

Pengujian Kelayakan Penggantian *Current Transformer* di Gardu Induk

Rachmat Sutjipto^{*a)}, Putri Pebrianti^{a)}, Harrij Mukti K^{a)}, Rohmanita Duanaputri^{a)}

(Received 14 Oktober 2025 || Revised 6 Februari 2026 || Published 28 Februari 2026)

Abstract: *Current Transformer (CT) is important in the electrical power system and functions to convert high currents in the network into lower currents in the measurement and protection process. At PT PLN (Persero) UIT JBM UPT Gardu Induk Ponorogo, an oil leakage problem was found in the 70 kV (1000/5A, 75VA) S-phase bay coupling CT caused by several factors including: cracks in the tank and damage to the gasket that has lost its elasticity due to age. From the above information, the purpose of this study is to assess the condition of the CT before and after replacement and provide recommendations based on applicable standards. To determine the new CT, the old CT specifications can be used as a reference so that it can improve the operational stability of the new CT both for the measurement process and for protection. From the results of the analysis before the replacement, it shows that the insulation resistance value in 2020 to 2022 has decreased by 52% and the results of the CT thermovision measurement show that the difference in conductor temperature and clamp temperature (Δ) is 36.03°C and does not meet the standards of PLN-SK/DIR/520/2014(0°C-10°C). After the replacement of CT (1000/5A, 40VA) showed an increase in insulation resistance from 67,000 M Ω (2022) to 152,000 M Ω (2023) and the measurement results with thermovision showed a change in ΔT from 36.03°C (2022) to 9.6°C (2023) so that it meets existing standards. These results indicate that CT replacement is a necessary action to maintain CT reliability in the electrical system at PT PLN (Persero) UIT JBM UPT Gardu Induk Ponorogo.*

Keywords: *Current Transformer, Oil Leakage, Insulation Resistance Testing, Thermovision, System Reliability, Equipment Upgrade.*

1. Pendahuluan

Gardu Induk merupakan pusat distribusi dan pengaturan arus listrik yang berasal dari pembangkit listrik atau gardu distribusi besar dan mendistribusikannya ke jaringan listrik yang lebih kecil, seperti gardu distribusi primer, sekunder, rumah atau bangunan konsumen. Dalam operasinya, Gardu Induk menggunakan berbagai peralatan seperti transformator daya, pemutus sirkuit (CB), dan peralatan bantu pengukuran seperti transformator arus (CT) [1]. Fungsi dari CT adalah untuk mengubah nilai arus yang besar menjadi nilai arus yang lebih kecil untuk keperluan pengukuran dan proteksi [2]. Kualitas dan kehandalan CT penting untuk menjaga sistem tenaga listrik dapat beroperasi dengan baik. Namun, seiring berjalannya waktu, CT dapat mengalami berbagai masalah dan gangguan. Salah satu masalah yang terjadi pada CT di PT PLN (Persero) UIT JBM UPT Gardu Induk Ponorogo adalah akibat kebocoran minyak isolasi pada CT (merk ABB) di bay kopel 70 kV fasa S. Kebocoran minyak isolasi tersebut berakibat pada penurunan kualitas tahanan isolasi pada CT sehingga CT tersebut mengalami kenaikan suhu yang tidak sesuai dengan standar PLN-SK/DIR/520/2014.

Kondisi tersebut di atas timbul karena CT tersebut mengalami korosi pada bagian tangki sisi sekunder sehingga minyak isolasi dapat bocor dikarenakan adanya keretakan pada bagian tangki. Selain itu paking atau gasket dari CT tersebut juga mengalami keretakan dan kehilangan elastisitas karena factor usia sehingga mengurangi kemampuannya untuk menyegel dengan rapat. Dari keterangan tersebut diketahui bahwa faktor usia menjadi salah satu pemicu dari masalah tersebut dikarenakan CT tersebut sudah beroperasi sejak tahun 1995.

Adanya kebocoran minyak isolasi tersebut di atas dapat menyebabkan beberapa masalah serius antara lain adanya penurunan performa saat pengukuran arus, adanya potensi kerusakan perangkat dan adanya risiko kebakaran. Selain itu, digunakan juga hasil pengukuran thermovisi FLIR (Forward-Looking Infrared) untuk mengevaluasi kondisi CT. Dari hasil pengukuran thermovisi tersebut maka akan didapatkan gambaran mengenai kondisi CT tersebut, sehingga bisa ditentukan apakah perlu diperlukan perbaikan saja atau diperlukan proses penggantian

sesuai dengan standar buku pedoman trafo arus 0520-2.K/DIR/2014. Hal ini dikarenakan dari data suhu yang terbaca dapat diketahui kondisi peralatan tersebut apakah dalam keadaan normal atau tidak sebagai rekomendasi perbaikan [3].

