

## Perhitungan hasil uji Tangen Delta sebagai parameter kelayakan Transformator pada Gardu Induk Rungkut 150 kV

**Wahyu Firman Maulana**

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
*e-mail:* wahyu.17050874073@mhs.unesa.ac.id

**Joko, Unit Three Kartini, Endryansyah**

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
*e-mail:* joko@unesa.ac.id, unitthree@unesa.ac.id, endryansyah@unesa.ac.id

### Abstrak

transformator listrik adalah perangkat yang mengubah energi listrik antara tingkat tegangan yang berbeda. Mereka dapat digunakan untuk mendistribusikan listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya. Kegagalan fungsi atau, lebih buruk lagi, kerusakan pada trafo itu sendiri, yang menyebabkan kegagalan sistem kelistrikan, dapat terjadi jika isolasi di sekitarnya memburuk. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif, yaitu mengandalkan pengumpulan data secara numerik melalui observasi cermat terhadap benda-benda fisik. Setelah memasukkan angka-angka tersebut ke dalam persamaan (2), kita mendapatkan rincian tiga fase pemeliharaan untuk tahun 2021 sebagai berikut: R sebesar 0,13%, S sebesar 0,11%, dan T sebesar 0,11% dan 0,12%. Selain itu, dengan menggunakan persamaan (2), kami dapat menentukan bahwa periode pemeliharaan R, S, dan T untuk tahun 2023 masing-masing adalah 0,20%, 0,22%, dan 0,15%. Trafo tersebut masih dianggap layak untuk dijalankan meskipun faktor disipasi atau nilai tangen delta telah meningkat. Alasannya karena pada titik ini pun nilai faktor disipasi atau tangen delta kurang dari 1%.

**Kata Kunci:** *Transformator, Tahanan isolasi, Tangen delta.*

### Abstract

electricity transformers are devices that convert electrical energy between different voltage levels. They may be used to distribute electricity from high voltage to low voltage or vice versa. Misfunction or, even worse, damage to the transformer itself, leading to electrical system failure, may occur if the insulation around it deteriorates. The study employed a quantitative method, which is to say, it relied on collecting data numerically via careful observation of physical items. After plugging the numbers into equation (2), we get the following breakdown of the three maintenance phases for 2021: R at 0.13%, S at 0.11%, and T at 0.11% and 0.12%. Also, using equation (2), we were able to determine that the R, S, and T maintenance periods for 2023 will be 0.20%, 0.22%, and 0.15%, respectively. The transformer is still deemed suitable to run, even if the dissipation factor or tangent delta value has risen. The reason for this is because even at this point, the dissipation factor or delta tangent value is less than 1%.

**Keywords:** *Transformator, Insulation Resistance, Tangent Delta.*

### PENDAHULUAN

Akhir-akhir ini kebutuhan energi listrik meningkat secara signifikan akibat pembangunan infrastruktur dan perkembangan teknologi, serta penggunaan sumber energi listrik yang meningkat pesat (Kerap Dkk., 2023). Memproduksi, mentransmisikan, mendistribusikan, dan mengonsumsi energi listrik merupakan tugas beberapa bagian yang membentuk suatu sistem tenaga listrik. Masyarakat membutuhkan pasokan listrik yang berkelanjutan, dapat diandalkan, dan bebas risiko, dan sistem ini dibangun untuk menyediakan hal tersebut. (Hasrul, 2023).

Gardu Induk merupakan salah satu komponen jaringan listrik yang berfungsi menyalurkan dan mendistribusikan

arus listrik (Saputra Dkk., 2022). Untuk mempertahankan kinerja puncak, gardu listrik menggunakan berbagai peralatan pengukur dan konversi tegangan saat beroperasi. (Hasrul, 2023). Pemeriksaan atau pemeliharaan pada Gardu Induk dapat dilakukan dengan cara pengujian pada komponen Gardu Induk untuk mengetahui kelayakan serta untuk mempertahankan kondisi.

Listrik dapat diubah antara tingkat tegangan yang berbeda dengan menggunakan transformator daya, yang merupakan perangkat bertegangan tinggi. (Robbani Dkk., 2020). Penggunaan trafo secara terus menerus dapat menurunkan kualitas insulasi trafo (Mulyanto Dkk, 2022). Degradasi isolasi atau penuaan isolasi merupakan penyebab utama kerusakan trafo (Ondrialdi Dkk, 2020). Selain umur, tingkat beban juga mempengaruhi kondisi

