

# ANALISIS HASIL PENGUJIAN TAN DELTA STATOR GENERATOR SETELAH OVERHAUL MENGGUNAKAN OMICRON CPC 100 DAN CP-TD1 DI PLTU SUMBER ALAM SEKURAU TANJUNG SELOR

Adi Gunawan<sup>1)</sup> dan Agus Adhi Nugroho<sup>2)</sup>

<sup>1,2)</sup>Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung Semarang

Jl. Kaligawe Raya No. Km. 4, Terboyo Kulon, Kecamatan Genuk, Kota Semarang, Jawa Tengah 50112

e-mail: adig300199@gmail.com<sup>1)</sup>, agusadhi@unissula.ac.id<sup>2)</sup>

## ABSTRACT

*Tan delta is a critical parameter in assessing the insulation quality of generator stators, used to evaluate the condition and performance of insulation systems. This study aims to analyze the results of tan delta testing on a generator stator after an overhaul, using the Omicron CPC 100 and CP-TD1 devices at the Sumber Alam Sekurau Steam Power Plant, Tanjung Selor. The testing process involved measuring tan delta values at various voltage levels according to international testing standards to determine the extent of degradation or damage in the insulation material. The test data were analyzed to identify changes in tan delta values before and after the overhaul and to evaluate the maintenance process's efficiency in restoring insulation quality. The study results revealed a significant improvement in tan delta values after the overhaul, with measurements falling within the safe range defined by IEEE 43-2000 standards. The use of Omicron CPC 100 and CP-TD1 devices proved effective in delivering accurate and reliable testing results, facilitating a comprehensive evaluation of insulation conditions. The study concludes that tan delta testing is crucial in ensuring generator reliability post-overhaul. This analysis provides recommendations for periodic maintenance and testing to minimize insulation failure risks and enhance the efficiency and reliability of the power generation system at the Sumber Alam Sekurau Steam Power Plant.*

**Keywords:** Tan delta, generator stator, overhaul, Omicron CPC 100, CP-TD1, steam power plant.

## ABSTRAK

*Tan delta merupakan salah satu parameter penting dalam pengujian kualitas isolasi pada stator generator, yang digunakan untuk mengevaluasi kondisi dan performa sistem isolasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hasil pengujian tan delta pada stator generator setelah proses overhaul, menggunakan perangkat Omicron CPC 100 dan CP-TD1 di PLTU Sumber Alam Sekurau, Tanjung Selor. Proses pengujian melibatkan pengukuran nilai tan delta pada berbagai level tegangan, sesuai dengan standar pengujian internasional, untuk menentukan tingkat degradasi atau kerusakan pada material isolasi. Data hasil pengujian dianalisis untuk mengidentifikasi perubahan nilai tan delta sebelum dan sesudah overhaul, serta mengevaluasi efisiensi proses perawatan terhadap kualitas isolasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai tan delta pada stator generator mengalami perubahan signifikan setelah overhaul, dimana nilai tan delta berada dalam rentang batas aman yang ditetapkan oleh standar IEC 60034-27-3: Dissipation Factor Acceptance Criteria for Stator Winding Insulation. Penggunaan perangkat Omicron CPC 100 dan CP-TD1 terbukti memberikan hasil pengujian yang akurat dan dapat diandalkan, sehingga mempermudah evaluasi kondisi isolasi secara komprehensif. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa pengujian tan delta merupakan langkah krusial untuk memastikan keandalan operasi generator pasca-overhaul. Hasil analisis ini memberikan rekomendasi untuk perawatan dan pengujian berkala guna meminimalkan risiko kerusakan isolasi serta meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem pembangkitan di PLTU.*

