

# Analisis Kondisi Belitan Stator Generator Melalui Pengujian Indeks Polarisasi Dan Tan Delta (*Dissipation Factor*)

Luki Septya Mahendra<sup>1\*</sup>, Zulkifli<sup>2</sup>, Bagiyo Herwono<sup>2</sup>, Yussi Anggraini<sup>2</sup>, Evi Nafiatu Solikhah<sup>2</sup>, Karimatun Nisa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Elektro, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

Jl. Raya ITS, Keputih, Kec. Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur

<sup>2</sup>Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Billfath Lamongan

Kompleks Pondok Pesantren Al Fatah, Siman, Kec. Sekaran, Kabupaten Lamongan, Jawa Timur

E-mail: [lukiseptya@pens.ac.id](mailto:lukiseptya@pens.ac.id)

Naskah Masuk: 28 Februari 2023; Diterima: 11 April 2023; Terbit: 28 Agustus 2023

## ABSTRAK

**Abstrak** – Belitan pada generator perlu dilakukan perawatan, khususnya jika sudah digunakan bertahun-tahun untuk mengetahui kondisi isolasi belitan. Hal ini diperlukan karena jika ada tindakan relokasi unit pembangkit, seperti yang dilakukan di Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) Tello ke Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Punagaya. Salah satu cara mengetahui kondisi belitan dapat menguji di belitan stator generator. Sehingga pada penelitian ini, dilakukan pengujian tahanan isolasi, *Polarization Index* (PI) dan tan delta untuk mengetahui kondisi isolasi belitan stator generator apakah dalam kondisi layak operasi. Pengujian tahanan isolasi beserta PI menggunakan *Megger*, dimana harus dilakukan untuk mengetahui besar tahanan isolasi tiap belitan sekaligus sebagai syarat uji tan delta. Jika hasil tahanan isolasi beserta PI masuk dalam standar yang diijinkan maka pengujian tan delta dapat di lanjutkan. Begitupun sebaliknya, jika kurang dari standar maka dilakukan pemanasan pada belitan stator agar memperbaiki tahanan isolasi stator. Uji PI melakukan perbandingan antara tahanan isolasi menit ke-1 dan menit ke-10. Hasil dari uji PI untuk fasa R=4,88; fasa S=4,33; fasa T=5,3. Dimana sesuai standar IEC 60085-01:1984 untuk mesin berputar yaitu bernilai 2,0. Sehingga berlanjut ke uji tan delta dengan menggunakan *Doble M4100*. Hasil uji menunjukkan tan delta tiap fasa pada nilai awal ( $0,2 U_n$ ) adalah 0,7%, yang artinya dalam kondisi cukup baik menurut standar ANSI C57.12.90. Yaitu diantara 0,5-0,7%. Nilai awal tan delta mempresentasikan kondisi isolasi sistem. Sehingga kondisi isolasi belitan stator generator PLTG Tello dikategorikan masih pada batas standar yang diijinkan dan layak untuk diterbitkan Sertifikat Layak Operasi (SLO).

**Kata kunci:** Tan Delta, Tahanan Isolasi, Polarisasi Indeks.

## ABSTRACT

**Abstract** - The winding on the generator need to maintain, especially if it has been used for years to determine the winding insulation condition. This is necessary because if there is a relocating generating units, such as what was done at the Tello Gas Power Plant (PLTG) to the Punagaya Steam Power Plant (PLTU). One way to find out insulation condition is testing the generator stator winding. In this study testing of insulation resistance, *Polarization Index* (PI) and tan delta was carried out to determine generator stator winding insulation condition was in a feasible operating condition or not. The isolation resistance and PI test uses *Megger* to determine isolation resistance of each winding and for the tan delta test requirements. If the insulation resistance and the PI test is within the permissible standards, the tan delta test can be continued. The PI test is comparison between the 1st and 10th minute of insulation resistance test. The PI test results for phase R=4.88; phase S=4.33; phase T = 5.3. Where according to the IEC 60085-01:1984 standard for rotating machines, it is PI=2.0 and proceed to tan delta test that using *Double M4100*. The test results showed that the tan delta for each phase at the initial value ( $0.2 U_n$ ) was around 0.7%, which means according to ANSI C57.12.90 standard, it is in allowed value. That is between 0.5-0.7%. The initial value of tan delta is to indicate the system isolation condition. Therefore, Tello PLTG generator stator winding insulation condition is still within the allowable standard limits and feasible to issue an Operational Certificate.