tahanan isolasi. (Oktaviani Dkk, 2021). Jika kondisi insulasi trafo memburuk dapat menyebabkan kegagalan fungsi, atau yang terburuk, trafo dapat rusak sehingga mengakibatkan kegagalan sistem kelistrikan. (Robbani Dkk, 2020). Untuk mencegah hal ini, perlu dilakukan pengujian tahanan isolasi.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan perhitungan dan perbandingan terhadap uji *Tangen Delta* sebagai faktor kunci dalam menilai kelayakan *transformator* pada Gardu Induk Rungkut 150 kV. Melalui pengujian dan perhitungan yang cermat, diharapkan pemahaman yang lebih baik tentang hubungan antara hasil pengujian *tangen delta* dan kinerja transformator dapat dicapai. Selain itu, penyelidikan ini diharapkan dapat memberikan temuan signifikan yang akan membantu pengembangan metode perbaikan dan pemeliharaan trafo, yang pada gilirannya akan berkontribusi pada kelancaran aliran listrik di Gardu Induk Rungkut 150kV. Dalam makalah ini, metode perhitungan *Tangen Delta* akan dijelaskan dan dibandingkan dalam pengukuran uji praktis. Melakukan uji tangen-delta memberikan nilai parameter kondisi transformator, yaitu faktor kerugian. Ini adalah nilai tangen delta maksimum untuk pengoperasian trafo, menurut Buku Pedoman Evaluasi Hasil Pemeliharaan Peralatan Gardu Induk maksimumnya adalah 1%.

**METODE**

Penelitian deskriptif menggunakan pendekatan kuantitatif, yang melibatkan pengamatan objek untuk mendapatkan data. Untuk tujuan penelitian, data ini disajikan dalam bentuk angka. Pendekatan kuantitatif merupakan pendekatan yang berfokus pada pengumpulan dan analisis data numerik. Dalam konteks penelitian ini, data yang dikumpulkan berupa hasil uji Tangen Delta yang diukur pada Transformator di Gardu Induk Rungkut 150 kV. Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk melakukan perhitungan dan perbandingan guna mendapatkan kesimpulan yang objektif mengenai kelayakan Transformator.

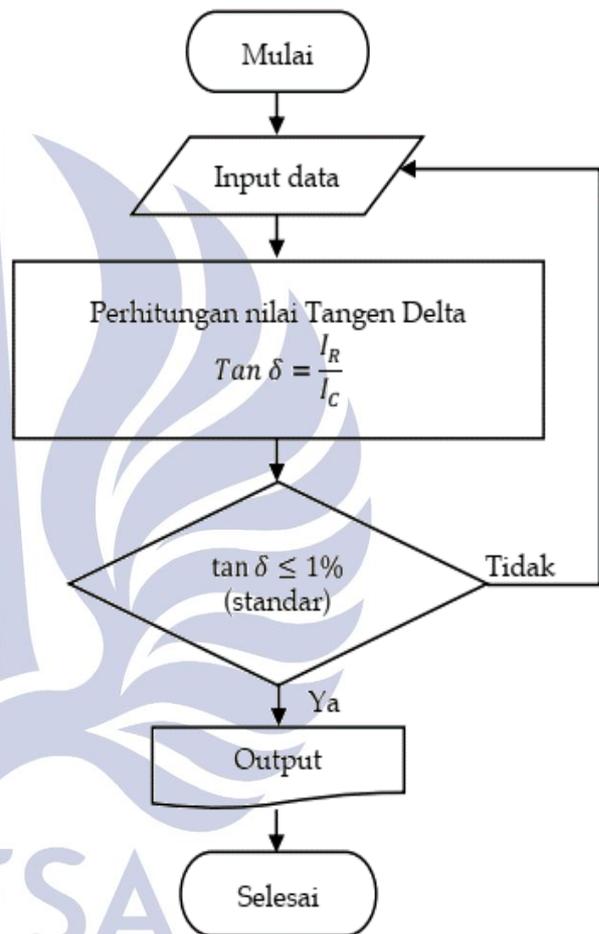
Strategi pengumpulan data digunakan untuk mendapatkan data yang diperlukan untuk penelitian. Dua strategi yang digunakan penulis untuk mendapatkan data yang diperlukan untuk penelitian ini:

a. Metode Wawancara

Salah satu cara untuk mendapatkan informasi adalah dengan melakukan wawancara, yaitu duduk bersama narasumber dan berbincang secara tatap muka. Melalui teknik ini peneliti mendapatkan informasi terkait aliran daya yang terjadi pada Gardu Induk 150kV Rungkut.

b. Metode Observasi

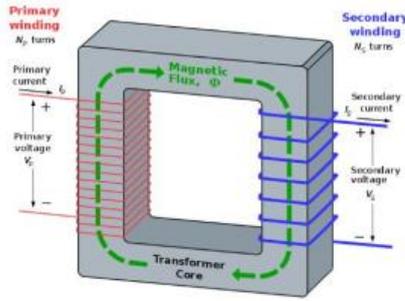
Metode observasi melibatkan pengamatan dan pencatatan langsung data yang diperlukan untuk penelitian. Dari metode ini penulis memperoleh berbagai data, antara lain. Teknik analisa data deskriptif dengan melakukan perhitungan manual menggunakan rumus-rumus atau persamaan yang sesuai dengan hasil pengujian dan dibandingkan dengan standar secara singkat dalam bentuk flowchart terdapat pada gambar 1.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