**Kata Kunci:** Tan delta, stator generator, overhaul, Omicron CPC 100, CP-TD1, PLTU.

## I. PENDAHULUAN

GENERATOR sinkron merupakan salah satu komponen vital dalam sistem pembangkit tenaga listrik yang bertugas mengonversi energi mekanik menjadi energi listrik. Keandalan generator sangat bergantung pada kualitas isolasi lilitan stator dan rotor, yang berfungsi sebagai penghalang antara bagian yang dialiri arus listrik dan bagian yang tidak dialiri arus. Seiring berjalannya waktu, kondisi isolasi pada generator dapat menurun akibat pengaruh faktor lingkungan seperti panas berlebih, kelembaban, polusi, getaran mekanik, serta tegangan tinggi yang terus-menerus diterapkan. Pada generator, salah satu komponen utama

yang sangat krusial adalah kumparan stator. Kumparan stator berfungsi untuk menghasilkan medan magnet yang berinteraksi dengan rotor untuk menghasilkan arus listrik. Namun, kumparan stator juga rentan terhadap kerusakan akibat faktor-faktor seperti kelebihan beban, umur operasional yang panjang, atau gangguan lain selama proses pengoperasian. Untuk mendeteksi masalah pada isolator kumparan stator, terutama setelah overhaul ada banyak pengujian seperti, *insulation resistance test, polarization index test, winding resistance test, bump test, tan delta test, dan partial discharge test* salah satu metode yang paling efektif adalah melakukan pengujian tangen delta (Tan Delta). Pengujian ini mengukur kualitas isolasi dengan menganalisis perubahan

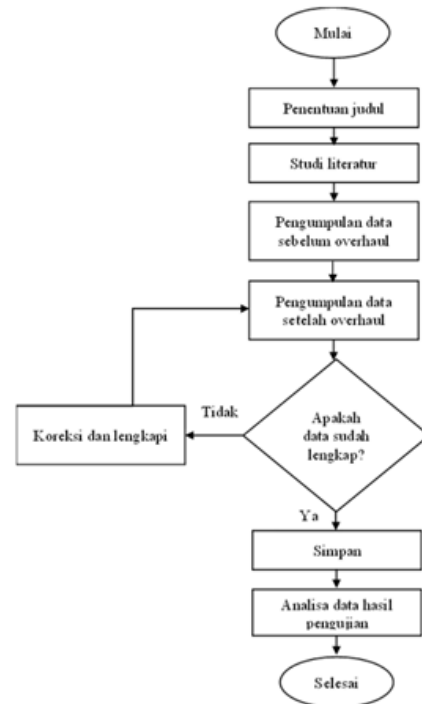
resistansi pada material isolator di bawah tegangan tinggi. Pengujian Tan Delta sangat penting untuk mendeteksi kerusakan yang terjadi pada isolasi stator generator setelah overhaul. Isolator yang rusak atau menurun kualitasnya akan menunjukkan nilai Tan Delta yang lebih tinggi, yang mengindikasikan peningkatan konduktivitas dan hilangnya kemampuan isolasi. Dengan mengetahui kondisi isolator secara lebih akurat, perbaikan dapat dilakukan lebih awal sebelum masalah yang lebih besar terjadi, seperti terjadinya hubung singkat atau kerusakan fatal pada generator. Ini akan membantu mencegah pemadaman listrik mendadak yang dapat mengganggu pasokan listrik kepada konsumen. Melakukan pengujian secara berkala membantu dalam pemeliharaan preventif, yang lebih efektif daripada menunggu terjadinya kerusakan besar. Pengujian Tan Delta memungkinkan untuk memonitor kondisi isolasi secara terus-menerus dan melakukan perawatan yang diperlukan sebelum kerusakan terjadi. Mengidentifikasi masalah pada isolasi stator akan membantu meningkatkan keandalan dan efisiensi generator dalam jangka panjang, yang sangat penting bagi operasional PLTU yang harus selalu dalam kondisi siap untuk memberikan listrik secara stabil. Menjaga kualitas isolasi juga berperan besar dalam keselamatan operasional. Isolasi yang baik mencegah terjadinya arus bocor atau gangguan yang bisa membahayakan personel yang bekerja di sekitar generator atau merusak komponen lainnya.