**Keywords:** Tan Delta, Insulation Resistance, Index Polaritation.

Copyright © 2023 Jurnal Teknik Elektro dan Komputasi (ELKOM)

## 1. PENDAHULUAN

Generator listrik merupakan sebuah mesin yang berfungsi untuk mengubah energi gerak (mekanik) menjadi energi listrik (elektrik). Generator merupakan bagian penting dari sebuah pembangkit listrik.

Karena itu diharapkan generator dapat beroperasi secara maksimal sehingga dapat terjaga kontinuitas dan kualitasnya. Bagian utama generator ialah stator dan rotor, salah satu bagian stator generator yang sangat kritis yaitu isolasi belitan, pada pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) Alstom I di sektor Tello-Makassar dalam posisi *standby* (operasi jika dibutuhkan), karena pasokan daya listrik di Sulawesi Selatan sudah terpenuhi dengan dioperasikannya PLTU Punagaya 2x100 MW milik PT. PLN (persero), 2x125 MW dan 2x135 MW yang dikembangkan oleh PT Bosowa Energy. Atas dasar tersebut PLTG Alstom I di sektor Tello-Makassar di relokasi ke PLTU Punagaya untuk difungsikan sebagai *black start unit* (suplai listrik awal untuk peralatan-peralatan *auxiliary*) jika terjadi matinya pembangkit listrik secara keseluruhan. Terjadinya *unplanned shutdown* pada pembangkit berdampak langsung pada pendapatan dan dampak yang lebih besar pada anggaran operasional karena berpotensi mematikan peralatan utama tidak berfungsi selama periode tertentu mulai dari beberapa hari hingga seminggu [1]. Sebelum dilakukan pemindahan satu set unit PLTG maka perlu untuk mengetahui kondisi kesiapan peralatan. Pada generator dilakukan pengujian belitan stator dengan metode tan delta untuk mendeteksi besarnya rugi-rugi dielektrik pada isolasi belitan stator generator [2]. Pengujian tan delta dilakukan sebagai metode uji tingkat insulasi belitan stator. Jika hasil pengujian memenuhi standar yang ditetapkan maka akan di terbitkan Sertifikat Layak Operasi (SLO) sebagai syarat dilakukan relokasi. Tabel 1 menunjukkan spesifikasi generator.

Tabel 1. Spesifikasi generator PLTG alstom I

Pabrik Pembuat	Alstom Atlantique
Type	T.174-160
Putaran	3000 RPM
Serial number	411711
Daya	25,125 MW
Phasa/frekuensi	3 phasa / 50 Hz
Tegangan	11 kV
Factor daya	0,8
Arus	1401 A
Maksimum Suhu	130 °C
Year	1981