**HASIL DAN PEMBAHASAN**  
*Transformator*

Transformator adalah salah satu perangkat kunci dalam transmisi dan distribusi tenaga listrik dalam jaringan tenaga listrik (Thiviyathan Dkk., 2022). Untuk mentransfer listrik dari pembangkit listrik ke jaringan listrik, trafo listrik memegang peranan penting (Almanda, 2021). Transformator biasanya memiliki dua belitan—belitan utama dan belitan sekunder—dan inti besi (Syaefullah, 2019). Ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2 Kumbaran primer dan kumbaran sekunder

Perangkat pengaman gardu induk seperti trafo arus memungkinkan pemasangan meteran dan perangkat lain ke dalam jaringan listrik dengan mengubah arus tinggi yang mengalir melaluinya menjadi arus rendah. Dalam menggunakan trafo arus ini sebaiknya memperhatikan kondisinya dan menjaganya dalam kondisi yang baik agar dapat melakukan konversi arus dengan hati-hati dan akurat. Transformator arus diklasifikasikan menjadi dua kategori menurut lokasi pemasangannya:

a. *Transformator* arus pemasangan luar

*Transformator* arus pemasangan luar adalah perangkat yang dirancang untuk dipasang di luar ruangan, sering kali pada tiang atau struktur penyangga lainnya dalam sistem tenaga listrik. CT ini digunakan untuk mengukur arus dalam jaringan distribusi dan transmisi tegangan tinggi. Rangkaian listrik internal transformator arus pemasangan eksternal sering kali diisolasi dengan minyak, sedangkan isolator bagian luar biasanya terbuat dari bahan keramik. Konstruksi fisiknya kuat dan terisolasi dengan baik.

b. *Transformator* arus pemasangan dalam

*Transformator* arus pemasangan dalam adalah komponen yang dipasang di dalam peralatan listrik, seperti di dalam trafo daya atau peralatan sakelar tegangan tinggi. Pemasangan ini biasanya dilakukan untuk tujuan pengukuran, proteksi, dan pemantauan arus dalam sistem tenaga listrik. Dengan menggunakan isolator yang terbuat dari resin, *transformator* arus pemasangan dalam biasanya lebih kecil dari transformator arus pemasangan luar.

**Pengujian Tangen Delta**

Tangen delta adalah teknik kelistrikan untuk menilai keadaan bahan isolasi, menurut penelitian sebelumnya (Febrijanto & Hidayat, 2022). Isolator yang sangat baik, mirip dengan isolator antara elektroda kapasitor, sepenuhnya kapasitif. Jika arus ( $I$ ) yang melewati kapasitor bersifat kapasitif ( $I_C$ ) dan tegangan fasa berubah 90 derajat, maka kapasitor tersebut dianggap ideal. Nilai resistansi ( $R$ ) insulasi turun dan arus resistif ( $I_R$ ) yang mengalir melewatinya meningkat bila insulasi tercemar, seperti yang mungkin terjadi, misalnya, bila transformator terkena kelembapan yang terlalu tinggi. Tegangan dan arus mungkin tidak lagi sefasa pada 90 derajat jika hal ini

terjadi. Tingkat kontaminasi insulasi ditunjukkan dengan nilai offset 90 derajat. Saat mengoperasikan peralatan listrik tegangan tinggi, kesalahan sering terjadi karena isolasi yang tidak memadai. Memprediksi status isolasi transformator dapat dilakukan dengan menggunakan pendekatan tangen delta.

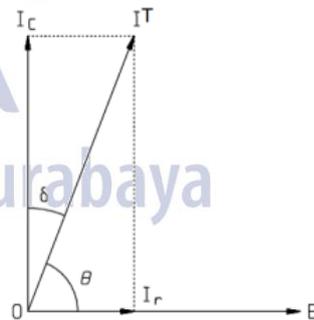
Faktor daya suatu rangkaian (PF) adalah rasio daya aktif terhadap volt-ampere (W/VA). Cara lain untuk menghitung faktor daya adalah dengan menggunakan kosinus sudut yang dibentuk oleh tegangan ( $V$ ) dan arus ( $I_T$ ) dalam suatu rangkaian. Kami menyebut sudut ini sebagai theta ( $\theta$ ). Menurut Ondrialdi dkk (2020), rangkaian Arus kapasitif ( $I_C$ ) terisolasi seringkali memiliki nilai sudut sekitar 90°. Ditunjukkan pada persamaan 1.

$$PF = \cos \theta = \frac{I_R}{I_T} \tag{1}$$

Dengan membagi daya aktif suatu rangkaian (W) dengan tegangan reaktif ampere (W/VAr), kita mendapatkan faktor disipasi (DF), yang sering disebut dengan rugi-rugi daya. Faktor kerugian dapat dinyatakan sebagai tangen beta, dilambangkan dengan  $\tan \theta$ . Jika dikurangkan theta ( $\theta$ ) dari sudut siku-siku, hasilnya adalah delta ( $\delta$ ). (Ondrialdi Dkk, 2020).  $\tan \delta$  adalah perbandingan antara arus resistif ( $I_R$ ) terhadap arus kapasitif ( $I_C$ ) ditunjukkan pada persamaan 2.

