

## ANALISIS PENGUJIAN TAN DELTA PADA TRANSFORMATOR ARUS DI GITET TASIKMALAYA BAY PENGHANTAR BANDUNG SELATAN-1

Harris Rifqi Febrijanto<sup>1\*</sup>, Rahmat Hidayat<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Electrical Engineering, Universitas Singaperbangsa Karawang, Indonesia

### ARTICLE INFO

**History of the article:**

Received May 17, 2023

Revised May 25, 2023

Accepted June 26, 2023

Published July 9, 2023

**Keywords:**

Current Transformers

Substation

Tan delta

### ABSTRACT

Current transformers are essential for substation protection. It converts large currents into smaller currents that are used for measurement and triggering protection systems. Errors in the conversion of electric current can lead to measurement inaccuracies and protection system failures. Improper maintenance and use can shorten the life of the transformer and also lead to earlier system failure. One of the tests applied is the tan delta test to determine the loss coefficient of the insulating material. A decrease in insulation quality increases the tan delta value. The capacitance value is also measured in the tan delta test. An increased capacitance value indicates the paper insulation has been damaged. Generally, damaged insulation causes a short circuit between capacitor layers which is characterized by an increase in capacitance value. By using the GST-Ground method with the Megger Delta 4110 measuring instrument, the tan delta results of the R, S, and T phases in the southern send bay of Bandung-1 GITET Tasikmalaya are 0.42%, 0.47%, and 0.45%. The results of independent calculations are phase R, S, T are 0.29%, 0.28% and 0.31%. From both results, the current transformer can be said to be feasible to operate because the tan delta value is below 1% which is the operational standard of the current transformer.

*This is an open access article under the CC BY-ND license.*



### Kata Kunci :

Transformator Arus

Gardu Induk

Tan delta

### ABSTRAK

Transformator arus merupakan elemen proteksi yang sangat penting pada sebuah gardu induk dimana alat ini digunakan untuk mengubah arus besar menjadi arus kecil yang digunakan untuk pengukuran dan pemacu aktifnya sebuah sistem pengaman yang terdapat pada gardu induk. Kesalahan konversi nilai arus pada transformator arus dapat menyebabkan kesalahan pengukuran dan kegagalan sistem proteksi. Perawatan dan penggunaan transformator arus yang tidak tepat juga akan mempersingkat masa pakainya dan menyebabkan kegagalan sistem lebih dini. Salah satu tes yang diterapkan pada transformator arus ini adalah tes tan delta yang dilakukan untuk mengetahui nilai koefisien rugi-rugi dari bahan isolasi. Penurunan kualitas insulasi menyebabkan nilai tan  $\delta$  lebih tinggi. Selain nilai tan delta, nilai kapasitansi juga diukur. Peningkatan nilai kapasitansi menunjukkan kerusakan pada isolasi kertas. Kasus umum yang ditemui akibat kerusakan isolasi kertas ini adalah korsleting antara lapisan kapasitor yang ditandai dengan peningkatan nilai kapasitansi. Setelah dilakukan pengujian tan delta dengan metode GST-Ground pada transformator arus bay penghantar bandung selatan-1 GITET Tasikmalaya dengan alat Magger Delta 4110, hasil uji tan delta untuk fasa R, S, dan T adalah 0,42 %, 0,47%, dan 0,45%. Hasil perhitungan mandiri yaitu pada fasa R, S, T adalah 0,29%, 0,28%, dan 0,31%. Kedua hasil ini mengkonfirmasi trafo arus yang digunakan layak beroperasi karena nilai tan delta dibawah 1% yang merupakan standar operasional transformator arus.

**Correspondece:**

Harris Rifqi Febrijanto,  
Department of Electrical Engineering,  
Universitas Singaperbangsa  
Karawang,  
Email :  
harris.rifqi19064@student.unsika.ac.id

**PENDAHULUAN**

Tranformator arus adalah sebuah peralatan pengaman di gardu induk yang cara kerjanya yaitu mengubah arus yang mengalir melaluinya dari tingkatan tinggi ke tingkatan rendah yang dapat digunakan untuk masukan perangkat metering dan perangkat pengaman dalam sistem tenaga listrik. Transformator arus ini juga dapat berperan sebagai perangkat deteksi dini untuk mengetahui keadaan yang diproteksi dalam kondisi normal atau sedang terganggu, kemudian informasi ini dikirim ke relay proteksi sebagai instrumen pembanding, serta alat ukur yang bekerja setelah menerima nilai dari alat deteksi dan membandingkannya dengan besarnya arus setting kerja relay [1]. Cara kerja transformator arus ini sama seperti transformator pada umumnya yaitu jika terdapat arus listrik bolak-balik mengalir mengelilingi inti besi maka inti besi tersebut berubah menjadi magnet dan jika magnet itu dikelilingi suatu belitan maka di kedua ujung belitan akan terbentuk beda tegangan yang mengelilingi magnet sehingga timbul gaya gerak listrik (GGL) [2].

Dalam penggunaannya, transformator arus ini harus diperhatikan kondisinya agar tetap dalam keadaan baik sehingga dapat melakukan transformasi arus dengan teliti dan akurat. Transduser arus ini merupakan bagian penting karena menjadi bagian pertama dari pengukuran suatu komponen listrik [3]. Kesalahan nilai dari pengukuran dan kegagalan sistem proteksi dapat terjadi apabila sebuah transformator arus ini melakukan kesalahan transformasi arus. Selain itu, pemakaian dan pemeliharaan yang tidak benar pada transformator arus ini akan mengakibatkan transformator arus menjadi lebih cepat rusak dan akan menimbulkan masalah-masalah lebih dini. Untuk memastikan keandalan transformator arus selama operasional, diperlukan strategi pemeliharaan yang tepat dengan cara pengujian setiap komponen listrik secara berkala [4]. Dengan dilakukan pengujian secara berkala ini, transformator arus dapat diketahui kinerja, fungsi, dan kemampuannya dalam beroperasi pada sebuah gardu induk. Dalam melakukan pengujian pada sebuah komponen seperti transformator arus ini ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi keakuratan hasil pengukuran diantaranya kondisi

alat ukur, kondisi lingkungan, dan kapasitas alat ukur untuk mengukurnya secara tepat [5]. Pengujian secara berkala dapat membantu untuk memastikan kualitas dan efisiensi isolasi listrik dan peralatan berenergi dalam beroperasi dan mengurangi risiko kegagalan selama operasi normal dan kesalahan [6].