## 2. KAJIAN PUSTAKA

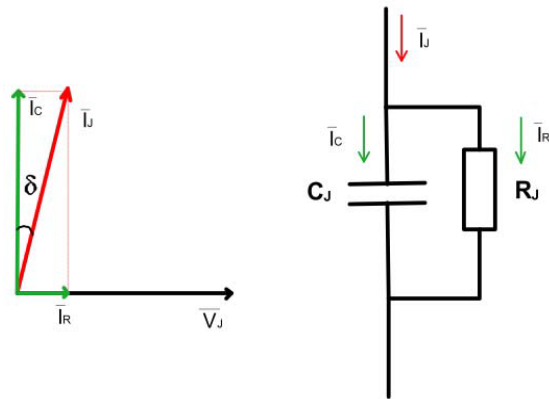
### 2.1. Tan Delta

Tan delta atau juga dikenal faktor disipasi, menjadi ukuran tingkat insulasi [3]. Pengujian faktor disipasi memberikan pengertian umum tentang seberapa bersih, kering, dan relatif bebas rongga dari suatu sistem insulasi. Insulasi tersebut apakah karakteristik kelistrikannya tidak memburuk akibat usia dan tekanan operasi. Kapasitansi mencerminkan jumlah muatan listrik yang disimpan secara efektif oleh insulasi. Dalam isolasi yang ideal hanya memiliki bagian kapasitif [4], [5]. Vektor diagram dan rangkaian ekuivalen tan delta dapat diperlihatkan pada Gambar.1 untuk mempermudah pendekatan dengan mendefinisikan tan delta sebagai rasio antara arus yang mengalir melalui ekuivalen resistor  $\bar{I}_R$  dan arus yang mengalir melalui ekuivalen kapasitor  $\bar{I}_C$ . Sehingga persamaan tan delta adalah (1) [6].

$$\tan \delta = \frac{|\bar{I}_R|}{|\bar{I}_C|} \quad (1)$$

Sehingga dapat diartikan juga persamaan (1) menjadi persamaan (2) [7]:

$$\tan \delta = \frac{1}{\omega RC} \quad (2)$$



Gambar 1. Vektor diagram dan rangkaian ekivalen tan delta [6]

Dimana nilai R dapat disubstitusikan dengan persamaan (3):

$$R = \frac{V^2}{P} \tag{3}$$

Sehingga jika persamaan (3) disubstitusikan ke persamaan (2) menjadi persamaan (4) [8] :

$$\text{Tan } \delta = \frac{P}{V^2 \omega C} \tag{4}$$

Dimana  $P$  adalah daya sistem. Variabel  $V$  adalah tegangan terukur. Nilai kapasitansi adalah  $C$ , dan  $\omega$  adalah  $2\pi f$ . Dimana  $f$  adalah frekuensi sistem. Berdasarkan standar *American National Standards Institute* (ANSI) C 57.12.90, nilai standar pengujian tan delta dapat dilihat di tabel 2.

Tabel 2. Nilai standar pengujian tan delta berdasarkan standar ANSI C 57.12.90 [9]

Nilai Uji Tan $\delta$	Keterangan kondisi
$\geq 1,0\%$	Buruk
0,5% - 0,7%	Terjadi Penurunan
$\leq 0,5$	Baik

**2.2. Indeks Polarisasi**

Pada dasarnya, sistem dielektrik berisi atom terpolarisasi dengan dipol dan atom terpolarisasi sejajar (polarisasi) dengan tegangan DC yang digunakan. Saat terpolarisasi, resistansi dielektrik akan meningkat dan setelahnya menjadi saturasi. Rasio dari dua *certain times* ( $t_1$  dan  $t_2$ ) dapat menunjukkan kondisi kesehatan isolasi dalam sistem. Rasio itu disebut Indeks Polarisasi atau *Polarization Index* (PI) [10]. Rasio tersebut ditunjukkan pada persamaan (5).