## II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analisis deskriptif dan kuantitatif untuk menganalisis dan mengevaluasi fenomena yang terjadi. menginvestigasi pengujian Tan Delta pada generator sinkron dengan menggunakan perangkat Omicron CPC 100 dan CP-TD1. Pengujian tandelta dilakukan melalui pengujian perphasa, yaitu dengan menginjeksi tegangan AC ke salah satu terminal fasanya, kemudian dua terminal fasa yang tidak diuji/diukur di short kemudian dihubungkan ke ground. Pengujian tam delta dilakukan pada sebelum overhaul dan setelah diakukan overhaul.

Pengambilan data sebelum overhaul merupakan langkah penting dalam proses pemeliharaan dan perbaikan generator di PLTU Sumber Alam Sekurau Tanjung Selor. Tujuan dari pengambilan data ini adalah untuk memperoleh kondisi baseline (awal) dari generator, sehingga bisa dilakukan perbandingan dengan kondisi setelah overhaul dan pengujian Tan Delta. Data yang diambil pada tahap ini akan memberikan informasi yang berguna untuk mendeteksi masalah atau kerusakan yang ada pada sistem sebelum dilakukan perbaikan. Setelah melakukan pengujian Tan Delta dan pengukuran lainnya pada stator generator sebelum dan setelah proses overhaul di PLTU Sumber Alam Sekurau Tanjung Selor, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis data hasil pengujian. Analisis

ini bertujuan untuk mengevaluasi apakah proses overhaul telah berhasil memperbaiki kualitas isolasi stator generator dan untuk memastikan bahwa generator siap beroperasi kembali dengan aman dan efisien.



Gambar 1. Flowchart Pengujian Tan Delta

## III. HASIL DAN ANALISA

Nilai Tan Delta diukur pada saat pengujian isolasi generator. Umumnya, nilai Tan Delta dinyatakan dalam persentase (%). Berikut adalah kriteria acceptance menurut IEC 60034-27-3.

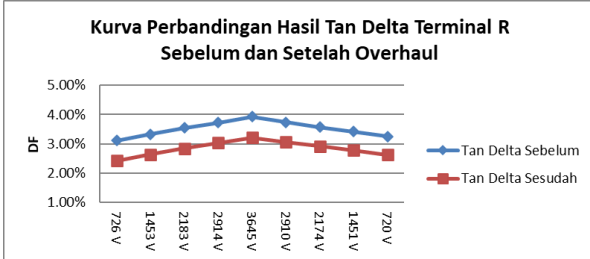
TABEL I  
KRITERIA IEC 60034-27-3 DISSIPATION FAC-TOR ACCEPTANCE  
CRITERIA FOR STA-TOR WINDING IN-SULATION

	Parameter	Stand-ard Cri-teria	Condi-tion
IEC 60034-27-3: Dissipation Factor Acceptance Criteria for Stator Winding Insulation	Tan Delta at 0.2 Un	$\leq 2 \%$	Good
	Delta Tan Delta / 0.2 Un	$\leq 0.5 \%$	Good
	Tip Up Delta Tan		
	Delta = DF (0.6Un) – DF (0.2Un)	$\leq 0.5 \%$	Good

Selanjutnya dilakukan pengujian nilai tan delta sebelum dan sesudah overhaul dengan menggunakan mode pengujian : GSTg (Grounding Spicement Test With Guard) dengan kita inject tegangan uji  $0.2*Un$ ;  $0.4*Un$ ;  $0.6*Un$ ;  $0.8*Un$ ;  $Un$ ;  $(0.8*Un)-1$ ;  $(0.6*Un)-1$ ;  $(0.4*Un)-1$ ;  $(0.2*Un)-1$ ; dengan  $Un =$  Tegangan nominal generator/  $\sqrt{3}$  atau  $(6,3 \text{ kV}/ \sqrt{3})$ .

