

Kajian Teknis Pemeliharaan Transformator Arus Pada Gardu Induk Pltu Tanjung Awar – Awar Babat

Rhezal Agung Ananto ^{a)} , Kalam Syamsul Arifin ^{a)},Ahmad Hermawan ^{a)}, Popong Efendrik ^{a)}

(Artikel diterima: Januari 2023, direvisi: Februari 2023)

Abstract: The current transformer is an electric power instrumentation device that functions to change a higher current value to a lower value for protection and measurement purposes. Field conditions and service life cause the current transformer to decrease and not function. Therefore, it is important to do this research to determine the current condition of the current transformer. The method used to obtain current transformer quality indicators is the insulation resistance test method and the tangent delta test method. The results of testing the insulation resistance of current transformers at GI Tanjung Awar Awar Babat in 2020-2021 using the VDE standard (Catalogue 228/4) and IEEE std 43-2000 show that the insulation resistance value of all current transformers has increased by an average of 81900Ω from the previous period but, this value is still in good criteria, namely 170 + 1 MΩ and there is an increase in the current transformer grounding resistance test from the previous period with an average of 0.176 however, according to the PLN book 605.K/DIR/2010 the results of the ground resistance test have good criteria. of < 1. Based on ANSI C 57.12.90 and IEEE C57.152-2013 standards, the tan delta test results are still in good condition because the tan delta value is not more than 0.5%. Current transformer tan delta testing in 2020-2021 has decreased, indicating that the insulation performance of current transformers in 2021 is better than in 2020.

Key Word: current transformer, insulation resistance test and tangent delta test.

1. Pendahuluan

Transformator arus memiliki fungsi yang begitu vital pada sistem penyaluran tenaga listrik, maka transformator arus harus dapat bekerja dengan baik dalam keadaan normal maupun gangguan sehingga peralatan proteksi dapat segera merespon arus gangguan dan mengamankan peralatan. Rusaknya transformator arus dapat mengakibatkan perangkat proteksi tidak bekerja dan mengganggu sistem tenaga listrik sehingga diperlukan konsep pemeliharaan dan perawatan pada peralatan listrik tegangan tinggi khususnya transformator arus. Kondisi lapangan serta usia pemakaian menyebabkan transformator arus mengalami penurunan dan kegagalan fungsi. Oleh karena itu penting dilakukan pengujian secara rutin untuk mengetahui kondisi terkini dari transformator arus sesuai standart yang digunakan [1][2]. Fungsi pemeliharaan peralatan listrik tegangan tinggi adalah untuk mempertahankan kondisi agar dapat bekerja sesuai fungsinya, antara lain yaitu untuk meningkatkan keandalan, penyediaan dan energi, untuk memperpanjang umur peralatan, mengurangi resiko terjadinya kegagalan atau kerusakan peralatan, meningkatkan keamanan pada peralatan dan mengurangi lama waktu padam akibat sering gangguan. Faktor yang paling dominan dalam pemeliharaan peralatan proteksi adalah memperoleh keyakinan bahwa peralatan proteksi tersebut dapat bekerja sesuai fungsinya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja transformator arus pada saat terjadinya gangguan serta untuk menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja current transformator pada Gardu Induk PLTU Tanjung Awar - Awar Babat.

2. Metodologi

Penelitian ini dilaksanakan di PT. PLN (Persero) Gardu Induk PLTU Tanjung Awar- Awar Babat pada Agustus 2021 - Juni 2022.

2.1 Variable Penelitian

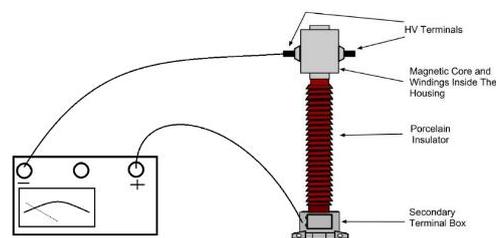
Beberapa hal yang dapat mempengaruhi kinerja dari sebuah Current Transformer, khususnya yang ada di Gardu Induk Tanjung Awar - Awar Babat antara lain :

1. Hasil uji pengukuran tahanan isolasi dan pentanahan CT GI PLTU Tanjung Awar - Awar Babat.
2. Hasil uji tangen delta CT GI PLTU Tanjung Awar - Awar Babat.