$$PI = \frac{R(t_2)}{R(t_1)} \tag{5}$$

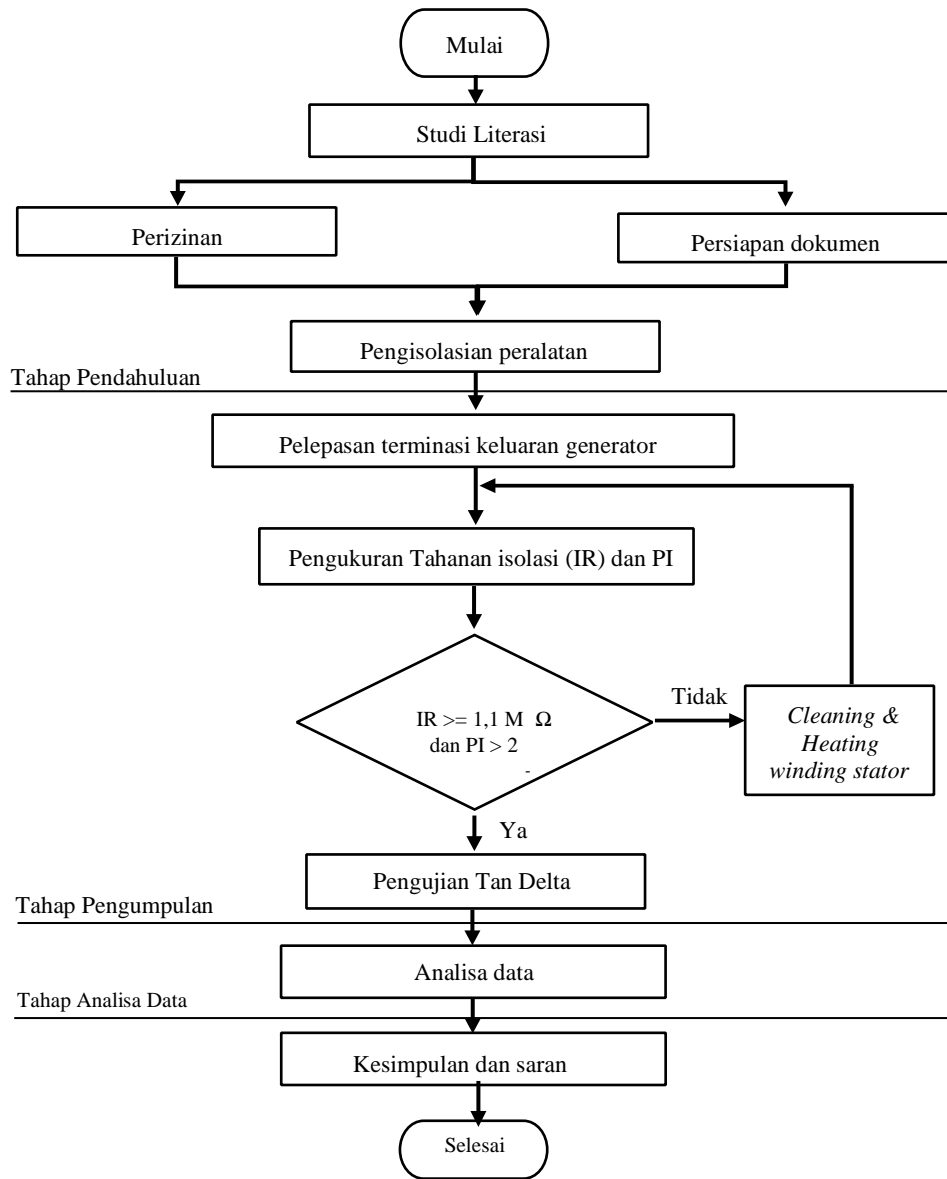
Dimana  $R(t_1)$  adalah tahanan isolasi setelah  $t_1$  kali penerapan tegangan DC dan  $R(t_2)$  adalah tahanan isolasi setelah  $t_2$  kali penerapan tegangan DC. Umumnya  $t_1$  adalah menit ke-1 dan  $t_2$  adalah pada menit ke-10 [9]. Pengukuran polaritas indeks juga merupakan variasi dari pengukuran tahanan isolasi atau *Insulation Resistance* (IR). Nilai minimum PI untuk mesin berputar AC dan DC tercantum pada Tabel 3 berdasarkan standar dari *International Electrotechnical Commission* (IEC) 60085-01: 1984.

Tabel 3. Nilai minimum PI untuk mesin berputar AC berdasarkan standar IEC 60085-01: 1984 [11]

Thermal Class Rating	Suhu Maksimum (°C)	Nilai Minimum PI
Class A	105	1,5
Class B	130	2,0
Class F	155	2,0
Class H	180	2,0

**3. METODE PENELITIAN**

Metode penelitian pada penelitian ini meliputi data dan teknik pengumpulan data, model penelitian dan metode analisis data yang ditunjukkan pada Gambar 2. Langkah-langkah penelitian antara lain:



Gambar 2. Flowchart penelitian

a. Tahap Pendahuluan

Dalam mengidentifikasi permasalahan dibutuhkan literatur yang berhubungan dengan permasalahan dari penelitian yang dilakukan. Dengan literatur yang sesuai diharapkan dapat mengetahui teori, konsep dan metode yang mendukung dalam penelitian. Pada tahapan ini merupakan salah satu cara untuk memperoleh data dengan melakukan pengamatan langsung terhadap objek penelitian dan persiapan awal untuk pengujian kondisi objek yang diteliti dengan membuat perizinan dan menyiapkan dokumen pekerjaan dan penelitian.

b. Identifikasi Masalah

Melakukan analisa kemungkinan masalah atau kesulitan saat pengambilan data objek yang diteliti dan mencari solusi untuk mengeliminasi permasalahan tersebut, serta memastikan peralatan yang akan diuji telah terisolasi dengan baik.

c. Tahap Pengumpulan Data

Pengumpulan data dimulai dengan melepas koneksi keluaran generator kemudian pengambilan data *insulation resistance* (IR) dan polaritas indeks (PI) pada belitan stator generator. Selanjutnya jika data tersebut memenuhi standar maka dilanjutkan dengan pengujian tan delta, data pengujian tan delta inilah yang akan dijadikan sebagai data tujuan penelitian ini. Tahanan isolasi diukur menggunakan *Megger MIT515*. Sedangkan untuk mendapatkan hasil pengujian tan delta peneliti menggunakan alat injeksi tegangan berupa *Doble M4100 insulation analyzer*.

d. Analisa Data

Setelah dilakukan pengumpulan data, hasil dari pengujian tan delta kemudian di analisa dengan melakukan perbandingan sesuai dengan standar yang telah ditentukan, serta menganalisa kelayakan kondisi belitan stator generator tersebut.

e. Kesimpulan dan saran

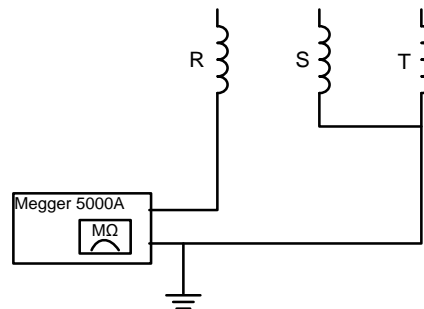
Memberikan kesimpulan dari hasil analisa data.

**4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pengukuran yang dilakukan antara lain adalah pengukuran tahanan isolasi untuk mendapatkan nilai PI dan pengukuran faktor disipasi dengan tan delta. Pengukuran tersebut dilakukan pada belitan stator generator Alstom I sektor Tello-Makassar.

**4.1. Hasil pengukuran Tahanan Isolasi dan Indeks Polarisasi**

Rasio pembacaan 10 menit dibandingkan pembacaan 1 menit adalah nilai PI. Sehingga pengukuran dilakukan sebanyak 10 kali pada setiap menitnya. Pengukuran tahanan isolasi dilakukan seperti pada Gambar 3a dan 3b, dimana pengukuran tahanan isolasi stator pada fasa ke tanah. Nilai pengukuran ditunjukkan pada Tabel 4.



Gambar 3. Pengukuran tahanan isolasi fasa ke tanah stator

Tabel 4. Nilai pengukuran tahanan isolasi dan indeks polarisasi

Waktu (Menit)	Tegangan 5000 VDC		
	R – Ground (GΩ)	S – Ground (GΩ)	T – Ground (GΩ)
1	2.39	2.72	2.11
2	3.91	3.76	3.32
3	5.22	5.09	4.44
4	6.39	6.27	5.65
5	7.44	7.33	6.78
6	8.40	8.37	7.80

Waktu (Menit)	Tegangan 5000 VDC		
	R – Ground (GΩ)	S – Ground (GΩ)	T – Ground (GΩ)
7	9.21	9.30	8.72
8	10.22	10.18	9.69
9	10.95	11.10	10.50
10	11.69	11.82	11.21
<b>PI</b>	<b>4.88</b>	<b>4.33</b>	<b>5.3</b>