Untuk menjaga keandalan transformator arus ini harus memenuhi beberapa persyaratan contohnya adalah mempertahankan suhu operasi yang cukup rendah. Suhu operasi yang berubah menjadi tinggi merupakan akibat dari rugi-rugi dielektrik ( $\tan \delta$ ) [7]. Nilai  $\tan \delta$  yang meningkat menjadi lebih tinggi dapat disebabkan oleh kontaminasi zat pada bagian material isolasi transformator arus [8].  $\tan \delta$  atau dissipation factor adalah salah satu jenis metode pengujian pada transformator arus untuk mengetahui nilai faktor dissipasi material isolasi atau keadaan material isolasi transformator arus tersebut. Kualitas isolasi yang memburuk dapat mengakibatkan nilai  $\tan \delta$  atau nilai faktor dissipasi material isolasi semakin besar. Pengujian  $\tan \delta$  ini dilakukan untuk mengetahui layak atau tidaknya sebuah transformator arus beroperasi pada sebuah gardu induk. Untuk mengukur nilai  $\tan \delta$  ini, digunakan sebuah alat ukur yang bernama Megger Delta 4110. Metode pengujian yang digunakan pada alat ukur Megger Delta 4110 adalah metode GST-ground dengan menguji keseluruhan transformator arus. Cara kerja dari metode ini adalah menggunakan kabel *grounding*, di mana kabel *grounding* Megger Delta 4110 di pasang pada kabel *grounding* transformator arus dengan cara dijepit [9]. Batas maksimum nilai  $\tan \delta$  yang dapat diterima adalah  $<1\%$ . Apabila nilai  $\tan \delta$  yang terukur lebih dari  $1\%$  maka dapat disimpulkan bahwa sebuah transformator harus dilakukan perbaikan ataupun penggantian unit transformator arus.

Pada penelitian yang berjudul analisis minyak transformator pada transformator tiga fasa di pt x yang terbit di jurnal Teknologi Elektro Volume 7, membahas terkait pengujian  $\tan \delta$  pada transformator untuk membandingkan hasil pengujian ketika sebelum dan sesudah dilakukan filtering minyak transformator untuk mengetahui pengaruh minyak terhadap transformator [10]. Penelitian sebelumnya yang berjudul pengujian

dissipation factor pada transformator dengan jumper dan tanpa jumper bushing yang terbit di jurnal Ilmiah Energi dan Kelistrikan Vol. 11, membahas terkait uji faktor dissipasi atau tan delta dengan 2 cara yang berbeda yaitu memakai jumper dan tanpa memakai jumper. Saat memakai jumper, arus yang dihasilkan merata. Namun saat tidak memakai jumper, arus yang dihasilkan terjadi losses [11]. Penelitian sebelumnya yang berjudul evaluasi kondisi isolasi pada current transformator bay unit trafo 1 gi cikupa 150 kv, membahas terkait pengujian tan delta untuk menentukan kinerja isolasi pada transformator arus. Pada pengujian tan delta ini digunakan 3 cara yaitu GST-GND, UST-R, dan GST-guard. Hasil dari pengujian tan delta yang dilakukan pada fasa R,S, dan T menunjukkan nilai tan delta dibawah 1% yang menandakan transformator masih layak beroperasi [13].

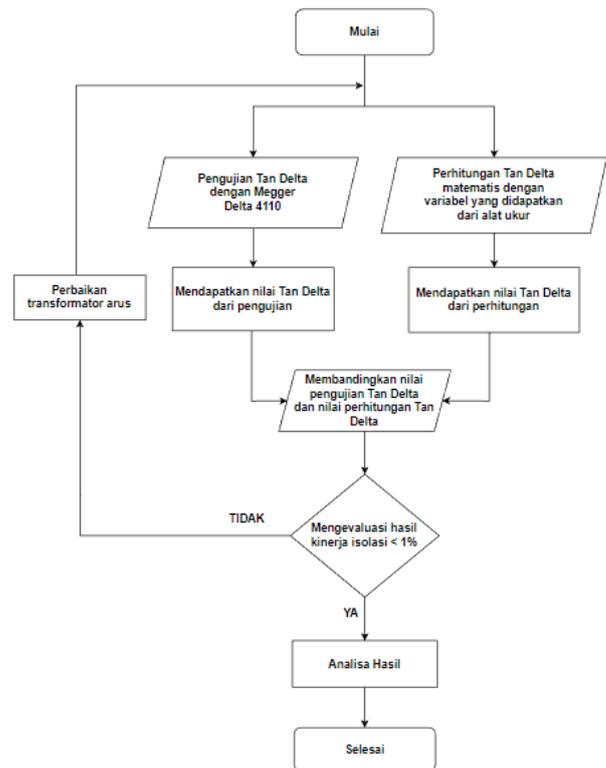
Maka dengan demikian atas dasar penelitian yang sudah ada tersebut dilakukan penelitian analisis pengujian tan delta pada objek yang berbeda yaitu pada gardu induk tegangan ekstra tinggi 500 kV Tasikmalaya tepatnya di bay penghantar bandung selatan-1. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui layak atau tidaknya transformator arus beroperasi pada gardu induk tegangan ekstra tinggi 500 kV Tasikmalaya berdasarkan nilai tan delta. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk memberikan edukasi mengenai bagaimana cara mengetahui keadaan isolasi sebuah transformator arus dengan menggunakan salah satu pengujian yaitu uji tan  $\delta$  dengan menggunakan metode GST-ground. Dengan mengetahui keadaan isolasi sebuah transformator arus, kita dapat menentukan layak atau tidaknya untuk beroperasi pada gardu induk. Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa naskah penelitian ini dibuat berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang dirujuk dan merupakan hasil dari pemikiran saya sendiri.