2.2 Metode Pengujian Current Transformer

2.2.1 Pengujian Tahanan Isolasi dan Pentanahan

Pengujian tahanan isolasi berfungsi untuk mengetahui kualitas tahanan isolasi yang ada pada current transformer. Nilai tahanan isolasi minimum menurut standar IEC 60044-1 dan VDE (catalogue 228/4) adalah 1000 Ohm pada tegangan kerja 1V. Pengujian tahanan isolasi ditunjukkan seperti Gambar 2.1



Gambar 2. 1 Diagram Pengujian Tahanan Isolasi CT

(Sumber: Buku SPLN Transformator Arus)

Pengujian dilakukan pada tegangan kerja dan tegangan uji yang sama. Sehingga ketiga transformator arus fasa R, S dan T akan memiliki nilai tahanan minimal yang sama. Untuk mendapatkan nilai minimal hasil pengujian tahanan isolasi dapat dihitung menggunakan persamaan berikut[3][4] :

* Korespondensi: rhezal.agung@polinema.ac.id

a) Prodi Sistem Kelistrikan, Jurusan Teknik Elektro, Polinema.
Jalan Soekarno-Hatta No. 9 Malang 65141

$$R = \frac{(1000 \times U) \times U \times 2,5}{Q} \dots\dots\dots (2-1)$$

Keterangan :

- R = Tahanan isolasi minimal (MΩ)
- U = Tegangan Kerja (kV)
- Q = Tegangan Uji (kV)
- 1000 = Konstanta
- 2,5 = Faktor Keamanan

2.2.2 Perhitungan Tangen Delta

Perhitungan pengujian tangen delta dimaksud untuk mencari nilai tangen delta dan sudut tangen delta pada suatu isolasi. Suatu isolasi jika diberikan tegangan akan menimbulkan arus kapasitif. Isolasi ini pada dasarnya memiliki kapasitif sempurna. Tetapi pada kenyataannya isolasi tidak ada yang memiliki kapasitif sempurna. Jadi isolasi hanya memiliki arus resistif. Arus resistif ini terjadi diakibatkan adanya faktor kontaminasi, korona, hotspot, kelembaban, suhu operasi yang tinggi dan tegangan lebih. Arus resistif ini menimbulkan losses daya (*watt loss*). Jadi semakin besar nilai arus resistif akan semakin besar losses dayanya yang mengakibatkan semakin besar juga nilai tangen deltanya. Jadi untuk mencari tangen delta yaitu IR / IC. Adapun perhitungan pengujian tangen delta dapat dilakukan menggunakan persamaan seperti dibawah ini :

$$\sin \delta = \frac{P}{V \times I_T} \dots\dots\dots (2-2)$$

$$I_c = I \times \cos \delta \dots\dots\dots (2-3)$$

$$I_r = \sqrt{I_T^2 - I_c^2} \dots\dots\dots (2-4)$$

$$\delta = \frac{I_r}{I_c} \times 100\% \dots\dots\dots (2-5)$$

Keterangan :

- P = Daya (Watt)
- V = Tegangan (V)
- I = Arus (mA)
- δ = Sudut (Degree)
- Ic = Arus Kapasitif (mA)
- Ir = Arus Resistif (mA)
- IT = Arus Total (mA)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian Tahanan Isolasi dan Tahanan Pentanahan Transformator Arus

Pengukuran tahanan isolasi dilakukan untuk mengetahui nilai hambatan antara dua komponen yang bertegangan atau komponen bertegangan dengan ground. Alat ukur yang digunakan untuk mengukur atau menguji tahanan isolasi dan pentanahan adalah alat uji MegaOhm Meter.