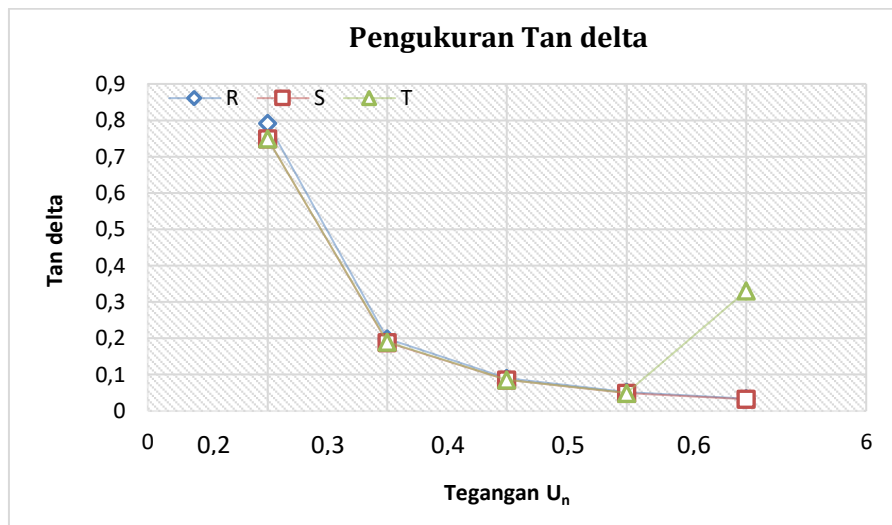
Dari hasil pengukuran terlihat pada Tabel 4 didapatkan nilai tahanan isolasi menit pertama setiap fasa >2 GΩ, Nilai ini menunjukkan tahanan isolasi pada stator generator Alstom 1 buatan tahun 1981 tersebut masuk kedalam kategori baik sesuai dengan standar IEEE std 43-2013 untuk peralatan *rotating machine*, minimum nilai tahanan isolasi IR > 1,1 MΩ. Sedangkan PI yang terbaca oleh alat ukur pada setiap fasa >2, yaitu fasa R = 4.88, S = 4.33 dan T = 5.3. Nilai tersebut diperoleh dari hasil perhitungan sesuai persamaan (5). Hal ini menunjukkan tingkat kelembapan insulasi belitan stator baik atau insulasi kondisi kering, standar PI sesuai IEC 60085-01:1984 untuk insulasi kelas B adalah ≥2. Sehingga tidak perlu dilakukan pembersihan. Dari hasil pengukuran tahanan insulasi dan *polarization index* yang terbaca tersebut, maka secara prosedur dapat dilanjutkan dengan pengukuran tan delta stator.

#### 4.2. Hasil pengukuran Tan Delta

Pengukuran selanjutnya yaitu pengukuran tan delta. Nilai tan delta stator generator dilakukan pengujian menggunakan alat ukur *Insulation Analyzer Doble M4100*. Hasil pengukuran ditampilkan pada Tabel 5. Nilai  $U_n$  adalah tegangan nominal belitan yaitu 10 kV. Untuk mempermudah analisa, hasil pengukuran, maka data disajikan dalam bentuk grafik pada tiap fasanya yang ditampilkan pada Gambar 4.

Tabel 5. Hasil pengukuran tan delta pada stator

Fasa	V pengukuran (kV)	P (kW)	Capacitance (pF)	Tan delta (%)	
<b>R</b>	0,2 $U_n$	1.269	62.658	156106.5	0,792
	0,3 $U_n$	2.549	63.445	156240.0	0,198
	0,4 $U_n$	3.819	64.693	156309.0	0,090
	0,5 $U_n$	5.098	65.982	156378.0	0,051
	0,6 $U_n$	6.382	67.894	156472.0	0,033
<b>S</b>	0,2 $U_n$	1.269	59.594	156857.5	0,750
	0,3 $U_n$	2.550	60.714	156994.5	0,189
	0,4 $U_n$	3.818	61.720	157106.0	0,085
	0,5 $U_n$	5.099	62.925	157157.5	0,049
	0,6 $U_n$	6.381	64.795	156238.0	0,032
<b>T</b>	0,2 $U_n$	1.269	59.008	155388.0	0,749
	0,3 $U_n$	2.549	60.199	155546.5	0,189
	0,4 $U_n$	3.818	61.474	155613.0	0,086
	0,5 $U_n$	5.098	63.592	155727.0	0,05
	0,6 $U_n$	6.379	66.047	155794.5	0,331