Dari keterangan di atas dapat diketahui bahwa ada beberapa faktor yang dapat menyebabkan kebocoran minyak isolasi antara lain : proses pemeliharaan yang tidak tepat, kondisi lingkungan, usia dan faktor-faktor lain yang mungkin berperan dalam masalah ini [4]. Untuk kebutuhan tersebut maka diperlukan solusi dan tindakan yang tepat untuk mengatasi masalah ini. Solusinya adalah melaksanakan penggantian CT yang mengalami kebocoran minyak isolasi dengan perangkat yang baru dan melaksanakan pemeliharaan yang rutin, serta proses pengawasan yang ketat dalam menjaga kehandalan sistem tenaga listrik.

Penggantian CT bay kopel 70 kV fasa S dilakukan sesuai dengan standar yang berlaku di PT PLN (Persero) UIT JBM UPT Gardu Induk Ponorogo. Spesifikasi CT lama dapat digunakan sebagai acuan dalam pemilihan CT baru dan setelah penggantian dilaksanakan maka perlu juga untuk melakukan pengujian tahanan isolasi, pentanahan, tangen delta dan thermovisi pada CT yang baru untuk memastikan bahwa CT telah memenuhi standar keamanan dan kualitas sesuai standart yang berlaku di PT PLN (Persero) UIT JBM UPT Gardu Induk Ponorogo [11]-[15].

2. Metodologi

2.1 *Current Transformer (CT)*

CT merupakan peralatan yang sangat penting pada gardu induk, dimana perangkat ini digunakan untuk mengubah nilai arus yang besar menjadi nilai arus yang lebih kecil untuk keperluan pengukuran dan proteksi sehingga cukup menggunakan alat ukur & relay yang lebih kecil rangenya daripada tidak menggunakan CT. CT harus dalam keadaan baik agar dapat melakukan transformasi arus secara akurat dan teliti sebab jika terjadi kesalahan transformasi arus dapat menyebabkan kesalahan ukur dan kegagalan sistem proteksi. Atas dasar tersebut maka diperlukan pengujian berkala untuk mengetahui kondisi transformator arus yang digunakan pada kegiatan operasional gardu induk[5]

2.2 Standar Pengujian CT

*Korespondensi: rachmat.sutjipto@polinema.ac.id

a) Prodi Sistem Kelistrikan, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Malang, Indonesia

Standar ini digunakan sebagai acuan bagi pelaksana, untuk mengetahui spesifikasi alat uji yang akan dipakai dalam melaksanakan tugas komisioning maupun pengujian peralatan[6]. Standar pengujian untuk CT adalah sebagai berikut:

Pengujian Tahanan Isolasi

Pengujian ini dilakukan untuk memastikan kualitas isolasi dari CT dan pengujiannya menggunakan alat insulation tester yang menggunakan injeksi tegangan sebesar 5 kV untuk sisi primer dan 500V untuk sisi sekunder. Standar yang digunakan mengacu pada IEC 60044-1 dan VDE (Catalogue 228/4), yang menetapkan nilai maksimum resistansi isolasi 1000 Ω untuk tegangan kerja sebesar 1 V. Berdasarkan standar yang ada di buku PLN-SK/DIR/520/2014, interpretasi dari uji tahanan isolasi dapat dilihat di Tabel 2.1:

TABEL 2. 1 STANDAR TAHANAN ISOLASI

Hasil Uji	Keterangan	Rekomendasi
>1MΩm/1kV	Good	Nomal
<1MΩm/1kV	Poor	Lakukan pengujian lebih lanjut

Untuk mendapatkan nilai minimal dari hasil pengujian isolasi dapat dihitung menggunakan Persamaan (2-1):

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

dengan:

- R : Tahanan isolasi (MΩ) 1000 : Konstanta
- U : Tegangan kerja (kV) 2.5 : Faktor Keamanan
- Q : Tegangan uji (kV)

Pengujian Tahanan Pentanahan

Berdasarkan standar Buku PLN-SK/DIR/520/2014 interpretasi dari hasil uji tahanan pentanahan dapat dilihat di Tabel 2.2:

TABEL 2. 2 STANDAR TAHANAN PENTANAHAN

Hasil Uji	Keterangan	Rekomendasi
< 1 Ohm	Good	Normal
>1 Ohm	Poor	Periksa kondisi Grounding

a) Pengujian Tangen Delta

Pengujian tangen delta dilakukan untuk mengukur nilai faktor disipasi atau sudut tan δ pada isolasi CT. Berdasarkan standar ANSI C 57.12.90 interpretasi hasil uji tangen delta dapat dilihat di Tabel 2.3.

