hasil

Pengujian yang dilakukan pada generator unit 2 PLTU Pacitan memiliki standar nilai tahanan isolasi atau tan delta yang menjadi acuan. Apakah tahanan isolasi pada belitan stator generator masih dalam kondisi baik atau buruk. Standar yang dipakai yaitu IEEE std 286-2000 dan VDE 0530 Part 1. Nilai tahanan isolasi atau tan delta dikatakan baik apabila memenuhi syarat sebagai berikut:

1. Initial $\tan\delta (0.2 U_n) = 4\%$
2. Increase $(\tan\delta 0.6 - \tan\delta 0.2) / 2 = 0.25\%$
3. Increase $\Delta \tan\delta (\tan\delta 0.8 - \tan\delta 0.6) = 0.5\%$

Hasil nilai standar tahanan isolasi atau tan delta ditunjukkan pada tabel 4.23:

Tabel 4.23. Nilai standart Tan Delta

Kriteria	Phasa R	Phasa S	Phasa T	Standart	Keterangan
$\tan\delta (0.2 U_n)$	1.900%	2.005	1.931	$\leq 4\%$	Good
$(\tan\delta 0.6 - \tan\delta 0.2) / 2$	0.012%	0.012%	0.0125%	$\leq 0.25\%$	Good
$\Delta \tan\delta (\tan\delta 0.8 - \tan\delta 0.6)$	0.037%	0.049%	0.029%	$\leq 0.5\%$	Good

➤ Phasa R to Ground:

$$\text{Initial } \tan\delta (0.2 U_n) = 1.900\%$$

$$\text{Increase } (\tan\delta 0.6 - \tan\delta 0.2) / 2 = (1.924 - 1.900) / 2 = 0.012\%$$

$$\text{Increase } \Delta \tan\delta (\tan\delta 0.8 - \tan\delta 0.6) = 1.961 - 1.924 = 0.037\%$$

➤ Phasa S to Ground:

$$\text{Initial } \tan\delta (0.2 U_n) = 2.005\%$$

$$\text{Increase } (\tan\delta 0.6 - \tan\delta 0.2) / 2 = (2.029 - 2.005) / 2 = 0.012\%$$

$$\text{Increase } \Delta \tan\delta (\tan\delta 0.8 - \tan\delta 0.6) = 2.078 - 2.029 = 0.049\%$$

➤ Phasa T to Ground:

$$\text{Initial } \tan\delta (0.2 U_n) = 1.931\%$$

$$\text{Increase } (\tan\delta 0.6 - \tan\delta 0.2) / 2 = (1.956 - 1.931) / 2 = 0.0125\%$$

$$\text{Increase } \Delta \tan\delta (\tan\delta 0.8 - \tan\delta 0.6) = 1.985 - 1.956 = 0.029\%$$

Hasil diatas menunjukkan bahwa nilai pengujian masih dalam kondisi standar yang diijinkan yaitu $\tan\delta \leq 5\%$. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa nilai tahanan isolasi generator unit 2 PLTU 1 Pacitan masih dalam kondisi baik dan dapat diterima dengan nilai $\tan\delta$ kurang dari 5% seperti di tunjukkan pada tabel 4.23.

Pada gambar 4.1., gambar 4.5. dan gambar 4.9. perbandingan Charge Current dengan Test Voltage menunjukkan bahwa dengan variasi tegangan uji yang diberikan yaitu mulai dari 2 kV, 4 kV, 6kV, 8 kV sampai 10 kV terdapat kenaikan arus. Namun hal tersebut tidak menjadi masalah karena pada pengujian setiap phasa yaitu phas R, phasa S dan phasa T menunjukkan hasil yang linier. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa belun terdapat tanda-tanda kebocoran arus belitan setiap phasa generator.

Pada gambar 4.2., gambar 4.6. dan gambar 4.10 perbandingan Capacitance dengan Test Voltage menunjukkan bahwa dengan variasi tegangan

yang diberikan yaitu mulai dari 2 kV, 4 kV, 6 kV, 8 kV sampai 10 kV menghasilkan nilai rata-rata Capacitance setiap fasa yaitu 0.197 μ F. Itu berarti belum terdapat tanda-tanda gejala *void* pada isolasi setiap fasa generator.

Dari semua data pengujian tahanan isolasi pada generator unit 2 PLTU 1 Pacitan. Dapat dilihat dan disimpulkan bahwa nilai tahanan isolasi generator masih bagus dan dapat diterima. Itu berate isolasi generator unit 2 PLTU 1 Pacitan dalam kondisi baik. Semua itu dibuktikan pada gambar 4.4., gambar 4.8. dan gambar 4.12. dengan variasi tegangan yang diberikan yaitu mulai dari 2 kV, 4 kV, 6 kV, 8 kV sampai 10 kV menunjukkan rata-rata nilai Dissipation Factor atau Tan Delta yaitu 1.976 pada fasa R, 2.086 pada fasa S dan 2.007 pada fasa T. Dibandingkan dengan nilai standart yang dipakai yaitu Initial $\tan\delta$ (0.2 Un) \leq 4%, Increase $(\tan\delta 0.6 - \tan\delta 0.2) / 2 \leq 0.25\%$ dan Increase $\Delta \tan\delta$ $(\tan\delta 0.8 - \tan\delta 0.6) \leq 0.5\%$ hasil diatas masih berada dibawah batas standart yang digunakan. Jadi tahanan isolasi pada setiap fasa masih dalam kondisi baik.