3.2 Perhitungan Tahanan Isolasi Minimum Transformator Arus (CT)

3.2.1 Tahanan Isolasi Transformator Arus (CT) Fasa R

Tabel 3. 1 Tahanan Isolasi Transformator Arus (CT) Fasa R

No	Kriteria Uji	Standart	Hasil (2020)	Hasil (2021)
1	tahanan isolasi	standart	21.500	44.000

	(P1-Ground)	VDE (catalogue 228/4) 1 kV=1Mohm	MΩ	MΩ
2	tahanan pentanahan	R < 1 ohm	0,1 Ω	0,29 Ω

Berdasarkan VDE 288/4 maupun SPLN 42-2:1992 minimum besarnya tahanan isolasi pada suhu operasi dihitung “1 kilo Volt = 1 KΩ (KiloOhm). Mengacu pada standar IEEE std 43-2000 didapatkan nilai tahanan isolasi minimal sebesar 170+1 MΩ. Pada tahap pengujian isolasi menggunakan tegangan uji 5 kV dengan hasil uji isolasi pada tahun 2020 sebesar 21500 MΩ dan di tahun 2021 sebesar 44.000 MΩ. Berdasarkan hasil tersebut maka dapat diketahui bahwa transformator arus fasa R dengan nomor seri 1101313 dalam keadaan baik dengan nilai tahanan pentanahan dibawah 1Ω.

3.2.2 Tahanan Isolasi Transformator Arus (CT) Fasa S

Tabel 3. 2 Tahanan Isolasi Transformator Arus (CT) Fasa S

No	Kriteria Uji	Standart	Hasil (2020)	Hasil (2021)
1	tahanan isolasi (P1-Ground)	standart VDE (catalogue 228/4) 1 kV=1Mohm	16.700 MΩ	139.000 MΩ
2	tahanan pentanahan	R < 1 ohm	0,1 Ω	0,25 Ω

Berdasarkan VDE 288/4 maupun SPLN 42-2:1992 minimum besarnya tahanan isolasi pada suhu operasi dihitung “1 kilo Volt = 1 KΩ (KiloOhm). Mengacu pada standar IEEE std 43-2000 didapatkan nilai tahanan isolasi minimal sebesar 170+1 MΩ. Pada tahap pengujian isolasi menggunakan tegangan uji 5 kV dengan hasil uji isolasi pada tahun 2020 sebesar 16700 MΩ dan tahun 2021 sebesar 139000 MΩ. Berdasarkan hasil tersebut maka dapat diketahui bahwa transformator arus fasa S dengan nomor seri 1101316 dalam keadaan baik dengan nilai tahanan pentanahan dibawah 1Ω.

3.2.3 Tahanan Isolasi Transformator Arus (CT) Fasa T

Tabel 3. 3 Tahanan Isolasi Transformator Arus (CT) Fasa T

No	Kriteria Uji	Standart	Hasil (2020)	Hasil (2021)
1	tahanan isolasi (P1-Ground)	standart VDE (catalogue 228/4) 1 kV=1Mohm	13.100 MΩ	114.000 MΩ
2	tahanan pentanahan	R < 1 ohm	0,1 Ω	0,29 Ω

Berdasarkan VDE 288/4 maupun SPLN 42-2:1992 minimum besarnya tahanan isolasi pada suhu operasi dihitung “1 kilo Volt = 1 KΩ (KiloOhm). Mengacu pada standar IEEE std 43-2000 didapatkan nilai tahanan isolasi minimal sebesar 170+1 MΩ. Pada tahap pengujian isolasi menggunakan tegangan uji 5 kV dengan hasil uji isolasi pada tahun 2020 sebesar 13100 MΩ dan tahun 2021 sebesar 114000 MΩ. Berdasarkan hasil tersebut maka dapat diketahui bahwa transformator arus fasa T dengan nomor seri 1101310 dalam keadaan baik dengan nilai tahanan pentanahan

dibawah 1Ω.

3.3 Perhitungan Tangen Delta

3.3.1 Perhitungan tangen delta CT Fasa R

1. Perhitungan tangen delta overall (GST-GND) Tahun 2020

$$P = 0,1398 \text{ Watt} \quad C = 1.144,89 \text{ pF}$$

$$V = 10000 \text{ V} \quad I_r = 3,595 \text{ mA} = 0,00595 \text{ A}$$

Berdasarkan persamaan 2-2 sebagai berikut :

$$\sin \delta = 0,00388873435326843$$

$$\delta = \sin^{-1} 0,00388873435326843 = 0,222808627653699^\circ$$

mencari besaran arus capacitive (Ic) dapat dihitung dengan persamaan 2-3 :