Gambar 4. Grafik pada tiap fasa pengukuran tan delta pada stator

Dari hasil pengujian tan delta, tiap fasa diterapkan tegangan  $0,2 U_n$  sampai  $0,6 U_n$ . Nilai  $U_n$  adalah tegangan nominal belitan yaitu 10 kV. Nilai awal tan delta (saat  $0,2 U_n$ ) digunakan untuk menentukan kondisi dari insulasi sistem [13]. Dimana saat pengujian nilai awal tan delta adalah  $R=0,792\%$ ,  $S=0,75\%$ ,  $T=0,749\%$ . Meskipun tidak dibawah  $0,5\%$  untuk dikatakan baik, namun masih dibawah  $1\%$  yang artinya tidak buruk menurut standar ANSI C 57.12.90. Perubahan nilai tan delta dari belitan selama operasi merupakan hasil dari proses *deterioration*. Hal ini bisa disebabkan oleh kombinasi dari faktor *electrical, mechanical, thermal* dan lingkungan yang dapat mempengaruhi sistem insulasi dari belitan stator.

Sehingga dari hasil pengukuran tan delta stator generator Alstom I dikategorikan baik dan masih pada batas standar yang diijinkan. Sehingga layak untuk diterbitkan Sertifikat Laik Operasi (SLO) untuk kemudian dilakukan relokasi sebagaimana tujuan dilakukan pengujian ini untuk dapat dioperasikan kembali di unit Punagaya-Jenepono.

## 5. KESIMPULAN

Pengujian terhadap kondisi isolasi stator generator dilakukan secara *offline* dengan menggunakan metode pengujian tahanan isolasi (IR dan PI) serta tan delta telah dilakukan. Pengujian IR dan PI dilakukan sebagai syarat pengujian tan delta, jika hasil IR dan PI masuk dalam standar yang di ijinakan maka pengujian tan delta dapat di lanjutkan begitupun sebaliknya jika nilai dari pengujian IR dan PI tidak memenuhi standar maka pengujian tan delta tidak dapat dilanjutkan sampai dilakukan *treatment* berupa pembersihan dan pemanasan pada *winding* stator. Sehingga dari penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Dari hasil pengujian tahanan isolasi menit pertama setiap fasa  $>2 G\Omega$ , Nilai ini menunjukkan tahanan isolasi pada stator generator Alstom 1 tersebut masuk kedalam kategori baik sesuai dengan standar IEEE std 43-2013 untuk peralatan *rotating machine*, minimum nilai tahanan isolasi IR  $> 1,1 M\Omega$ .
- Sedangkan PI yang terbaca oleh alat ukur pada setiap phasa  $>2$ , yaitu fasa R = 4.88, fasa S = 4.33 dan fasa T = 5.3. Nilai tersebut diperoleh dari hasil perhitungan rasio  $R(t_1)$  dan  $R(t_2)$ . Hal ini menunjukkan tingkat kelembapan insulasi belitan stator baik atau insulasi kondisi kering, standar PI sesuai IEC 60085-01:1984 untuk insulasi kelas B adalah  $\geq 2$ .
- Dari hasil pengujian tan delta, pengujian nilai awal tan delta adalah  $R=0,792\%$ ,  $S=0,75\%$ ,  $T=0,749\%$ . Meskipun tidak dibawah  $0,5\%$  untuk dikatakan baik, namun masih dibawah  $1\%$  yang artinya tidak buruk menurut standar ANSI C 57.12.90. Perubahan nilai disebabkan oleh kombinasi dari faktor *electrical, mechanical, thermal* dan lingkungan.
- Sehingga dari hasil pengukuran IR dan PI serta tan delta stator generator Alstom I dikategorikan baik dan masih pada batas standar yang diijinkan. Sehingga layak untuk diterbitkan Sertifikat Layak Operasi (SLO) untuk kemudian dilakukan relokasi sebagaimana tujuan dilakukan pengujian ini untuk dapat dioperasikan kembali di unit Punagaya-Jenepono.