$$DF = \tan \delta = \frac{I_R}{I_C} \tag{2}$$

Rasio tegangan terhadap arus dalam isolator adalah 90 derajat dalam keadaan sempurna tanpa rugi-rugi. Salah satu cara untuk melihatnya adalah pengasingan sempurna dengan faktor daya nol ( $\cos(90^\circ)$ ). Abidin (2019) melaporkan hal tersebut. Dalam sistem isolasi sempurna, arus yang mengalir seluruhnya bersifat kapasitif, seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Diagram Power faktor dan Disipasi faktor

Nilai sudut  $\tan \delta$  berubah seiring dengan perubahan nilai arus resistif ( $I_R$ ) terhadap arus kapasitif ( $I_C$ ). Pada Persamaan 2 dapat dijelaskan dengan menghitung hubungan arus resistif dan kapasitif. selanjutnya diperoleh nilai  $\tan \delta$ . jika bahan isolasi dalam kondisi sempurna,  $\tan \delta$  akan menjadi nol. Sudut besar yang disebabkan oleh  $\tan \delta$  menunjukkan bahwa arus resistif melalui isolator meningkat, yang menunjukkan bahwa ada kontaminasi.

Nilai faktor disipasi bahan isolasi pada transformator arus dapat ditentukan dengan melakukan uji tan ini. Kualitas isolasi transformator arus menurun seiring dengan meningkatnya nilai tan  $\delta$ . Oleh karena itu, persamaan 3 berikut dapat digunakan untuk memastikan arus resistif ( $I_R$ ) di setiap bagian:

$$I_R = \frac{V}{R} \quad (3)$$

Dimana Tegangan (V) dibagi dengan Resistansi (R). Untuk mendapatkan arus kapasitif ( $I_C$ ) maka, menggunakan persamaan 4:

$$I_C = \omega \cdot C \cdot V \quad (4)$$

Dimana  $\omega$  adalah frekuensi sudut dalam radian per detik dikali dengan Kapasitansi (C) dan Tegangan (V). Arus total  $I_T$  yang diberikan sumber tegangan, ditunjukkan persamaan 5:

$$I_T = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} \quad (5)$$

Resistansi resistor yang terkait menyebabkan hilangnya daya akibat arus resistif ( $I_R$ ). Kerugian dielektrik ( $P_d$ ) adalah salah satu nama untuk ini. Untuk menghitung rugi-rugi dielektrik, tegangan harus dikalikan dengan arus resistif  $I_C$ . Ditunjukkan pada persamaan 6:

$$P_d = V \cdot I \cdot R$$

Atau,

$$P_d = V \cdot I_T \cdot \cos \varphi$$

Atau,

$$P_d = V \cdot I_T \cdot \sin \delta \quad (6)$$

Persamaan berikut menggambarkan arus sumber ketika persamaan sebelumnya dipertimbangkan:

$$I_T = \frac{I_C}{\cos \delta} \quad (6)$$

Substitusi persamaan 4 ke persamaan 7, diperoleh persamaan 8:

$$I_T = \frac{\omega \cdot C \cdot V}{\cos \delta} \quad (7)$$

Persamaan 6 diganti dengan persamaan 8 dan hasilnya diperoleh persamaan 9:

$$P_d = \frac{\omega \cdot C \cdot V}{\cos \delta} \cdot V \cdot \sin \delta \quad (8)$$

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

Menemukan nilai arus kapasitif ( $I_C$ ) ditunjukkan pada persamaan 10:

$$I_C = I_T \cdot \cos \delta \quad (9)$$

Nilai  $\delta$  dapat dicari dengan menggunakan persamaan 11:

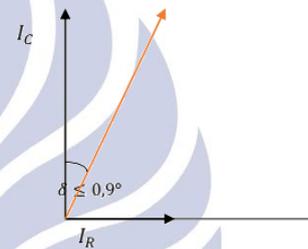
$$\delta = \sin^{-1}\left(\frac{P_d}{V \cdot I_T}\right) \quad (10)$$

Semakin besar nilai tan  $\delta$  maka daya yang dihamburkan juga semakin besar, hal ini menunjukkan adanya penurunan kualitas insulasi. (Febrijanto & Hidayat, 2022). Hasil pengujian tangen  $\delta$  dapat digunakan untuk memprediksi keadaan isolasi transformator. Untuk memahami hasil pengujian, digunakan aturan standar SKDIR No: 0520 K/DIR/2014 tentang trafo tenaga, yang menetapkan bahwa nilai tangen delta tidak boleh melebihi 1%.