$$I_c = 0,00359497281764 \text{ A} = 3,59497281764 \text{ mA}$$

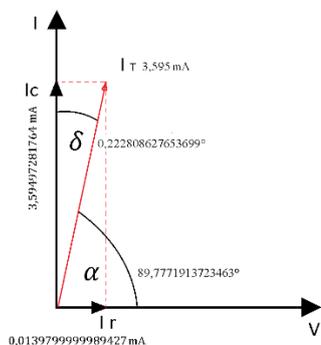
mencari besaran arus resistive (Ir) dapat dihitung dengan persamaan 2-4 :

$$I_r = 0,013979999989427 \text{ mA}$$

tangen delta dapat dihitung menggunakan persamaan 2-5 :

$$\delta = 0,38887637565238 \%$$

Data hasil dari perhitungan tangen delta di fasa R memiliki nilai sama dengan nilai yang didapatkan dari data pengujian sebesar 0,38887637565238 %. dengan demikian kinerja dari isolasi transformator arus pada fasa R masih layak beroperasi dikarenakan masuk kategori standar yaitu <1%. Dengan diketahuinya nilai tangen delta, arus kapasitif (Ic) dan arus resistif (Ir). Maka dapat digambarkan diagram fasornya seperti Gambar 3-1 :



Gambar 3. 1 Diagram Fasor Tan Delta CT Fasa R Overall 2020

Ditinjau dari diagram fasor didapatkan sudut Tan Delta yakni sebesar 0,222808627653699°.

2. Perhitungan tangen delta overall (GST-GND) Tahun 2021

$$P = 0,1289 \text{ Watt} \quad C = 1162,03 \text{ pF}$$

$$V = 10000 \text{ V} \quad I_r = 3,648 \text{ mA} = 0,003648 \text{ A}$$

Berdasarkan persamaan 2-2 sebagai berikut :

$$\sin \delta = 0,00353344298245614$$

$$\delta = \sin^{-1} 0,00353344298245614 = 0,202451791322181^\circ$$

mencari besaran arus capacitive (Ic) dapat dihitung dengan persamaan 2-3 :

$$I_c = 0,0036479 \text{ A} = 3.64797722689 \text{ mA}$$

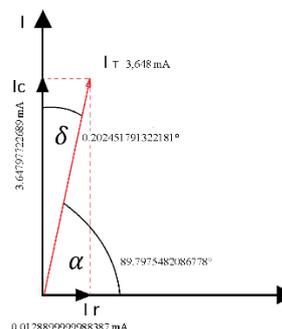
mencari besaran arus resistive (Ir) dapat dihitung dengan persamaan 2-4 :

$$I_r = 0.0128899999988387 \text{ mA}$$

tangen delta dapat dihitung menggunakan persamaan 2-5 :

$$\delta = 0.353346504024964 \%$$

Data hasil dari perhitungan tangen delta di fasa R memiliki nilai sama dengan nilai yang didapatkan dari data pengujian sebesar 0.353346504024964%. dengan demikian kinerja dari isolasi transformator arus pada fasa R masih layak beroperasi dikarenakan masuk kategori standar yaitu <1%. Dengan diketahuinya nilai tangen delta, arus kapasitif (Ic) dan arus resistif (Ir). Maka dapat digambarkan diagram fasornya seperti Gambar 3-2 :



Gambar 3. 2 Diagram Fasor Tan Delta CT Fasa R Overall 2021

Ditinjau dari diagram fasor didapatkan sudut Tan Delta yakni sebesar 89.7975482086778°.

3. Perhitungan tangen delta C1 (UST-R)

$$P = 0,0742 \text{ Watt} \quad C = 854,08 \text{ pF}$$

$$V = 10000 \text{ V} \quad I_r = 2,683 \text{ mA} = 0,002683 \text{ A}$$

Berdasarkan persamaan 2-2 sebagai berikut :

$$\sin \delta = 0,00276556093924711$$

$$\delta = \sin^{-1} 0,00276556093924711 = 0,158455171791703^\circ$$

mencari besaran arus capacitive (Ic) dapat dihitung dengan persamaan 2-3 :

$$I_c = 0,00268298 \text{ A} = 2.6829897397493 \text{ mA}$$

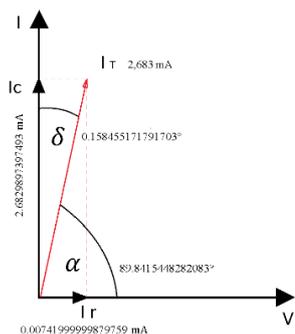
mencari besaran arus resistive (Ir) dapat dihitung dengan persamaan 2-4 :