TABEL 2. 3 STANDAR TANGEN DELTA

Nilai Tan Delta	Kategori
<0.5%	Bagus
0.5% > x <1%	Cukup
0.7% > x <1%	Investigasi
>1%	Buruk

b) Thermovisi

Pengujian thermovisi dilakukan dengan menggunakan kamera termal untuk memeriksa suhu pada isolator atau housing dari CT. Pendekatan kriteria ΔT dapat digunakan untuk membandingkan suhu klem dan suhu konduktor. Berdasarkan standar Buku PLN-SK/DIR/520/2014 interpretasi hasil uji thermovisi dapat dilihat di Tabel 2.4.

TABEL 2. 4 STANDAR PENGUKURAN THERMOVISI

Δ T akhir	Rekomendasi
<10°C	Kondisi normal pengukuran berikut dilakukan sesuai jadwal
10°C-25°C	Perlu dilakukan pengukuran dua minggu lagi

25°C-40°C	Perlu dilakukan pengukuran satu minggu lagi dan direncanakan perbaikan segera dalam periode maksimal dua minggu lagi
40°C-70°C	Perlu dilakukan pengukuran periode harian dan direncanakan perbaikan segera dalam periode maksimal tiga hari
>70°C	Kondisi darurat

Standar pengukuran thermovisi untuk membandingkan suhu klem dan suhu konduktor menggunakan persamaan pendekatan kriteria delta – t (ΔT) menggunakan Persamaan (2-2):

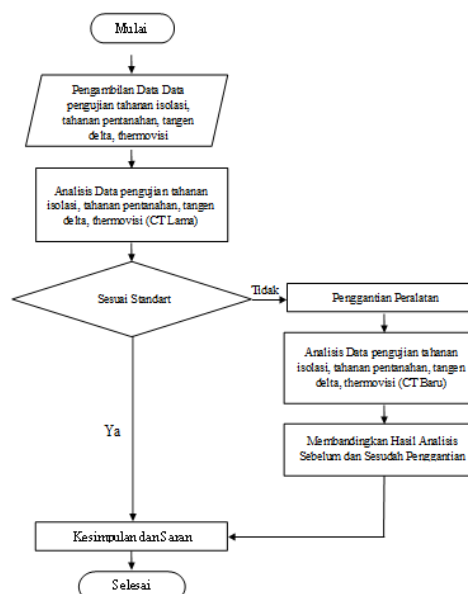
$$\Delta T = \left(\frac{I \text{ Maks}}{I \text{ Saat Thermovisi}} \right)^2 \cdot (T \text{ Klem} - T \text{ Konduktor}) \dots\dots\dots(2-2)$$

Dimana

- ΔT : Selisih suhu klem terhadap konduktor
- I Maks : Arus maksimal yang pernah dicapai
- I Saat Thermovisi : Arus saat thermovisi
- T Klem : Suhu klem
- T Konduktor : Suhu Konduktor

2.3 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini objek penelitiannya adalah CT bay kopel 70 kV fasa S PT. PLN (Persero) UIT JBM UPT Gardu Induk Ponorogo dengan pengujian yang dijadikan acuan yaitu uji tahanan isolasi, pentanahan, tan delta, dan thermovisi. Berikut adalah proses pada penelitian ini seperti pada Gambar 2.1.



GAMBAR 2.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Kondisi CT Sebelum Penggantian

Gambar 3.1 menunjukkan kondisi CT sebelum dilaksanakan penggantian di PT PLN (Persero) UIT JBM UPT Gardu Induk Ponorogo, CT bay kopel 70 kV fase S yang sedang mengalami kebocoran minyak isolasi yang berakibat pada penurunan kualitas tahanan isolasi serta adanya kenaikan suhu. Masalah ini disebabkan oleh korosi pada tangki sisi sekunder dan keretakan pada paking atau gasket, yang dapat mengurangi kemampuan segel dan

memungkinkan timbulnya arus bocor.



GAMBAR 3.1 KONDISI CT SEBELUM PENGGANTIAN

3.2 Hasil Pengujian CT Fasa S Sebelum Dilaksanakan Penggantian

Berikut hasil pengujian CT fasa S sebelum dilaksanakan penggantian.

a. Kelas Ketelitian CT

Kelas ketelitian CT merupakan batas kesalahan yang ada dalam operasional CT. Tabel 3.1 menunjukkan kelas ketelitian CT sebelum penggantian.