Untuk mencari batas sudut menggunakan persamaan 12:

$$\text{batas maksimal sudut } \delta = 1\% \cdot 90^\circ = 0,9^\circ \quad (11)$$

Dari persamaan 12 dapat diketahui batas maksimal nilai sudut  $\delta$  adalah  $0,9^\circ$ . Dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4 Diagram fasor sudut maksimal

Pada suatu alat pasti ada spesifikasi yang membantu dalam memberikan informasi dari alat tersebut. Data Spesifikasi ini didapatkan dari dokumentasi pada saat observasi ke lapangan yaitu di gardu induk Rungkut 150 kV. Berdasarkan hasil pengambilan data yang dilakukan di gardu induk Rungkut 150 kV didapatkan data peralatan yang ditunjukkan pada tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1. Spesifikasi Peralatan

Name	Spesification
Merk	ABB
Type	IMBE 170 A4
Current Rating	30/5 Amp
Secondary Currentq	5 Amp
Year of construction	1995
Rated Voltage	150 kV
B I L	750 kV
	R 8147083
Series Number	S 8147095
	T 8147091
Temperature class	30°C
Kelembapan	40 %

**Data hasil pengujian tahanan isolasi dan Tangen Delta**

Nilai tan dan kapasitansi total transformator diukur dengan alat uji Megger Delta 4000. Data yang digunakan pada penelitian ini menggunakan 2 periode pemeliharaan dua tahunan tahanan isolasi dan Tangen Delta yang berfungsi untuk membandingkan keadaan sebelumnya pada tahanan isolasi ini. Standar yang digunakan pada pengujian ini menggunakan SK DIR 0520 < 1%. Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian untuk pengujian tahanan isolasi dan tan delta.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Tahanan Isolasi dan Tangen delta

Tahun uji	Pengujian	Hasil pengujian		
		Fasa R	Fasa S	Fasa T
2021	Disipasi factor (%)	0,13	0,12	0,13
	Arus (mA)	4	4	4,44
	Disipasi daya (watt)	0,09	0,08	0,09
	Kapasitansi	1175,8	1063,7	1178,6
	Tegangan uji (kV)	10	10	10
2023	Disipasi factor (%)	0,20	0,23	0,15
	Arus (mA)	3,85	3,46	3,79
	Disipasi daya (watt)	0,1324	0,1322	0,0991
	Kapasitansi	1228,0	1103,9	1209,1
	Tegangan uji (kV)	10	10	10

**Perhitungan Tangen delta**

Perhitungan tangen delta ini menggunakan berbagai variabel yang diperoleh dari alat uji tangen delta untuk membandingkan kesesuaiannya dengan perhitungan mandiri. Nilai tangen delta dan sudut delta pada suatu isolasi dihitung dengan menggunakan hasil alat uji Megger Delta 4000 sebagai pembanding.

**Perhitungan hasil pengujian tangen delta pada fasa R tahun 2021**

Dengan menggunakan persamaan 10, nilai sudut berikut dapat dicari untuk menghitung tangen delta transformator pada fasa R. Setelah didapatkan nilai sudut  $\delta$  selanjutnya mencari nilai sudut  $\alpha$ . Mencari Arus kapasitif ( $I_C$ ) kemudian dapat ditentukan dengan mengacu pada persamaan 9. Setelah diketahui nilai arus kapasitif ( $I_C$ ), maka selanjutnya mencari nilai arus resistif ( $I_R$ ) dengan persamaan 5. Setelah diketahui nilai arus kapasitif ( $I_C$ ) dan arus resistif ( $I_R$ ), maka nilai Tangen Delta ( $Tan \delta$ ) dapat

dihitung dengan persamaan 2. Setelah perhitungan dilakukan untuk menentukan nilai  $Tan \delta$  pada fasa R, hasil tangen delta adalah 0,13%.

**Perhitungan hasil pengujian tangen delta pada fasa S tahun 2021**

Dengan menggunakan persamaan 10, nilai sudut berikut dapat dicari untuk menghitung tangen delta transformator pada fasa R. Setelah didapatkan nilai sudut  $\delta$  selanjutnya mencari nilai sudut  $\alpha$ . Mencari Arus kapasitif ( $I_C$ ) kemudian dapat ditentukan dengan mengacu pada persamaan 9. Setelah diketahui nilai arus kapasitif ( $I_C$ ), maka selanjutnya mencari nilai arus resistif ( $I_R$ ) dengan persamaan 5. Setelah diketahui nilai arus kapasitif ( $I_C$ ) dan arus resistif ( $I_R$ ), maka nilai Tangen Delta ( $Tan \delta$ ) dapat dihitung dengan persamaan 2. Setelah perhitungan dilakukan untuk menentukan nilai  $Tan \delta$  pada fasa S, hasil tangen delta adalah 0,11%.