TABEL II  
PERBANDINGAN HASIL TAN DELTA TERMINAL R SEBELUM DAN SESUDAH OVERHAUL

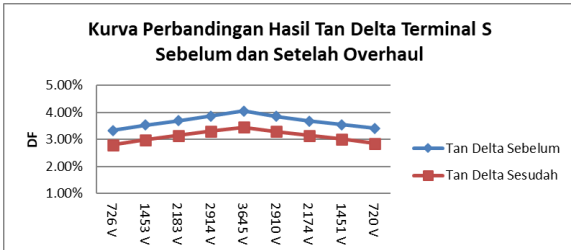
V Test	Terminal R - Ground		
	V Meas (V)	DF Sebelum (%)	DF Sesudah (%)
0.2 Un	726 V	3.1168 %	2.4255 %
0.4 Un	1449 V	3.3283 %	2.6443 %
0.6 Un	2182 V	3.5444 %	2.8520 %
0.8 Un	2910 V	3.7299 %	3.0373 %
1 Un	3641 V	3.9326 %	3.2205 %
0.8 Un -1	2909 V	3.7349 %	3.0640 %
0.6 Un -1	2171 V	3.5654 %	2.9219 %
0.4 Un -1	1449 V	3.4208 %	2.7827 %
0.2 Un -1	723 V	3.2587 %	2.6246 %



Gambar 2. Kurva Perbandingan Hasil Tan Delta Terminal R Sebelum dan Sesudah Overhaul

TABEL III  
PERBANDINGAN HASIL TAN DELTA TERMINAL S SEBELUM DAN SESUDAH OVERHAUL

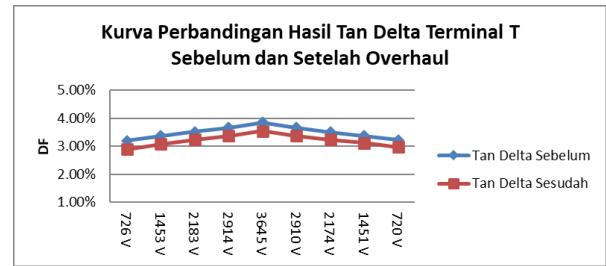
V Test	Terminal S - Ground		
	V Meas (V)	DF Sebelum (%)	DF Sesudah (%)
0.2 Un	726 V	3.3277 %	2.8001 %
0.4 Un	1449 V	3.5297 %	2.9870 %
0.6 Un	2182 V	3.6904 %	3.1459 %
0.8 Un	2910 V	3.8597 %	3.2982 %
1 Un	3641 V	4.0460 %	3.4450 %
0.8 Un -1	2909 V	3.8430 %	3.2925 %
0.6 Un -1	2171 V	3.6787 %	3.1491 %
0.4 Un -1	1449 V	3.5457 %	3.0096 %
0.2 Un -1	723 V	3.4061 %	2.8504 %



Gambar 3. Kurva Perbandingan Hasil Tan Delta Terminal S Sebelum dan Sesudah Overhaul

TABEL IV  
PERBANDINGAN HASIL TAN DELTA TERMINAL T SEBELUM DAN SESUDAH OVERHAUL

V Test	Terminal T - Ground		
	V Meas (V)	DF Sebelum (%)	DF Sesudah (%)
0.2 Un	726 V	3.2002 %	2.8863 %
0.4 Un	1449 V	3.3727 %	3.0790 %
0.6 Un	2182 V	3.5110 %	3.2310 %
0.8 Un	2910 V	3.6685 %	3.3723 %
1 Un	3641 V	3.8426 %	3.5366 %
0.8 Un -1	2909 V	3.6573 %	3.3736 %
0.6 Un -1	2171 V	3.5021 %	3.2376 %
0.4 Un -1	1449 V	3.3718 %	3.1181 %
0.2 Un -1	723 V	3.2226 %	2.9652 %



Gambar 4. Kurva Perbandingan Hasil Tan Delta Terminal S Sebelum dan Sesudah Overhaul

Hasil pengujian Tan Delta pada tabel 2, tabel 3, dan tabel 4, pada pengujian per fasa R, S dan T pada setelah overhaul yang di tunjukan tabel 2, tabel 3, dan tabel 4 mengalami penurunan dibanding hasil Tan Delta sebelum overhaul. Nilai Tan Delta berbanding lurus dengan tegangan uji, semakin tinggi tegangan uji yang di *inject* nilai tan delta menunjukkan kenaikan terlihat pada gambar 2, gambar 3 dan gambar 4. Namun pada jika merujuk pada standar kriteria tabel 1 nilai tan delta pada pengujian masih dalam kondisi di atas ambang batas yaitu di atas 2 % menunjukkan proses deteroisasi kemungkinan masih ada karena berbagai faktor, seperti usia, keausan, paparan lingkungan, atau beban operasional.