TABEL 3.1 KELAS KETELITIAN CT SEBELUM PENGGANTIAN

Kelas Ketelitian	Fungsi
1.0	Metering
SP10	Proteksi

Berdasarkan Tabel 3.1, CT memiliki kelas ketelitian metering 1.0, yang berarti akurasi ±1% dari arus primer nominal. Misalnya, untuk CT dengan rasio 1000/5 A dan beban 200 A (20% In), kesalahan maksimum rasio arus adalah ±0,35% dan pergeseran fase maksimum ±15/60. Untuk kebutuhan proteksi, CT memiliki kelas ketelitian 5P10, dengan akurasi ±5% hingga 10 kali arus nominal. Angka 10 pada 5P10 menunjukkan Accuracy Limit Factor (ALF), yang berarti CT dapat mempertahankan akurasi proteksi hingga 10.000 A tanpa adanya saturasi.

b. Hasil Pengujian Tahanan Isolasi dan Tahanan Pentanahan CT Fasa S Sebelum Penggantian

Pengukuran tahanan isolasi dilakukan dengan kondisi tidak berbeban dan tidak terhubung dengan grid atau sumber tegangan. Pengujian dilakukan pada tegangan kerja dan uji yang sama, dengan nilai minimum tahanan isolasi dihitung menggunakan Persamaan (2-1) sebagai berikut:

$$R = \frac{(1000 \times U) \times U \times 2.5}{Q} = \frac{(1000 \times 70) \times 70 \times 2.5}{500} = 24.500 \text{ M}\Omega$$

Jika berdasarkan VDE (Catalogue) 288/4 besarnya tahanan isolasi minimum pada suhu operasi dihitung 1 kV=1MΩ. Maka dapat dinyatakan dengan:

CT 70 kV : 70.000 V
 Tahanan isolasi minimum : 1000 x 70.000= 70MΩ

Hasil pengujian tahanan isolasi CT fasa S sebelum dilaksanakan penggantian dapat dilihat di Tabel 3.2.

TABEL 3. 1 TAHANAN ISOLASI CT FASA S SEBELUM PENGGANTIAN

Hasil Pengujian CT Fasa S Sebelum Penggantian						
No	Jenis Pengujian	Stan dar	Tahun 2020	Ket	Tahun 2022	Ket
Tahanan Isolasi						
1.	P1 – Gnd	Stan dar	142.000 MΩ	Nor mal	67.000 MΩ	TTid ak
2.	1S1- 2S1	VDE (catal ogue	-		1000 MΩ	Nor mal
3.	1S1- Gnd	228/ 4)			1000 MΩ	

		1				
		kV=1				
		MΩ				
3.	Tahanan Pentanahan	SKDIR 0520 < 1 Ω	0.2 Ω	Nor mal	0.2 Ω	Nor mal

Berdasarkan Tabel 3.2, pada tahun 2020 adalah sebesar 142.000 MΩ dan) menurun menjadi 67.000 MΩ pada tahun 2022. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tahanan isolasi pada CT fasa S mengalami penurunan tahanan isolasi sebesar 52%. Penurunan ini mengindikasikan adanya kondisi isolasi yang tidak normal, sehingga dapat meningkatkan risiko kebocoran arus dan short-circuit.[7] Tapi besarnya nilai tahanan pentanahan CT fasa S sebesar 0,2 Ω dan masih dalam batas yang baik sesuai standar (Buku PLN-SK/DIR/520/2014: R < 1Ω).

a. Hasil Pengujian Tahanan Delta CT Fasa S Sebelum Penggantian

Tabel 3.3 berikut merupakan hasil pengujian tan delta pada CT Fasa S sebelum dilakukan penggantian.

TABEL 3.3 DATA HASIL PENGUJIAN CT FASA S SEBELUM PENGGANTIAN

Pengujian	Tahun 2020	Tahun 2022
Dissipasi Faktor (%)	0,11	0,13
Arus (mA)	3,24	2,514
Dissipasi Daya (W)	0,053	0,0483
Kapasitansi (pF)	843,89	801,33
Tegangan Uji (Kv)	10	10

Berdasarkan Tabel 3.3 di atas hasil pengujian tahanan delta pada tahun 2020 dan 2022 menunjukkan nilai di bawah 1%, yaitu dengan dissipasi faktor sebesar 0,11% pada tahun 2020 dan sedikit meningkat menjadi 0,13% pada tahun 2022. Nilai ini dianggap normal menurut (standar ANSI C 57.12.90: <1%).