## REFERENSI

- [1] R. J. Torres and B. C. Boggan, "From planned to unplanned shutdown," in *2017 IEEE IAS Electrical Safety Workshop (ESW)*, 2017, pp. 1–4. doi: 10.1109/ESW.2017.7914835.
- [2] A. Syakur, G. Susilowati, S. A.K., and A. P. Siregar, "Penguujian Tan  $\delta$  Pada Kabel Tegangan Menengah," *Transmisi*, vol. 11, no. 2. pp. 107–112, 2013.
- [3] M. A. Abid, I. Khan, Z. Ullah, K. Ullah, A. Haider, and S. M. Ali, "Dielectric and thermal performance up-gradation of transformer oil using valuable nano-particles," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 153509–153518, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2948959.
- [4] A. Purwadi, N. Heryana, D. Nurafiat, C. Sosityo, A. Setiana, and A. Mustaqim, "Testing and diagnostics of power transformer in PT. Indonesia Power Kamojang Geothermal Power Plant unit 1," in *Proceedings of the 2011 International Conference on Electrical Engineering and Informatics*, 2011, pp. 1–5. doi: 10.1109/ICEEI.2011.6021739.
- [5] F. Mustafa, S. Shaulagara, and M. Ihsan, "The through fault current effect of 150/20 kV transformer to its insulation resistance and Tan Delta test in PT. PLN (Persero) TJBB APP Durikosambi," in *2017 International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS)*, 2017, pp. 193–197. doi: 10.1109/ICHVEPS.2017.8225941.
- [6] A. Ghaderi, A. Mingotti, F. Lama, L. Peretto, and R. Tinarelli, "Effects of Temperature on MV Cable Joints Tan Delta Measurements," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 68, no. 10, pp. 3892–3898, 2019, doi: 10.1109/TIM.2019.2900131.
- [7] N. Phloyemuk, P. Nimsanong, N. Phumipunepon, S. Potivejkul, T. Wiangtong, and N. Pattanadech, "The Dissipation Factor (tan  $\delta$ ) Monitoring of A Stator Winding Insulation of A Synchronous Machine," *2018 Cond. Monit. Diagnosis, C. 2018 - Proc.*, pp. 1–4, 2018, doi: 10.1109/CMD.2018.8535666.
- [8] D. Almanda, "Analisis Penguujian Tangen Delta pada Bushing Trafo 150/20 KV 60 MVA di Gardu Induk Karet Lama," *Anal. Penguji. Tangen Delta pada Bushing Trafo 150/20 KV60 MVA*, vol. 5, no. 2, pp. 97–102, 2021.
- [9] M. F. Robbani, D. Nugroho, and G. Gunawan, "Penentuan Kelayakan Tahanan Isolasi Pada Transformator 60 MVA Di Gardu Induk 150 kV Tegal Dengan Menggunakan Indeks Polarisasi, Tangen Delta, Dan Breakdown Voltage," *Elektrika*, vol. 12, no. 2, p. 60, 2020, doi: 10.26623/elektrika.v12i2.2721.
- [10] S. Roy, "Assesment of health of transformer : a survey," no. July, 2017.
- [11] "IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery," *IEEE Std 43-2000*. pp. 1–28, 2000. doi: 10.1109/IEEESTD.2000.91301.
- [12] L. S. Mahendra *et al.*, "Pemulihan Gangguan Short Circuit Ke Tanah Pada Rotor," vol. 01, no. 01, pp. 9–18, 2022.
- [13] "IEEE Recommended Practice for Measurement of Power Factor Tip-Up of Electric Machinery Stator Coil Insulation," *IEEE Std 286-2000*. p. i-29, 2001. doi: 10.1109/IEEESTD.2001.92415.