$$I_r = 0.00741999999879759 \text{ mA}$$

tangen delta dapat dihitung menggunakan persamaan 2-5 :

$$\delta = 0.276557151481724 \%$$

Data hasil dari perhitungan tangen delta di fasa R memiliki nilai sama dengan nilai yang didapatkan dari data pengujian sebesar 0.276557151481724%. dengan demikian kinerja dari isolasi transformator arus pada fasa R masih layak beroperasi dikarenakan masuk kategori standar yaitu <1%. Maka dapat digambarkan diagram fasornya seperti Gambar 3-3 :



Gambar 3. 3 Diagram Fasor Tan Delta CT Fasa R C1

Ditinjau dari diagram fasor didapatkan sudut Tan Delta yakni sebesar 89.8415448282083°.

3.3.2 Perhitungan tangen delta CT Fasa S

1. Perhitungan tangen delta overall (GST-GND) Tahun 2020

$P = 0,1503 \text{ Watt}$ $C = 1.143,93 \text{ pF}$
 $V = 10000 \text{ V}$ $I_T = 3,586 \text{ mA} = 0,003586 \text{ A}$

Berdasarkan persamaan 2-2 sebagai berikut :

$\text{Sin } \delta = 0,004191299498047960000$

$\delta = \text{sin}^{-1} 0,004191299498047960000 = 0,240144475019606^\circ$

mencari besaran arus capacitive (Ic) dapat dihitung dengan persamaan 2-3 :

$I_c = 0,0035859 \text{ A} = 3,58596850224594 \text{ mA}$

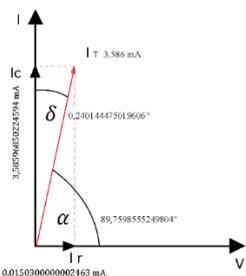
mencari besaran arus resistive (Ir) dapat dihitung dengan persamaan 2-4 :

$I_r = 0,0150300000002463 \text{ mA}$

tangen delta dapat dihitung menggunakan persamaan 2-5 :

$\delta = 0,419133631286298 \%$

Data hasil dari perhitungan tangen delta di fasa S memiliki nilai sama dengan nilai yang didapatkan dari data pengujian sebesar 0,419133631286298 %. dengan demikian kinerja dari isolasi transformator arus pada fasa R masih layak beroperasi dikarenakan masuk kategori standar yaitu <1%. Dengan diketahuinya nilai tangen delta, arus kapasitif (Ic) dan arus resistif (Ir). Maka dapat digambarkan diagram fasornya seperti Gambar 3-4 :



Gambar 3. 4 Diagram Fasor Tan Delta CT Fasa S Overall 2020

Ditinjau dari diagram fasor didapatkan sudut Tan Delta yakni sebesar 89,7598555249804°.

2. Perhitungan tangen delta overall (GST-GND) Tahun 2021

$P = 0,1437 \text{ Watt}$ $C = 1.163,27 \text{ pF}$
 $V = 10000 \text{ V}$ $I_T = 3,652 \text{ mA} = 0,003652 \text{ A}$

Berdasarkan persamaan 2-2 sebagai berikut :

$\text{Sin } \delta = 0.00393483023001095$

$\delta = \text{sin}^{-1} 0.00393483023001095 = 0.22544974705157^\circ$

mencari besaran arus capacitive (Ic) dapat dihitung dengan persamaan 2-3 :

$I_c = 0,0036519 \text{ A} = 3.6519717256957 \text{ mA}$

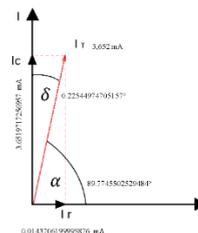
mencari besaran arus resistive (Ir) dapat dihitung dengan persamaan 2-4 :

$I_r = 0.0143706199995876 \text{ mA}$

tangen delta dapat dihitung menggunakan persamaan 2-5 :

$\delta = 0.393503046545355 \%$

Data hasil dari perhitungan tangen delta di fasa S memiliki nilai sama dengan nilai yang didapatkan dari data pengujian sebesar 0.393503046545355%. dengan demikian kinerja dari isolasi transformator arus pada fasa R masih layak beroperasi dikarenakan masuk kategori standar yaitu <1%. Dengan diketahuinya nilai tangen delta, arus kapasitif (Ic) dan arus resistif (Ir). Maka dapat digambarkan diagram fasornya seperti Gambar 3-5 :



Gambar 3. 5 Diagram Fasor Tan Delta CT Fasa S Overall 2021

Ditinjau dari diagram fasor didapatkan sudut Tan Delta yakni sebesar 89.7745502529484°.