**Perhitungan hasil pengujian tangen delta pada fasa T tahun 2021**

Dengan menggunakan persamaan 10, nilai sudut berikut dapat dicari untuk menghitung tangen delta transformator pada fasa R. Setelah didapatkan nilai sudut  $\delta$  selanjutnya mencari nilai sudut  $\alpha$ . Mencari Arus kapasitif ( $I_C$ ) kemudian dapat ditentukan dengan mengacu pada persamaan 9. Setelah diketahui nilai arus kapasitif ( $I_C$ ), maka selanjutnya mencari nilai arus resistif ( $I_R$ ) dengan persamaan 5. Setelah diketahui nilai arus kapasitif ( $I_C$ ) dan arus resistif ( $I_R$ ), maka nilai Tangen Delta ( $Tan \delta$ ) dapat dihitung dengan persamaan 2. Setelah perhitungan dilakukan untuk menentukan nilai  $Tan \delta$  pada fasa T, hasil tangen delta adalah 0,12%.

**Perhitungan hasil pengujian tangen delta pada fasa R tahun 2023**

Dengan menggunakan persamaan 10, nilai sudut berikut dapat dicari untuk menghitung tangen delta transformator pada fasa R. Setelah didapatkan nilai sudut  $\delta$  selanjutnya mencari nilai sudut  $\alpha$ . Mencari Arus kapasitif ( $I_C$ ) kemudian dapat ditentukan dengan mengacu pada persamaan 9. Setelah diketahui nilai arus kapasitif ( $I_C$ ), maka selanjutnya mencari nilai arus resistif ( $I_R$ ) dengan persamaan 5. Setelah diketahui nilai arus kapasitif ( $I_C$ ) dan arus resistif ( $I_R$ ), maka nilai Tangen Delta ( $Tan \delta$ ) dapat dihitung dengan persamaan 2. Setelah perhitungan dilakukan untuk menentukan nilai  $Tan \delta$  pada fasa R, hasil tangen delta adalah 0,20%.

**Perhitungan hasil pengujian tangen delta pada fasa S tahun 2023**

Dengan menggunakan persamaan 10, nilai sudut berikut dapat dicari untuk menghitung tangen delta transformator

pada fasa R. Setelah didapatkan nilai sudut  $\delta$  selanjutnya mencari nilai sudut  $\alpha$ . Mencari Arus kapasitif ( $I_C$ ) kemudian dapat ditentukan dengan mengacu pada persamaan 9. Setelah diketahui nilai arus kapasitif ( $I_C$ ), maka selanjutnya mencari nilai arus resistif ( $I_R$ ) dengan persamaan 5. Setelah diketahui nilai arus kapasitif ( $I_C$ ) dan arus resistif ( $I_R$ ), maka nilai Tangen Delta ( $\tan \delta$ ) dapat dihitung dengan persamaan 2. Setelah perhitungan dilakukan untuk menentukan nilai  $\tan \delta$  pada fasa S, hasil tangen delta adalah 0,22%.

**Perhitungan hasil pengujian *tangen delta* pada fasa T tahun 2023**

Dengan menggunakan persamaan 10, nilai sudut berikut dapat dicari untuk menghitung tangen delta transformator pada fasa R. Setelah didapatkan nilai sudut  $\delta$  selanjutnya mencari nilai sudut  $\alpha$ . Mencari Arus kapasitif ( $I_C$ ) kemudian dapat ditentukan dengan mengacu pada persamaan 9. Setelah diketahui nilai arus kapasitif ( $I_C$ ), maka selanjutnya mencari nilai arus resistif ( $I_R$ ) dengan persamaan 5. Setelah diketahui nilai arus kapasitif ( $I_C$ ) dan arus resistif ( $I_R$ ), maka nilai Tangen Delta ( $\tan \delta$ ) dapat dihitung dengan persamaan 2. Setelah perhitungan dilakukan untuk menentukan nilai  $\tan \delta$  pada fasa T, hasil tangen delta adalah 0,15%.

**Perhitungan Error dengan menggunakan MSE**

Setelah melakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan didapatkan hasil dari perhitungan *tangen delta*. Dari hasil perhitungan dan pengukuran tersebut akan digunakan untuk mencari error dari kedua hasil yang sudah diketahui dengan menggunakan MSE. Hasil pengukuran di tahun 2021 menunjukkan tangen delta 0,13% pada fasa R, 0,12% pada fasa S, dan 0,13% pada fasa T. Untuk hasil perhitungan tangen delta 0,13% pada fasa R, 0,11% pada fasa S, dan 0,12% pada fasa T. Dari kedua hasil tersebut digunakan untuk menghitung nilai error dengan persamaan. Pada hasil pengukuran di tahun 2023 diketahui hasil pengukuran *tangen delta* pada fasa R sebesar 0,20%, fasa S sebesar 0,23%, dan fasa T sebesar 0,15%. Untuk hasil perhitungan *tangen delta* pada fasa R sebesar 0,20%, fasa S sebesar 0,22%, dan fasa T sebesar 0,15%. Dari kedua hasil tersebut digunakan untuk menghitung nilai error dengan persamaan sebagai berikut: Mencari selisih antara hasil dari perhitungan dan pengukuran *tangen delta*: Kemudian dari hasil tersebut dikuadratkan. Setelah diketahui hasilnya, maka selanjutnya menghitung MSE. Hasil uji perhitungan tangen delta didapatkan dari hasil pengukuran dan perhitungan dengan persamaan kemudian akan dibandingkan dengan standar SK DIR 0520, Hasil uji perhitungan tangen delta dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan hasil uji *tangen delta* tahun 2021