Dari data hasil pengujian Tan Delta sebelum dan setelah overhaul, parameter yang dihasilkan dapat digunakan untuk menghitung serberapa besar nilai rugi-rugi daya (Pd) menggunakan persamaan 2.8. Berikut adalah hasil perhitungan rugi-rugi daya (Pd) dari hasil pengujian Tan Delta sebelum dan sesudah overhaul. Berikut adalah sampel perhitungan rugi-rugi daya pada stator generator.

- a. Rugi-rugi Daya 0,2 Un sebelum Overhaul Terminal R

$$Pd = \omega . C . V^2 . \tan \delta$$

$$Pd = 2\pi f . C . V^2 . \tan \delta$$

Pd

$$= 2 \times 3,14 \times 50 \times 59,449 \times 10^{-9} \times 726^2 \times 0,031168$$

$$Pd = 0,306659468 \text{ Watt}$$

- b. Rugi-rugi Daya 0,2 Un Setelah Overhaul Terminal R

$$Pd = \omega . C . V^2 . \tan \delta$$

$$Pd = 2\pi f . C . V^2 . \tan \delta$$

Pd

$$= 2 \times 3,14 \times 50 \times 59,015 \times 10^{-9} \times 727^2 \times 0,024255$$

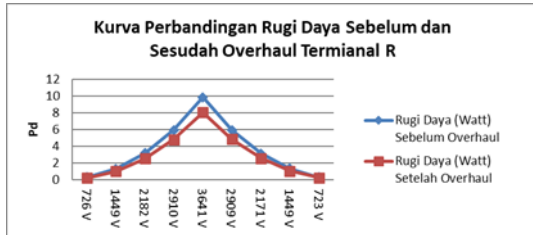
$$Pd = 0.239300884 \text{ Watt}$$

Dari hasil perhitungan di atas kemudian diuraikan hasil perhitungan rugi-rugi daya pada tabel 5 di bawah ini dan dilakukan pembuatan kurva gambar 5 yang menunjukkan bahwa nilai rugi-rugi daya setelah overhaul mengalami penurunan seperti halnya penurunan pada nilai tan delta. Hal itu menunjukkan bahwa nilai

rugi-rugi daya berbanding lurus dengan tan delta dan membentuk kurva eksponensial.

TABEL V  
PERBANDINGAN RUGI DAYA SEBELUM DAN SESUDAH OVERHAUL  
TERMINAL R

V Test	V Meas (V)	Terminal R - Ground	
		Sebelum Overhaul Pd (Watt)	Setelah Overhaul Pd (Watt)
0.2 Un	726 V	0.306659468	0.239300884
0.4 Un	1451 V	1.315166101	1.046324635
0.6 Un	2186 V	3.170081073	2.56016088
0.8 Un	2914 V	5.959755847	4.843109476
1 Un	3641 V	9.855780859	8.075563388
0.8 Un -1	2903 V	5.951074672	4.882083267
0.6 Un -1	2172 V	3.164052249	2.592989361
0.4 Un -1	1446 V	1.349852948	1.084478284
0.2 Un -1	721 V	0.316001026	0.25309941



Gambar 5. Kurva Perbandingan Rugi Daya Sebelum dan Sesudah Overhaul Terminal R

c. Rugi-rugi Daya 0,2 Un sebelum Overhaul Terminal S

$$Pd = \omega \cdot C \cdot V^2 \cdot \tan \delta$$

$$Pd = 2\pi f \cdot C \cdot V^2 \cdot \tan \delta$$

$$Pd = 2 \times 3,14 \times 50 \times 59,796 \times 10^{-9} \times 726^2 \times 0,033277$$