3. Perhitungan tangen delta C1 (UST-R)

$P = 0,0738 \text{ Watt}$ $C = 852,20 \text{ pF}$
 $V = 10000 \text{ V}$ $I_T = 2,675 \text{ mA} = 0,002675 \text{ A}$

Berdasarkan persamaan 2-2 sebagai berikut :

$\text{Sin } \delta = 0.0027588785046729$

$\delta = \text{sin}^{-1} 0.0027588785046729 = 0.158072295033077^\circ$

mencari besaran arus capacitive (Ic) dapat dihitung dengan persamaan 2-3 :

$I_c = 0,00267498 \text{ A} = 2.67498981971895 \text{ mA}$

mencari besaran arus resistive (Ir) dapat dihitung dengan persamaan 2-4 :

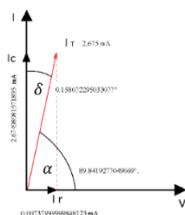
$I_r = 0.0143706199995876 \text{ mA}$

tangen delta dapat dihitung menggunakan persamaan 2-5 :

$\delta = 0.275888900364361\%$

Data hasil dari perhitungan tangen delta di fasa S memiliki nilai

sama dengan nilai yang didapatkan dari data pengujian sebesar 0.275888900364361%. dengan demikian kinerja dari isolasi transformator arus pada fasa R masih layak beroperasi dikarenakan masuk kategori standar yaitu <1%. Maka dapat digambarkan diagram fasornya seperti Gambar 3-6 :



Gambar 3. 6 Diagram Fasor Tan Delta CT Fasa S C1

Ditinjau dari diagram fasor didapatkan sudut Tan Delta yakni sebesar 89.8419277049669°.

3.3.3 Perhitungan tangen delta CT Fasa T

1. Perhitungan tangen delta overall (GST-GND) Tahun 2020

$$P = 0,1425 \text{ Watt} \quad C = 1.114,33 \text{ pF}$$

$$V = 10000 \text{ V} \quad I_T = 3,496 \text{ mA} = 0,003496 \text{ A}$$

Berdasarkan persamaan 2-2 sebagai berikut :

$$\sin \delta = 0,00407608695652174$$

$$\delta = \sin^{-1} 0,00407608695652174 = 0,233543226240131^\circ$$

mencari besaran arus capacitive (Ic) dapat dihitung dengan persamaan 2-3 :

$$I_c = 0,00349579 \text{ A} = 3,4959709577598 \text{ mA}$$

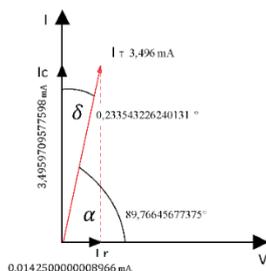
mencari besaran arus resistive (Ir) dapat dihitung dengan persamaan 2-4 :

$$I_r = 0,0142500000008966 \text{ mA}$$

tangen delta dapat dihitung menggunakan persamaan 2-5 :

$$\delta = 0,40761208182427 \%$$

Data hasil dari perhitungan tangen delta di fasa T memiliki nilai sama dengan nilai yang didapatkan dari data pengujian sebesar 0,40761208182427 %. dengan demikian kinerja dari isolasi transformator arus pada fasa R masih layak beroperasi dikarenakan masuk kategori standar yaitu <1%. Maka dapat digambarkan diagram fasornya seperti Gambar 3-7 :



Gambar 3. 7 Diagram Fasor Tan Delta CT Fasa T Overall 2020

Ditinjau dari diagram fasor didapatkan sudut Tan Delta yakni sebesar 89,76645677375°.