Standar	Fasa	Hasil pengukuran	Hasil perhitungan	Error (MSE)	keterangan
SK DIR 0520 <1%	R	0,13%	0,13%		Baik
	S	0,12%	0,11%	0,00006%	Baik
	T	0,13%	0,12%		Baik

Pada tabel 3 yang memperlihatkan hasil dari pengujian  $\tan \delta$  dengan melakukan pengukuran pada transformator dan perhitungan secara manual memiliki nilai yang tidak jauh berbeda. Dari kedua hasil tersebut dapat dilakukan perbandingan dengan standar dari SK DIR 0520 tahun 2014 yaitu nilai dari  $\tan \delta$  pada transformator yang beroperasi maksimal 1%. Jadi, dari hasil pengukuran dan perhitungan  $\tan \delta$  yang dilakukan saat pemeliharaan tahun 2021 bahwa tahanan isolasi masih dalam keadaan baik dan transformator masih dianggap layak untuk beroperasi. Untuk tahun 2023 bisa dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan hasil uji *tangen delta* tahun 2023

Standar	Fasa	Hasil pengukuran	Hasil perhitungan	Error (MSE)	keterangan
SK DIR 0520 <1%	R	0,20%	0,20%		Baik
	S	0,23%	0,22%	0,00003%	Baik
	T	0,15%	0,15%		Baik

Dapat dilihat pada tabel 4 yang memperlihatkan hasil dari pengujian  $\tan \delta$  dengan melakukan pengukuran pada transformator dan perhitungan secara manual memiliki nilai yang tidak jauh berbeda. Dari kedua hasil tersebut dapat dilakukan perbandingan dengan standar dari SK DIR 0520 tahun 2014 yaitu nilai dari  $\tan \delta$  pada transformator yang beroperasi maksimal 1%. Jadi, dari hasil pengukuran dan perhitungan  $\tan \delta$  yang dilakukan saat pemeliharaan tahun 2023 bahwa tahanan isolasi masih dalam keadaan baik dan transformator masih dianggap layak untuk beroperasi.

Hasil pemeliharaan fasa R sebesar 0,13%, fasa S sebesar 0,11%, dan fasa T sebesar 0,12% dihasilkan dari perhitungan dengan persamaan (2) pada fasa pemeliharaan 2021. Dengan menggunakan persamaan (2), hasil perhitungan untuk fasa R, S, dan T pemeliharaan tahun 2023 adalah 0,20%, 0,22%, dan 0,15%. Dari kedua hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa faktor disipasi atau nilai tangen delta dari pemeliharaan transformator 2 periode

mengalami peningkatan. Hal ini dikarenakan transformator bekerja secara terus menerus dan juga faktor usia dari transformator tersebut. Meskipun nilai dari faktor disipasi atau tangen delta mengalami peningkatan, transformator masih dinyatakan layak untuk beroperasi. Hal ini dikarenakan nilai dari faktor disipasi atau tangen delta masih memenuhi standar  $< 1\%$ .

## PENUTUP

### Simpulan

Dalam penelitian ini, hasil perhitungan dibandingkan dengan nilai standar untuk mengukur kondisi isolasi transformator. Dari hasil perhitungan dengan persamaan (2) pada fasa R, S, T pemeliharaan 2021 dan tahun 2023 dapat disimpulkan bahwa hasil perhitungan faktor disipasi atau nilai tangen delta tidak melebihi batas dari standar yaitu  $< 1\%$ . Oleh sebab itu, tahanan isolasi transformator masih dianggap layak dan tidak perlu melakukan perbaikan.

Dari hasil uji perhitungan Tangen Delta dari pemeliharaan transformator 2 periode mengalami peningkatan. Hal ini dikarenakan transformator bekerja secara terus menerus dan juga faktor usia dari transformator tersebut. Meskipun nilai dari faktor disipasi atau tangen delta mengalami peningkatan, transformator masih dinyatakan layak untuk beroperasi. Hal ini dikarenakan nilai dari faktor disipasi atau tangen delta masih memenuhi standar  $< 1\%$ . Sesuai dengan standar SK DIR 0520 nilai tangen delta maksimal  $1\%$ . Dari hasil uji perhitungan tersebut dapat digunakan sebagai parameter untuk menentukan kelayakan transformator pada gardu induk Rungkut 150 kV. Nilai error pada tahun 2021 adalah  $0,00006\%$  dan pada tahun 2023 adalah  $0,00003\%$  setelah perhitungan nilai error dengan MSE dilakukan. Dari kedua hasil tersebut disimpulkan bahwa nilai MSE yang rendah menunjukkan perbedaan antara hasil pengukuran dan hasil perhitungan tangen delta cukup kecil. Dengan kata lain, prediksi yang dilakukan mendekati nilai aktual pengukuran.