$$Pd = 0.329320821 \text{ Watt}$$

d. Rugi-rugi Daya 0,2 Un Setelah Overhaul Terminal S

$$Pd = \omega \cdot C \cdot V^2 \cdot \tan \delta$$

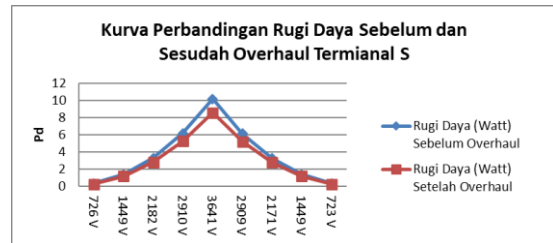
$$Pd = 2 \times 3,14 \times 50 \times 59,425 \times 10^{-9} \times 727^2 \times 0,028001$$

$$Pd = 0.275388386 \text{ Watt}$$

Dari hasil perhitungan di atas kemudian diuraikan hasil perhitungan rugi-rugi daya pada tabel 6 di bawah ini dan dilakukan pembuatan kurva gambar 6 yang menunjukkan bahwa nilai rugi-rugi daya setelah overhaul mengalami penurunan seperti halnya penurunan pada nilai tan delta. Hal itu menunjukkan bahwa nilai rugi-rugi daya berbanding lurus dengan tan delta dan membentuk kurva eksponensial.

TABEL VI  
PERBANDINGAN RUGI DAYA SEBELUM DAN SESUDAH OVERHAUL  
TERMINAL S

V Test	V Meas (V)	Terminal S - Ground	
		Sebelum Overhaul Pd (Watt)	Setelah Overhaul Pd (Watt)
0.2 Un	726 V	0.329320821	0.275388386
0.4 Un	1451 V	1.402657493	1.176265674
0.6 Un	2186 V	3.317283988	2.817392481
0.8 Un	2914 V	6.195146343	5.259418727
1 Un	3641 V	10.18420439	8.59360766
0.8 Un -1	2903 V	6.150294653	5.21076541
0.6 Un -1	2172 V	3.27901112	2.78462311
0.4 Un -1	1446 V	1.405397288	1.177387022
0.2 Un -1	721 V	0.331774971	0.276622222



Gambar 6. Kurva Perbandingan Rugi Daya Sebelum dan Sesudah Overhaul Terminal S

e. Rugi-rugi Daya 0,2 Un Sebelum Overhaul Terminal T

$$Pd = \omega \cdot C \cdot V^2 \cdot \tan \delta$$

$$Pd = 2\pi f \cdot C \cdot V^2 \cdot \tan \delta$$

$$Pd = 2 \times 3,14 \times 50 \times 59,655 \times 10^{-9} \times 726^2 \times 0,032002$$

$$Pd = 0.315956184 \text{ Watt}$$

f. Rugi-rugi Daya 0,2 Un Setelah Overhaul Terminal T

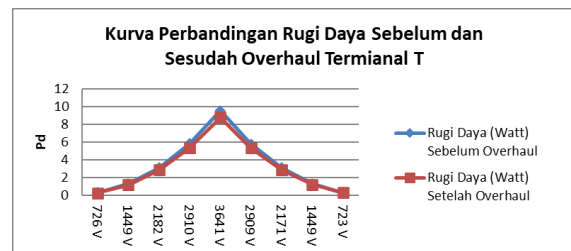
$$Pd = \omega \cdot C \cdot V^2 \cdot \tan \delta$$

$$Pd = 2 \times 3,14 \times 50 \times 59,287 \times 10^{-9} \times 726^2 \times 0,028863$$

$$Pd = 0.283206902 \text{ Watt}$$

TABEL VII  
PERBANDINGAN RUGI DAYA SEBELUM DAN SESUDAH OVERHAUL  
TERMINAL T

V Test	V Meas (V)	Terminal T - Ground	
		Sebelum Overhaul Pd (Watt)	Setelah Overhaul Pd (Watt)
0.2 Un	726 V	0.315956184	0.283206902
0.4 Un	1451 V	1.327373461	1.20631274
0.6 Un	2186 V	3.117230914	2.875973824
0.8 Un	2914 V	5.83230168	5.347673691
1 Un	3641 V	9.542806843	8.796047978
0.8 Un -1	2903 V	5.793338344	5.346327948
0.6 Un -1	2172 V	3.091252575	2.852769799
0.4 Un -1	1446 V	1.322957511	1.221939972
0.2 Un -1	721 V	0.311199628	0.288699967