2. Perhitungan tangen delta overall (GST-GND) Tahun 2021

$$P = 0,1281 \text{ Watt} \quad C = 1.114,25 \text{ pF}$$

$$V = 10000 \text{ V} \quad I_T = 3,588 \text{ mA} = 0,003588 \text{ A}$$

Berdasarkan persamaan 2-2 sebagai berikut :

$$\sin \delta = 0.00357023411371237$$

$$\delta = \sin^{-1} 0.00357023411371237 = 0.204559781163569^\circ$$

mencari besaran arus capacitive (Ic) dapat dihitung dengan persamaan 2-3 :

$$I_c = 0,003587977 \text{ A} = 3.58797713257763 \text{ mA}$$

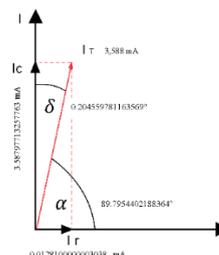
mencari besaran arus resistive (Ir) dapat dihitung dengan persamaan 2-4 :

$$I_r = 0.0128100000003038 \text{ mA}$$

tangen delta dapat dihitung menggunakan persamaan 2-5 :

$$\delta = 0.357025686813699 \%$$

Data hasil dari perhitungan tangen delta di fasa T memiliki nilai sama dengan nilai yang didapatkan dari data pengujian sebesar 0.357025686813699%. dengan demikian kinerja dari isolasi transformator arus pada fasa R masih layak beroperasi dikarenakan masuk kategori standar yaitu <1%. Maka dapat digambarkan diagram fasornya seperti Gambar 3-8 :



Gambar 3. 8 Diagram Fasor Tan Delta CT Fasa T Overall 2021

Ditinjau dari diagram fasor didapatkan sudut Tan Delta yakni sebesar 89.7954402188364°.

3. Perhitungan tangen delta C1 (UST-R)

$$P = 0,0839 \text{ Watt} \quad C = 835,57 \text{ pF}$$

$$V = 10000 \text{ V} \quad I_T = 2,624 \text{ mA} = 0,002624 \text{ A}$$

Berdasarkan persamaan 2-2 sebagai berikut :

$$\sin \delta = 0.00319740853658537$$

$$\delta = \sin^{-1} 0.00319740853658537 = 0.183198326678627^\circ$$

mencari besaran arus capacitive (Ic) dapat dihitung dengan persamaan 2-3 :

$$I_c = 0,002633986 \text{ A} = 2.62398658683691 \text{ mA}$$

mencari besaran arus resistive (Ir) dapat dihitung dengan persamaan 2-4 :

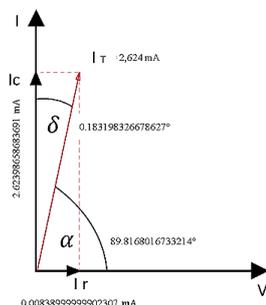
$$I_r = 0.00838999999902307 \text{ mA}$$

tangen delta dapat dihitung menggunakan persamaan 2-5 :

$$\delta = 0.319742488056573 \%$$

Data hasil dari perhitungan tangen delta di fasa T memiliki nilai

sama dengan nilai yang didapatkan dari data pengujian sebesar 0.319742488056573%. dengan demikian kinerja dari isolasi transformator arus pada fasa R masih layak beroperasi dikarenakan masuk kategori standar yaitu <1%. Maka dapat digambarkan diagram fasornya seperti Gambar 3-9 :



Gambar 3. 9 Diagram Fasor Tan Delta CT Fasa T C1

Ditinjau dari diagram fasor didapatkan sudut Tan Delta yakni sebesar 89.8168016733214°.

3.4 Analisa Hasil Uji Tahanan Isolasi

3.4.1 Hasil Uji Tahanan Isolasi

Tabel 3. 4 Hasil Uji Tahanan Isolasi

Hasil Uji Tahanan Isolasi					
No	Fasa	Standar	Hasil		Selisih
			2020	2021	
1	R	standar VDE (catalogue 228/4) 1 kV=1Mohm	21500 Ω	44000 Ω	22500 Ω
2	S		16700 Ω	139000 Ω	122300 Ω
3	T		13100 Ω	114000 Ω	100900 Ω

Pada CT fasa R terjadi kenaikan sebesar 22.500 MΩ dari 21.500 MΩ ke angka 44.000 MΩ. Sedangkan pada CT fasa S terjadi kenaikan sebesar 122.300 MΩ dari periode sebelumnya yakni 16.700 MΩ ke angka 139.000 MΩ. Kenaikan hasil uji juga terjadi pada fasa T sebesar 100.900 MΩ dengan 13.100 MΩ pada periode sebelumnya dan 114.000 MΩ pada pengujian yang terbaru. Dari hasil tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa seluruh CT mengalami kenaikan tahanan isolasi.