## METODE PENELITIAN

### Diagram alir penelitian

Pada proses penyusunan penelitian ini, dibuat flowchart yang menjelaskan bagian per bagian proses yang akan dilaksanakan dalam menyelesaikan permasalahan yang telah dibahas sebelumnya. Dalam pengujian tan delta, digunakan sebuah alat uji yaitu Megger Delta 4110 yang dapat menginjeksi 10kV tegangan ke transformator untuk mendapatkan nilai tan delta. Selain itu, digunakan juga perhitungan matematis dengan rumus yang didapatkan dari studi referensi untuk membandingkan nilai tan delta yang

didapatkan dari alat ukur. Alat uji tan delta ini menggunakan faktor 20 derajat celcius untuk menunjukkan seberapa besar kehilangan daya atau efisiensi isolasi bahan insulasi.



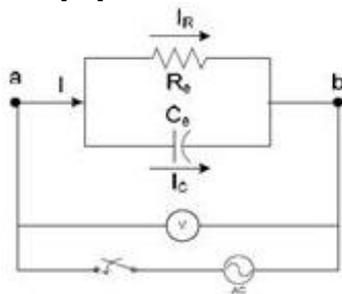
Gambar 1 Flowchart penelitian

### Pengujian tan delta

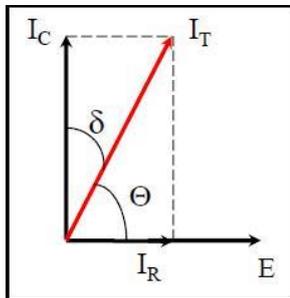
Tan  $\delta$  adalah suatu metode elektrikal untuk dapat menentukan bagaimana keadaan bahan isolasi. Bahan isolasi yang bagus akan bersifat kapasitif sempurna seperti isolator yang diletakkan diantara dua elektroda pada sebuah kapasitor. Kapasitor dapat dikatakan sempurna apabila tegangan dan arus fasa bergeser  $90^\circ$  dan arus yang bergerak melalui isolasi bersifat kapasitif. Bahan isolasi yang terkontaminasi seperti oleh kelembaban yang terlalu tinggi pada suatu transformator akan menyebabkan nilai resistansi isolasi mengalami penurunan dan mempengaruhi nilai dari arus resisitif yang melalui isolasi tersebut menjadi lebih tinggi. Hal ini dapat mengakibatkan tegangan dan arus tidak akan tetap pada fasa  $90^\circ$  tetapi akan bergerak kurang dari  $90^\circ$ . Nilai offset  $90^\circ$  mengindikasikan tingkat kontaminasi dari insulasi [14].

Nilai sudut tan  $\delta$  akan berubah seiring dengan perubahan nilai arus resisitif ( $I_r$ ) dan arus kapasitif ( $I_c$ ). Dengan menghitung rasio antara arus resisitif dan arus kapasitif, maka nilai

tan  $\delta$  akan didapatkan. Tan  $\delta$  akan bernilai nol apabila suatu bahan isolasi dalam keadaan sempurna. Besar sudut yang dihasilkan tan  $\delta$  menandakan bertambahnya arus resisitif yang melalui isolasi yang berarti terjadi kontaminasi. Tes tan  $\delta$  ini dilakukan untuk mengetahui nilai faktor dissipasi bahan isolasi pada transformator arus. Meningkatnya nilai tan  $\delta$  menjadi lebih tinggi menunjukkan bahwa kualitas isolasi transformator arus memburuk. Hasil dari pengujian ini akan digunakan untuk mengetahui layak atau tidaknya sebuah transformator arus untuk beroperasi pada gardu induk. Dibawah ini adalah gambar rangkaian ekuivalen Dielektrik dari suatu isolasi serta diagram phasor arus kapasitansi serta arus resisitif dari suatu isolasi [15].



Gambar 2 Rangkaian ekuivalen dielektrik



Gambar 3 Diagram phasor arus kapasitansi dan arus resisitif

Jika terminal a-b pada gambar 3 dihubungkan dengan sumber tegangan bolak – balik, maka arus pada tiap komponen adalah sebagai berikut:

$$I_R = \frac{V}{R_e} \quad (1)$$

Dimana:  $I_R$  = Arus resisitif

$V$  = Tegangan uji

$R_e$  = Resistor ekuivalen

Untuk mendapatkan arus kapasitif maka:

$$I_C = \omega C_e V \quad (2)$$

Arus total yang diberikan sumber tegangan adalah:

$$I_T = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} \quad (3)$$

Arus resisitif menimbulkan rugi – rugi daya pada tahanan resistor ekuivalen. Rugi – rugi ini dikenal rugi – rugi dielektrik. Rugi- rugi dielektrik ialah perkalian tegangan dengan arus resisitif yaitu:

$$\begin{aligned} P_d &= V I_R \text{ atau} \\ &= V I_T \cos \varphi \text{ atau} \\ &= V I_T \sin \delta \end{aligned} \quad (4)$$

Berdasarkan persamaan diatas, arus sumber dapat dituliskan sebagai berikut:

$$I_T = \frac{I_C}{\cos \delta} \quad (5)$$

Substitusi persamaan 2 ke persamaan 5 diperoleh:

$$I_T = \frac{\omega C_e V}{\cos \delta} \quad (6)$$

Substitusi Persamaan 6 ke persamaan 4 diperoleh:

$$\begin{aligned} P_d &= \frac{\omega C_e V}{\cos \delta} V \sin \delta \\ &= \omega C_e V^2 \tan \delta \end{aligned} \quad (7)$$

Nilai arus kapasitif dapat dicari dengan menggunakan:

$$I_C = I_T \cos \delta \quad (8)$$

Nilai  $\delta$  dapat dicari dengan menggunakan rumus:

$$\delta = \sin^{-1} \left( \frac{P_d}{V I_T} \right) \quad (9)$$

Sehingga nilai tan  $\delta$  adalah sebagai berikut:

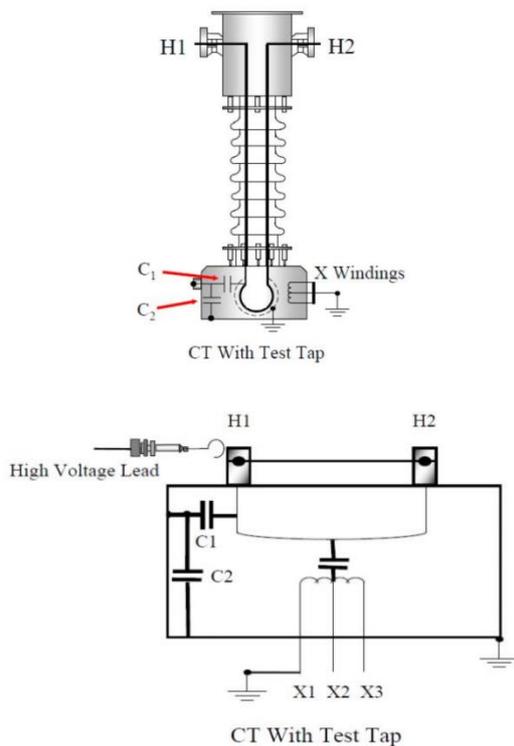
$$\tan \delta = \frac{I_R}{I_C} \quad (10)$$

Nilai tan  $\delta$  ini menyatakan rugi-rugi daya, nilai besaran inilah yang menyebabkan besarnya daya yang terdissipasi. Dengan semakin tingginya nilai tan  $\delta$  maka daya yang terdissipasi semakin besar pula yang menyebabkan kualitas isolasi semakin buruk.

### Metode pengujian tan $\delta$

Pengujian tan  $\delta$  terbagi menjadi 3 jenis metode pengujian yaitu metode UST-R, metode GST-Guard dan metode GST-GND. Pengujian dengan metode UST-R berfungsi untuk

mendapatkan nilai  $\tan \delta$  dan kapasitansi dari C1 transformator arus. Pengujian dengan metode GST-Guard berfungsi untuk mendapatkan nilai  $\tan \delta$  dan kapasitansi dari C2 transformator arus. Metode pengujian  $\tan \delta$  yang digunakan pada penelitian ini adalah metode GST-GND. Metode pengujian GST-GND bertujuan untuk mengetahui nilai  $\tan \delta$  dan kapasitansi secara keseluruhan transformator arus. Pengujian ini dilakukan dengan menginjek tegangan sebesar 10 kV. Berikut adalah gambaran metode GST-G

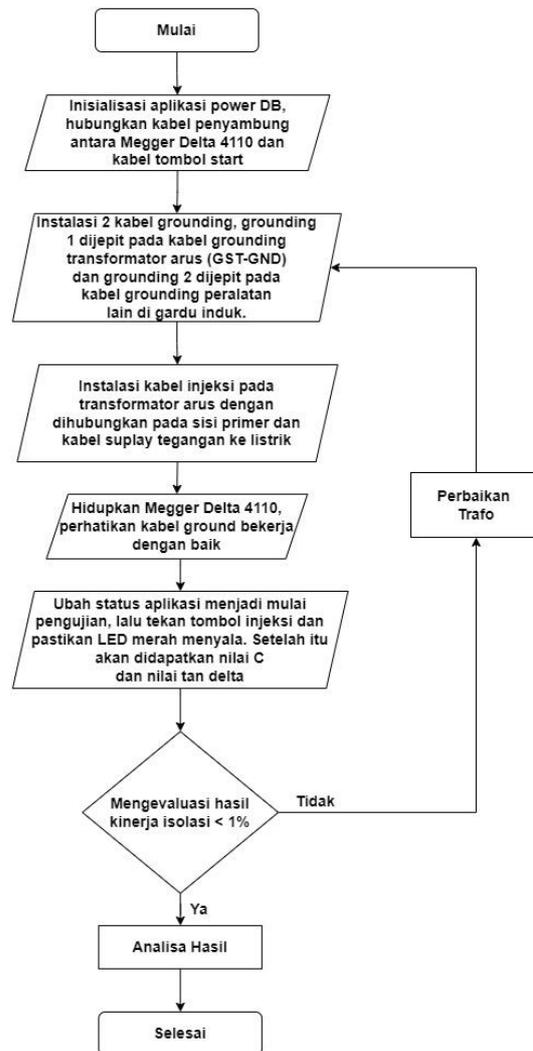


Gambar 4 Pengujian metode GST-GND dengan Test Tap

Cara kerja pengujian tan delta dengan metode GST-GND ini adalah dengan menggunakan kabel grounding, di mana kabel grounding Megger 4110 di pasang pada kabel grounding transformator arus dengan cara dijepit.

**Tahapan pengujian tan  $\delta$**

Dalam melakukan pengujian tan delta, terdapat tahap-tahap yang harus dilakukan secara urut agar mendapatkan nilai tan delta yang akurat. Berikut adalah tahapan-tahapan yang dilakukan dalam pengujian tan delta:



Gambar 5 Flowchart pengujian tan delta

Kabel grounding kedua yang digunakan pada pengujian tan delta bertujuan untuk proteksi apabila terdapat lonjakan tegangan akan dialirkan melalui kabel grounding tersebut. Pada Megger Delta 4110 ini terdapat 2 LED yaitu LED yang berwarna merah sebagai indikasi status injeksi tegangan dan LED kuning sebagai indikasi status grounding. LED kuning yang hidup mengindikasikan kabel grounding yang digunakan belum berfungsi dengan baik. Kotoran yang terdapat pada kabel grounding dapat menyebabkan kabel grounding tidak berfungsi dengan baik. Hal ini dapat diatasi dengan menggosok-gosok penjepit pada kabel grounding peralatan tersebut. LED warna merah yang hidup mengindikasikan injeksi tegangan sedang berlangsung. Untuk memulai injeksi tegangan sampai 10kV, harap memastikan tim pemelihara transformator arus dalam kondisi siap dan tidak menyentuh kabel injeksi tegangan maupun transformator arus.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Data pengujian tan δ**

Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat uji Megger Delta 4110 serta metode pengukuran yang digunakan adalah metode GST-GND untuk mengetahui nilai tan δ dan kapasitansi secara keseluruhan transformator arus. Berikut ini adalah hasil pengujian tan δ:

TEST NO.	INSULATION TESTED	TEST MODE	TEST CONNECTIONS BUSHING				TEST kV
			ENG	GND	GAR	UST	
1	Overall	GST-GND	HI,H2	-	-	-	10,00

Capacitance C (pF)	POWER FACTOR %			DIRECT		IR
	MEAS.	20+ c	CORR.	mA	Watts	
1.343,04	0,42	0,29	0,690	5,061	0,2148	G

Gambar 9 Hasil Pengujian Tan δ Pada CT Fasa R

TEST NO.	INSULATION TESTED	TEST MODE	TEST CONNECTIONS BUSHING				TEST kV
			ENG	GND	GAR	UST	
2	Overall	GST-GND	HI,H2	-	-	-	10,00

Capacitance C (pF)	POWER FACTOR %			DIRECT		IR
	MEAS.	20+ c	CORR.	mA	Watts	
1.332,40	0,47	0,28	0,580	5,022	0,2385	G

Gambar 10 Hasil Pengujian Tan δ Pada CT Fasa S

TEST NO.	INSULATION TESTED	TEST MODE	TEST CONNECTIONS BUSHING				TEST kV
			ENG	GND	GAR	UST	
3	Overall	GST-GND	HI,H2	-	-	-	10,00

Capacitance C (pF)	POWER FACTOR %			DIRECT		IR
	MEAS.	20+ c	CORR.	mA	Watts	
1.350,51	0,45	0,31	0,690	5,089	0,2297	G

Gambar 11 Hasil Pengujian Tan δ Pada CT Fasa T

3 Pengujian Tangen Delta									
Titik Ukur	Titik Pengujian	Type Pengujian	Standard	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
				Th.Lalu	Hasil ukur	Th.Lalu	Hasil ukur	Th.Lalu	Hasil ukur
3.1 Arus (mA)					5,061		5,022		5,009
3.2 TanD (%)					0,29		0,28		0,31
3.3 Capacitance (pF)					1343,04		1332,4		1350,51
3.4 Daya (w)					0,2148		0,2385		0,2297

Catatan :

Alat Uji : Megger 5000 V Pentanahan TanDelta

Merak :

Type :

No. Serie :

Pelaksana Uji :		Supervisi / Pngws. Pekerjaan		Tanda tangan :	
1. <i>Abhari</i>		Supervisi GI	YADI P	1	<i>[Signature]</i>
2. <i>Adik</i>		Pengawas Pekerjaan	HERDIAN I	2	<i>[Signature]</i>
3. <i>Kadiman</i>					

Gambar 12 Hasil Pengujian Tan δ dengan pencatatan langsung

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, terdapat 3 nilai tan δ dengan berbagai faktor pengujian. Berikut adalah jenis faktor pengujian yang digunakan yaitu:

a) Pengujian tan δ dengan metode MEAS (Multiple Excitation and Analysis System)

Pengujian dengan menggunakan teknik MEAS ini akan memberikan data mengenai ciri-ciri isolasi dan respons sistem terhadap gelombang frekuensi yang beragam. Hal ini dapat mengungkapkan gangguan atau kegagalan isolasi yang mungkin tidak terlihat ketika menggunakan teknik uji konvensional. Teknik ini berguna untuk mendeteksi masalah seperti kebocoran arus, kontaminasi, atau kerusakan pada isolasi. Pada pengujian dengan MEAS ini didapatkan nilai pada fasa R, S, dan T adalah 0.42%, 0.47%, dan 0.45%.

b) Pengujian tan δ dengan faktor 20 derajat celcius

Pengujian tan δ dengan faktor 20 derajat celcius menunjukkan seberapa besar kehilangan daya atau efisiensi isolasi bahan insulasi. Tan δ ialah perbandingan antara daya reaktif dan daya aktif dalam sistem, sementara faktor daya merupakan kosinus sudut fase antara tegangan dan arus. Kedua parameter tersebut dapat memberikan informasi mengenai kualitas isolasi dan keadaan insulasi pada peralatan listrik. Pada pengujian dengan faktor 20 derajat celcius dari alat ukur ini didapatkan nilai pada fasa R,S, dan T adalah 0.29%, 0.28%, dan 0.31%.

c) Pengujian tan delta dengan metode CORR (Cable Oil Resistivity Test)

Pengujian dengan menggunakan teknik CORR memberikan data mengenai mutu minyak isolasi kabel serta keadaan isolasi secara keseluruhan. Data ini berguna untuk melakukan pengawasan dan perawatan yang akurat terhadap isolasi kabel. Pada pengujian dengan CORR ini didapatkan nilai pada fasa R,S, dan T adalah 0.690%, 0.580%, dan 0.690%.

**Perhitungan Tan δ (MEAS)**

Perhitungan tan δ ini berfungsi untuk membandingkan kesesuaian alat uji tan δ dengan perhitungan mandiri dengan menggunakan berbagai variabel yang telah didapat dari alat uji. Pada perhitungan tan δ ini mengabaikan faktor

suhu 20 derajat dalam percobaan. Pada perhitungan tan  $\delta$  ini, digunakan hasil dari alat uji Megger Delta 4110 sebagai pembanding untuk mencari nilai tan  $\delta$  dan sudut  $\delta$  pada suatu isolasi. Berikut adalah perhitungan tan  $\delta$  pada transformator arus:

**Perhitungan tan  $\delta$  overall pada transformator arus fasa R**

Perhitungan tan  $\delta$  transformator arus fasa R dengan menggunakan persamaan (9) dapat dicari besar nilai sudut yang terdapat pada transformator arus adalah sebagai berikut:

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

$$\delta = \sin^{-1} \left( \frac{0,2148}{10.000 \times 5,061 \times 10^{-3}} \right)$$

$$\delta = \sin^{-1} (0,004244)$$

$$\delta = 0.243177$$

Untuk mencari besar sudut  $\alpha$  dapat dihitung dengan:

$$\alpha = 90^\circ - \delta$$

$$\alpha = 90^\circ - 0,45585^\circ$$

$$\alpha = 89.756823^\circ$$

Untuk mencari besar arus  $I_C$  dapat dihitung dengan persamaan (8) yaitu:

$$I_C = I_T \cos \delta$$

$$I_C = 5,061 (\cos (0.243177))$$

$$I_C = 5,060954 \text{ mA}$$

Untuk mencari besar arus  $I_R$  dapat dihitung dengan persamaan (3) yaitu:

$$I_T^2 = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$$

$$I_R^2 = 5,061^2 - 5,060954^2$$

$$I_R^2 = 25,613721 - 25,613255$$

$$I_R = \sqrt{0,000466}$$

$$I_R = 0,021587 \text{ mA}$$

Setelah diketahui nilai arus  $I_C$  dan  $I_R$ , maka nilai tan  $\delta$  dapat dicari dengan persamaan (10) yaitu:

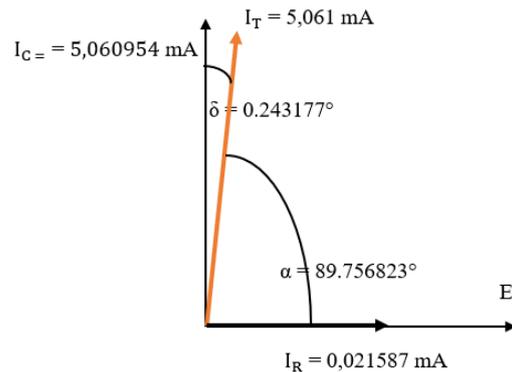
$$\tan \delta = \frac{I_R}{I_C}$$

$$\tan \delta = \frac{0,021587}{5,060954} \times 100 \%$$

$$\tan \delta = 0,42 \%$$

Setelah dilakukan perhitungan untuk mencari nilai Tan  $\delta$  pada fasa R, didapatkan nilai Tan  $\delta$  yaitu sebesar 0.42%. Nilai hasil perhitungan Tan  $\delta$  ini sama dengan nilai hasil pengukuran oleh

alat uji Megger Delta 4110. Dengan hasil perhitungan dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kinerja isolasi transformator arus pada fasa R ini masih layak beroperasi karena masih memenuhi standar yaitu < 1%. Dengan diketahuinya nilai sudut  $\delta$ , nilai sudut  $\alpha$ , arus kapasitif ( $I_C$ ) dan arus resisitif ( $I_R$ ) maka dapat digambarkan diagram fasornya:



Gambar 13 Besar fasor sudut alpha fasa R

Dari diagram fasor yang telah digambarkan, dapat dilihat nilai arus kapasitif yaitu sebesar 5,061 mA, arus resisitif yaitu sebesar 0,0216 mA, sudut alpha yaitu sudut antara arus kapasitif dengan tegangan yaitu sebesar 89,757°. Nilai sudut tan delta pada diagram fasor yaitu sebesar 0,2432°. Nilai sudut tan delta ini menggambarkan pergeseran sudut antara arus kapasitif dan arus resisitif yang dapat menandakan masalah pada isolasi seperti kontaminasi atau kerusakan material isolasi.

**Perhitungan tan  $\delta$  overall pada transformator arus fasa S**

Perhitungan tan  $\delta$  transformator arus fasa S dengan menggunakan persamaan (9) dapat dicari besar nilai sudut yang terdapat pada transformator arus adalah sebagai berikut:

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

$$\delta = \sin^{-1} \left( \frac{0,2385}{10.000 \times 5,022 \times 10^{-3}} \right)$$

$$\delta = \sin^{-1} (0,004749)$$

$$\delta = 0,272099$$

Untuk mencari besar sudut  $\alpha$  dapat dihitung dengan:

$$\alpha = 90^\circ - \delta$$

$$\alpha = 90^\circ - 0,272099^\circ$$

$$\alpha = 89.727901^\circ$$

Untuk mencari besar arus  $I_C$  dapat dihitung dengan persamaan (8) yaitu:

$$I_C = I_T \cos \delta$$

$$I_C = 5,022 \times \cos 0,272099$$

$$I_C = 5,021943 \text{ mA}$$

Untuk mencari besar arus  $I_R$  dapat dihitung dengan persamaan (3) yaitu:

$$I_T^2 = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$$

$$I_R^2 = 5,022^2 - 5,021943^2$$

$$I_R^2 = 25,220484 - 25,219911$$

$$I_R = \sqrt{0,000573}$$

$$I_R = 0.023937 \text{ mA}$$

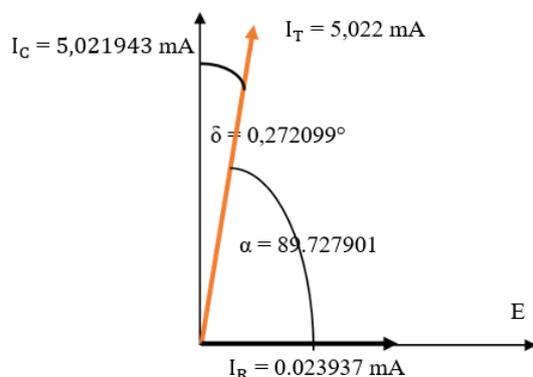
Setelah diketahui nilai arus  $I_C$  dan  $I_R$ , maka nilai  $\tan \delta$  dapat dicari dengan persamaan (10) yaitu:

$$\tan \delta = \frac{I_R}{I_C}$$

$$\tan \delta = \frac{0,023937 \times 100 \%}{5,021943}$$

$$\tan \delta = 0,47 \%$$

Setelah dilakukan perhitungan untuk mencari nilai  $\tan \delta$  pada fasa S, didapatkan nilai  $\tan \delta$  yaitu sebesar 0.47%. Nilai hasil perhitungan  $\tan \delta$  ini sama dengan nilai hasil pengukuran oleh alat uji Megger Delta 4110. Dengan hasil perhitungan dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kinerja isolasi transformator arus pada fasa S ini masih layak beroperasi karena masih memenuhi standar yaitu  $< 1\%$ . Dengan diketahuinya nilai sudut  $\delta$ , nilai sudut  $\alpha$ , arus kapasitif ( $I_C$ ) dan arus resistif ( $I_R$ ) maka dapat digambarkan diagram fasornya:



Gambar 14 Besar fasor sudut alpha fasa S

Dari diagram fasor yang telah digambarkan, dapat dilihat nilai arus kapasitif yaitu sebesar 5,022 mA, arus resistif yaitu sebesar 0,024mA, sudut alpha yaitu sudut antara arus kapasitif dengan tegangan yaitu sebesar 89,728°. Nilai sudut  $\tan \delta$  pada diagram fasor yaitu sebesar 0,2721°. Nilai sudut  $\tan \delta$  ini menggambarkan pergeseran sudut antara arus kapasitif dan arus resistif yang dapat menandakan masalah pada isolasi seperti kontaminasi atau kerusakan material isolasi.

### Perhitungan $\tan \delta$ overall pada transformator arus fasa T

Perhitungan  $\tan \delta$  transformator arus fasa T dengan menggunakan persamaan (9) dapat dicari besar nilai sudut yang terdapat pada transformator arus adalah sebagai berikut:

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

$$\delta = \sin^{-1} \left( \frac{0,2297}{10.000 \times 5,089 \times 10^{-3}} \right)$$

$$\delta = \sin^{-1} (0,004514)$$

$$\delta = 0.258634$$

Untuk mencari besar sudut  $\alpha$  dapat dihitung dengan:

$$\alpha = 90^\circ - \delta$$

$$\alpha = 90^\circ - 0.258634^\circ$$

$$\alpha = 89.741366^\circ$$

Untuk mencari besar arus  $I_C$  dapat dihitung dengan persamaan (8) yaitu:

$$I_C = I_T \cos \delta$$

$$I_C = 5,089 \times \cos 0.258634$$

$$I_C = 5,088948 \text{ mA}$$

Untuk mencari besar arus  $I_R$  dapat dihitung dengan persamaan (3) yaitu:

$$I_T^2 = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$$

$$I_R^2 = 5,089^2 - 5,088948^2$$

$$I_R^2 = 25,897921 - 25,897392$$

$$I_R = \sqrt{0,000529}$$

$$I_R = 0.023 \text{ mA}$$

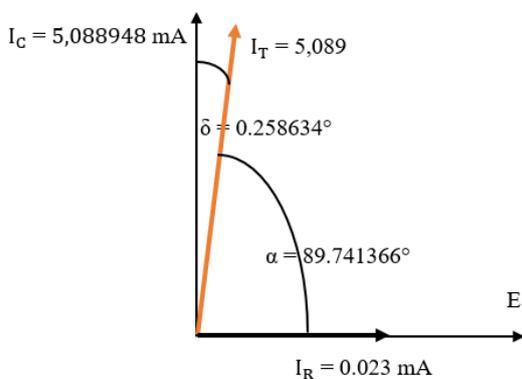
Setelah diketahui nilai arus  $I_C$  dan  $I_R$ , maka nilai  $\tan \delta$  dapat dicari dengan persamaan (10) yaitu:

$$\tan \delta = \frac{I_R}{I_C}$$

$$\tan \delta = \frac{0.023}{5.088948} \times 100 \%$$

Tan  $\delta = 0,45 \%$

Setelah dilakukan perhitungan untuk mencari nilai Tan  $\delta$  pada fasa T, didapatkan nilai Tan  $\delta$  yaitu sebesar 0.45%. Nilai hasil perhitungan Tan  $\delta$  ini sama dengan nilai hasil pengukuran oleh alat uji Megger Delta 4110. Dengan hasil perhitungan dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kinerja isolasi transformator arus pada fasa T ini masih layak beroperasi karena masih memenuhi standar yaitu  $< 1\%$ . Dengan diketahuinya nilai sudut  $\delta$ , nilai sudut  $\alpha$ , arus kapasitif ( $I_C$ ) dan arus resisitif ( $I_R$ ) maka dapat digambarkan diagram fasornya:



Gambar 15 Besar fasor sudut alpha fasa T

Dari diagram fasor yang telah digambarkan, dapat dilihat nilai arus kapasitif yaitu sebesar 5,089 mA, arus resisitif yaitu sebesar 0,023mA, sudut alpha yaitu sudut antara arus kapasitif dengan tegangan yaitu sebesar  $89,741^\circ$ . Nilai sudut tan delta pada diagram fasor yaitu sebesar  $0,2586^\circ$ . Nilai sudut tan delta ini menggambarkan pergeseran sudut antara arus kapasitif dan arus resisitif yang dapat menandakan masalah pada isolasi seperti kontaminasi atau kerusakan material isolasi.

## KESIMPULAN

Transformator arus perlu diuji secara berkala, untuk menjaga keandalannya dalam beroperasi di sebuah gardu induk. Salah satu pengujian yang dilakukan adalah pengujian tan delta. Pengujian tan delta ini berguna untuk mengetahui kualitas isolasi pada transformator arus. Bahan isolasi yang terkontaminasi dapat menyebabkan sudut arus yang mendahului tegangan akan bergeser kurang dari  $90^\circ$ . Hal ini dapat juga diakibatkan oleh kelembaban yang

terlalu tinggi pada transformator arus. Selisih pergeseran sudut dari  $90^\circ$  menunjukkan tingkat kontaminasi pada material isolasi. Nilai tan delta yang besar menandakan penurunan kualitas insulasi pada sebuah transformator arus. Setelah dilakukan pengujian tan delta dengan alat uji Megger Delta 4110 pada transformator arus yang beroperasi di bay penghantar bandung selatan 1, dengan menggunakan faktor 20 derajat oleh alat uji didapatkan hasil pada fasa R sebesar 0,29%, pada fasa S sebesar 0,28%, pada fasa T sebesar 0,31 %. Selain itu, dilakukan juga perhitungan secara mandiri dengan data variabel yang didapatkan dari alat uji dan diperoleh hasil yaitu pada fasa R sebesar 0,42%, pada fasa S sebesar 0,47%, pada fasa T sebesar 0,45 %. Hal ini menandakan bahwa terdapat perbedaan dari hasil alat uji yang menggunakan faktor 20 derajat dengan hasil perhitungan mandiri tanpa faktor 20 derajat. Namun dari kedua hasil pengujian tersebut, menunjukkan bahwa transformator arus yang beroperasi pada fasa R,S dan T masih layak beroperasi karena nilai tan  $\delta$  pada masing-masing transformator arus ini sesuai dengan standar beroperasi yaitu  $< 1\%$ .