### Saran

Pada penelitian selanjutnya diharapkan untuk melakukan perbaikan hasil uji tangen delta apabila nilai melebihi dengan standar.

## DAFTAR PUSTAKA

Abidin, Luqi. (2019). *Pengujian Dissipation Factor pada Transformator dengan Jumper dan tanpa Jumper Bushing*. Energi & Kelistrikan, 11(2), 189–196.

Almanda, Deni & Ardiansyah. (2021). *Analisis Pengujian Tangen Delta pada Bushing Trafo 150/20 KV 60 MVA di Gardu Induk Karet Lama*. RESISTOR (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga

Listrik Komputer) Vol. 5 No. 2, 2654–2684.

Saputra, Dewangga Arsyi, Achmad Imam Agung, & Subuh Isnur Haryudo. (2022). *Analisis Kelayakan Pemutus Tenaga Bay Trafo 2 Berdasarkan Hasil Uji Shutdown Measurement Di Gardu Induk 150 KV Kenjeran Surabaya*. Jurnal Teknik Elektro, 11, 440–446.

Febrijanto, Harris Rifqi., & Rahmat Hidayat. (2022). *Analisis Pengujian Tan Delta pada Transformator Arus di GITET Tasikmalaya BAY Penghantar Bandung Selatan -1*. TEKNOKOM, 6(2), 86–95.

Hs, Syafruddin, Emerson Pascawira Sinulingga, Haryoto Prasetyo Nugroho, & Azwar Nasution. (2021). *Diagnosis of Transformer Isolation Using Dielectric Dissipation Factor (Tan Delta) and Insulation Resistance: A Review Study 2021 5th International Conference on Electrical, Telecommunication and Computer Engineering, ELTICOM 2021 - Proceedings*, 1–4.

Abdinasir, Kurbanov Abror. (2020). *Development of Magnetic Characteristics of Power Transformers*. International Journal of Academic Engineering Research (IJAER) 4(11), 64–66.

Kerap, Juno Gilead, Lily S. Patras, & Glanny. M. C. Mangindaan. (2023). *Analysis of Estimated Life Time of Power emTransformers Based on Top Oil Tperature and Winding Insulation Temperature at the Teling Switchyard*. Jurnal Teknik Elektro dan Komputer, 1–10.

Situmeang, Usaha, Bagus Mulyanto, & Masnur Putra Halilintar. (2022). *Analisis Kondisi Tahanan Isolasi Transformator Daya 125 Mva Menggunakan Indeks Polarisasi Tangen Delta Dan Breakdown Voltage Di Pltu Tenayan Raya 2 X 110 Mw*. Jurnal Teknik Elektro Uniba (JTE UNIBA), 6(2), 206–211.

Ondrialdi, Rifky, Usaha Situmeang, & Zulfahri. (2020). *Analisis Pengujian Kualitas Isolasi Transformator Daya di PT. Indah Kiat Pulp and Paper Perawang*. SainETIn, 4(2), 72–81.

Hasrul, Rahmat, Restu Mukti Utomo, Muslimin, Arif Harjanto, & Nur Rani Alham (2023). *Studi Kelayakan Peralatan Voltage Transformator 150 Kv Gardu Induk Tengkawang*. PROSIDING SNITT POLTEKBA, 0520, 71–78.

Robbani, Muhamad Firdaus, Dedi Nugroho, & Gunawan, G. (2020). *Penentuan Kelayakan Tahanan Isolasi Pada Transformator 60 MVA Di Gardu Induk 150 kV Tegal Dengan Menggunakan Indeks Polarisasi, Tangen Delta, Dan Breakdown Voltage*. ElektriKa, 12(2), 60.

Syaefullah, Dzikri. (2019). *Analisis Hasil Pengujian Tahanan Isolasi Transformator Daya Berdasarkan Uji Indeks Polarisasi Dan Tangen Delta Di Pt. Pln (Persero) TjbtAppCirebon.1*

Thiviyathan, Vimal Angela, Pin Jern Ker, Yang Sing Leong, Fairuz Abdullah, Aiman Ismail, & Md. Zaini Jamaludin. (2022). *Power transformer insulation system: A review on the reactions, fault detection, challenges and future prospects*. Alexandria Engineering Journal, 61(10), 7697–7713.

Wasripin & Triyanto, Aripin. (2023). *Analisis Performa*

*Transformator 2500 kVA Setelah Perbaikan Dan Purifikasi.* 2(12), 3283–3288.

Oktaviani, Wiwin A., Taufik Barlian & Marami Ahmad Gazani. (2021). *Pengujian Isolasi Trafo Daya 30 MVA pada GI Sungai Juaro Palembang dengan Indeks Polaritas dan Tangen Delta.* Jurnal Rekayasa ElektroSriwijaya,3(1),199–204.

PT. PLN (Persero). (2014). *Edaran Direksi Pt. Pln (Persero).*



**UNESA**  
Universitas Negeri Surabaya