3.4.2 Hasil Uji Tahanan Pentanahan

Tabel 3. 5 Hasil Uji Tahanan Pentanahan

Hasil Uji Tahanan Pentanahan					
No	Fasa	Standar	Hasil		Selisih
			2020	2021	
1	R	R < 1 Ohm	0,1 Ω	0,29 Ω	0,19 Ω
2	S		0,1 Ω	0,25 Ω	0,15 Ω
3	T		0,1 Ω	0,29 Ω	0,19 Ω

Kenaikan hasil uji juga terjadi pada uji tahanan pentanahan dimana pada fasa R mengalami kenaikan sebesar 0,19 Ω dengan nilai 0,1 Ω pada tahun 2020 dan 0,29 Ω pada tahun 2021. Pada CT fasa S juga terjadi kenaikan yakni sebesar 0,15 Ω dengan nilai 0,1 pada tahun 2020 dan 0,25 Ω pada tahun berikutnya. Kenaikan serupa juga terjadi pada fasa T dengan kenaikan 0,19 Ω dengan rincian 0,1 Ω pada tahun 2020 dan 0,29 Ω pada tahun 2021.

Secara keseluruhan baik tahanan isolasi dan tahanan pentanahan mengalami kenaikan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil uji tahanan isolasi yang mengacu pada standar VDE (catalogue 228/4) 1 kV=1 MΩ dan IEEE 43-2000 tabel 3 dimana nilai minimal tahanan isolasi sebesar kv+1 sehingga (170 + 1) MΩ dapat diambil kesimpulan bahwa semua transformator arus berada dalam kondisi baik. Setiap CT yang diuji mengalami kenaikan nilai tahanan isolasi dan pentanahan dari periode sebelumnya. Dari hasil pengujian maupun hasil perhitungan nilai kesalahan atau perbedaan kedua sumber data sangat kecil sehingga memiliki nilai akurasi yang tinggi. Hasil pengukuran dan perhitungan tahanan isolasi maupun tan delta didapatkan kesimpulan bahwa transformator arus masih layak beroperasi karena memenuhi standar VDE (Catalogue 228/4), IEEE std 43-2000 serta standar yang dipakai PLN dalam buku “pedoman transformator arus” yang menyatakan minimal tahanan isolasi 1kV = 1MΩ serta ANSI C 57.12.90 dan IEEE C57 152-2013 dengan standar maksimum nilai tan delta < 0,5% dan memenuhi standar PLN dengan nilai maksimum tan delta < 1 % sehingga tidak diperlukan investigasi lebih lanjut.

Daftar Pustaka

- [1] IEEE, “IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Electric Machinery IEEE Power and Energy Society,” *Inst. Electr. Electron. Eng. Inc.*, vol. 43, pp. 9–14, 2000.
- [2] IEEE, IEEE C57.12.90-1999 Standard Test Code for Power, and Regulating Transformers, vol. 1999. 1999.
- [3] PT. PLN (Persero), “Buku Pemeliharaan Transformator Arus,” 2014.
- [4] I. 1183-1, “International Standard IEC 60812:2006,” 61010-1 © Iec2001, vol. 2006, p. 13, 2006.
- [5] S. W. Dali, I. Ridzki, R. Duanaputri, and E. R. Maulana, “Analisis Pengaruh Penambahan Gardu Induk Terhadap Aliran Daya dan Profil Tegangan,” *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 9, no. 2, pp. 58–63, 2022,
- [6] P. S. Harijanto, E. Raganingrum, and B. E. Prasetyo, “UJI PERFORMA PENGAMAN GANGGUAN PETIR PADA SALURAN TRANSMISI 70 KV GI KEBONAGUNG – GI POLEHAN MENGGUNAKAN ATP DRAW,” *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 8, no. 2, pp. 66–71, Jun. 2021,