Adapun saran yang diberikan untuk pengembangan penelitian ini adalah menambahkan beberapa pengujian untuk memastikan kondisi isolasi pada transformator arus seperti pengujian DGA (Dissolved Gas Analysis) dan pengujian BDV (Breakdown Voltage). Pengujian DGA (Dissolved Gas Analysis) setelah melakukan pengujian tan delta dapat memverifikasi kondisi isolasi transformator arus secara menyeluruh dengan cara memantau perubahan komposisi gas dari waktu ke waktu sehingga dapat diketahui jika ada perubahan signifikan dalam kondisi transformator arus yang. Pengujian BDV (Breakdown Voltage) setelah melakukan pengujian tan delta dapat berguna apabila suatu transformator arus dilakukan perbaikan dan pengujian ini berguna untuk memverifikasi efektivitas tindakan perbaikan dengan menguji tegangan tembus sehingga dapat diketahui perubahan isolasi yang telah diperbaiki menjadi lebih baik atau tidak. Berikutnya adalah perlu ditambahkan penggambaran rangkaian uji tan delta dan penjelasan setiap komponen uji yang digunakan. Hal ini dapat membantu visual

pembaca untuk mengetahui bagaimana cara melakukan pengujian tan delta dan mengetahui rincian kegunaan setiap komponen pada rangkaian pengujian. Apabila nilai tan delta yang didapatkan pada saat pengujian dibawah nilai operasional, diperlukannya pengujian dengan metode CHL (Core, HV Winding, LV Winding) untuk mengetahui bagian mana pada transformator arus yang memerlukan pemeliharaan atau perbaikan.

## REFERENSI

- [1] T. Isolasi, dan Eksitasi Rianti, M. Iqbal Arsyad, J. Teknik Elektro, and F. Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak, "Studi Analisa Kelayakan Transformator Arus untuk Proteksi Sistem Tenaga Listrik berdasarkan Hasil Uji".
- [2] I. S. Wahyuni and K. Fahmi, "Pentingnya Kualitas Trafo Arus ( Current Transformer ) Dengan Menerapkan Quality Plan Dalam Proses Assembly," vol. 1, no. 1, pp. 31–38, 2021.
- [3] G. Crotti et al., "Calibration of Current Transformers in distorted conditions," J. Phys. Conf. Ser., vol. 1065, no. 5, 2018, doi: 10.1088/1742-6596/1065/5/052033.
- [4] S. Bustamante, M. Manana, A. Arroyo, P. Castro, and A. Laso, "Dissolved Gas Analysis Equipment for Online Monitoring of Transformer Oil : A Review," pp. 4–12, 2019, doi: 10.3390/s19194057.
- [5] D. Almada, "Analisis Pengujian Tangen Delta pada Bushing Trafo 150 / 20 KV 60 MVA di Gardu Induk Karet Lama," vol. 5, no. 2, pp. 97–102.
- [6] Sobhy et al., "Enhancement the Properties of Electrical Insulation for Current Transformer Using Nano-particles," vol. 4, pp. 31–37, 2019.
- [7] Z. Nadolny, "Determination of Dielectric Losses in a Power Transformer," Energies, vol. 15, no. 3, 2022, doi: 10.3390/en15030993.
- [8] K. A. Kulkarni, G. Engineering, and C. Aurangabad, "Detection of Negative Tan Delta ( Dissipation factor ) in Condenser Bushing : A Review," Int. J. Res. Eng. Appl. Manag., vol. 06, no. 06, pp. 203–205, 2020.
- [9] S. R. Pertiwi, U. Latifa, R. Hidayat, and I. Ibrahim, "Analisis Kelayakan CVT (Capacitive Voltage Transformer) Fasa S Bay Busbar 2 150 kV di GI PT. XYZ Indonesia," Techné J. Ilm. Elektrotek., vol. 20, no. 1, pp. 35–42, 2021, doi: 10.31358/techne.v20i1.259.
- [10] F. A. F. Badaruddin, "ANALISA MINYAK TRANSFORMATOR PADA TRANSFORMATOR TIGA FASA DI PT X," J. Teknol. Elektro, vol. 1, no. 20, p. 220, 2000, [Online]. Available: [https://repository.up.ac.za/bitstream/handle/263/64096/LaPlaca\\_How\\_2018.pdf?sequence=1](https://repository.up.ac.za/bitstream/handle/263/64096/LaPlaca_How_2018.pdf?sequence=1)
- [11] L. Abidin, "View of Pengujian Dissipation Factor pada Transformator dengan Jumper dan tanpa Jumper Bushing.pdf." pp. 189–196, 2019.
- [12] P. Seminar, N. Nciet, and N. Conference, "ANALISA TAHANAN ISOLASI TRANSFORMATOR 3 DI PT. PLN (Persero) GARDU INDUK 150 KV Pati," Pros. Semin. Nas. NCIET, vol. 1, no. 1, pp. 141–149, 2020, doi: 10.32497/nciet.v1i1.72.
- [13] P. Akhir et al., "ANALISIS PENGUJIAN TANGEN DELTA PADA TRANSFORMATOR DAYA 5 PADA GARDU INDUK SENTUL 150KV ANALISIS PENGUJIAN TANGEN DELTA PADA TRANSFORMATOR DAYA 5 PADA GARDU INDUK SENTUL 150KV," 2021.
- [14] 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.
- [15] D. I. Hajar, "Evaluasi Kondisi Isolasi Pada Current Transformator Bay Unit Trafo 1 Gi Cikupa 150 Kv," 2020.