Gambar 7. Kurva Perbandingan Rugi Daya Sebelum dan Sesudah Overhaul Terminal T

Dari hasil perhitungan di atas kemudian diuraikan hasil perhitungan rugi-rugi daya pada tabel 7 di bawah ini dan dilakukan pembuatan kurva gambar 7 yang menunjukkan bahwa nilai rugi-rugi daya setelah overhaul mengalami penurunan seperti halnya penurunan pada nilai tan delta. Hal itu menunjukkan bahwa nilai rugi-rugi daya berbanding lurus dengan tan delta dan membentuk kurva eksponensial.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian tan delta sebelum dan sesudah overhaul, di dapatkan nilai tan delta mengalami

penurunan pada setiap terminal winding stator. Berdasarkan hasil pengujian sebelum dan setelah overhaul nilai tan delta masih diatas ambang batas kriteria menurut IEC 60034-27-3, hal ini menunjukkan terjadi deteroisasi atau penurunan kualitas isolasi winding stator. Tan delta adalah salah satu pengujian elektrikal isolasi winding stator yang cukup efisien digunakan untuk dapat mengetahui deteroisasi atau penurunan kualitas isolasi winding stator pada saat overhaul dilakukan. Tan delta adalah indikator langsung dari rugi-rugi daya dielektrik dalam sistem isolasi. Semakin tinggi tan delta, semakin besar rugi-rugi daya, yang dapat mengurangi efisiensi sistem dan meningkatkan risiko kerusakan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bolorunduro, G. A., Mohammed, A., Uche, U. E., Ibrahim, B. G., & Audu, S. T. (2022). Analysis and remedies for factors responsible for time between overhaul: a case study of Do-228 aircraft starter generator. *Nigerian Journal of Technology*, 41(4), 767–777. <https://doi.org/10.4314/njt.v41i4.14>
- [2] Dwi Putri, N., Perawati, M., Ginting, B., Burhanuddin Tarigan, I., Konversi Energi, T., Mesin, T., & Medan, P. N. (2022). Menganalisis Pemeliharaan Exciter Di Pltd Titi Kuning. 1029–1038.
- [3] Febrijanto, H. R., & Hidayat, R. (2022). Analisis Pengujian Tan Delta Pada Transformator Arus Di Gitet Tasikmalaya Bay Penghantar Bandung Selatan-1. *Teknokom*, 6(2), 86–95. <https://doi.org/10.31943/teknokom.v6i2.143>
- [4] International Electrotechnical Commission. (2015). Rotating electrical machines-Part 27-3: Dielectric dissipation factor measurement on stator winding insulation of rotating electrical machines. *Iec 60034-27-3*.
- [5] Kartiko, B. M., Kusuma, T. C., & Silaen, Y. C. (2023). Preventive Maintenance of Diesel Power Generators in Indonesia's Manufacturing Industries. 594–605. <https://doi.org/10.46254/an12.20220105>
- [6] Morsalin, S., Phung, T. B., Danikas, M., & Mawad, D. (2019). Diagnostic challenges in dielectric loss assessment and interpretation: A review. *IET Science, Measurement and Technology*, 13(6), 767–782. <https://doi.org/10.1049/iet-smt.2018.5597>
- [7] Muhammad, A. F., Latifa, U., & Bangsa, I. A. (2021). Analisis Isolasi Pada Generator Pembangkit Listrik Tenaga Air Saguling. *Power Elektronik: Jurnal Orang Elektro*, 10(2), 48. <https://doi.org/10.30591/polektr.v10i2.2584>
- [8] Omicron. (2005). CPC-100 Reference Manual.
- [9] Omicron Electronics Corp. (2007). CP TD1 Reference Manual. 158.
- [10] Wawoh, D. P., Mangindaan, G. M. C., & Patras, L. S. (2024). Calculate Insulation. 13(1), 19–26.