Sedangkan besarnya pengukuran arusnya menunjukkan penurunan dari 3,24 mA pada tahun 2020 dan menjadi 2,514 mA pada tahun 2022, dan besarnya dissipasi daya menurun dari 0,053 W pada tahun 2020 dan menjadi 0,0483 W pada tahun 2022. Jika pada CT terjadi penurunan nilai tahanan delta maka dapat mengindikasikan adanya potensi kerusakan isolasi, yang berpotensi mengganggu sistem tenaga listrik dan membahayakan keselamatan [8].

b. Hasil Uji Thermovisi Flir pada CT Fasa S Sebelum Penggantian

Dari Gambar 3.3. diketahui bahwa kondisi CT dapat dikatakan dalam kondisi baik jika hasil perhitungan (ΔT) dari selisih suhu konduktor dan suhu klem memenuhi standar (Buku PLN-SK/DIR/520/2014: 0°C-10°C). Tabel 3.4 merupakan hasil thermovisi pada CT Fasa S sebelum dilakukan penggantian. Berdasarkan Tabel 3.4, diketahui bahwa:

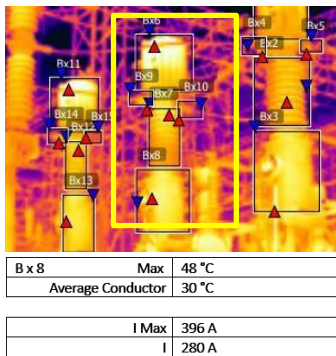
I Maks = 396 A I Saat Thermovisi = 280 A
 T Klem = 48 °C T Konduktor = 30 °C

Maka dapat dihitung dengan persamaan (3-5)

$$\Delta T = \left(\frac{396}{280}\right)^2 \cdot (48^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})$$

$$\Delta T = (2,02) \cdot (18^\circ\text{C}) = 36,03^\circ\text{C}$$

Dari hasil perhitungan ΔT menunjukkan bahwa CT memiliki nilai ΔT sebesar 36,03°C, melebihi standar suhu normal 0°C-10°C menurut Buku Pedoman Trafo Arus No. 05202.K/DIR/2014 yang menyatakan bahwa jika suhu antara 25°C-40°C maka mengindikasikan perlunya adanya perbaikan.



GAMBAR 3.3 HASIL THERMOVISI FLIR PADA CT SEBELUM PENGGANTIAN

TABEL 3.4 HASIL PENGUJIAN THERMOVISI FLIR PADA CT FASA S SEBELUM DIREKOMENDASIKAN PENGGANTIAN

I Maks	I Saat Thermovisi	T Klem	T Konduktor	ΔT	Ket.
396 A	280 A	48°C	30°C	36,03°C	Perbaikan

3.3 Hasil Keseluruhan Pengujian pada CT Fasa S Sebelum Penggantian dan Rekomendasi Penggantian CT Baru

Berdasarkan Tabel 3.5, hasil pengujian menunjukkan bahwa hasil pengujian CT fase S pada tahun 2022 menunjukkan dalam kondisi normal kecuali untuk data tahanan isolasi dan thermovisi. Tahanan isolasi CT menurun signifikan sebesar 52%, dari 142.000 MΩ pada 2020 menjadi 67.000 MΩ pada 2022 dan hal ini menandakan adanya risiko kebocoran arus yang dapat menimbulkan short circuit.

TABEL 3.5 HASIL PENGUJIAN TAHANAN ISOLASI, TANGEN DELTA, THERMOVISI CT SEBELUM PENGGANTIAN DAN REKOMENDASI PENGGANTIAN DENGAN CT BARU

Jenis Pengujian	Standar	Tahun 2020		Tahun 2022		
		Hasil	Ket.	Hasil	Ket.	
TAHANAN ISOLASI						
P1-Ground (MΩ)	VDE	142.000	Normal	67.000		Tidak Normal
1S1-2S1 (MΩ)	(Catalogue			1.000		
1S1-Ground (MΩ)	228/4)	-		1.000		
	1 Kv=1MΩ					
TAHANAN PENTANAHAN						
Tahanan Pentanahan	SK DIR 0520 < 1 Ω	0,2 Ω	Normal	0,2 Ω	Normal	
TANGEN DELTA						
Dissipasi Faktor (%)		0,11	Normal	0,13		Normal
Arus (mA)		3,24		2,514		
Dissipasi Daya (W) PLN-		0,053		0,0483		
Kapasitansi (pF) SK/DIR/520/2014		843,89		801,33		
Tegangan Uji (kW) 4		10		10		
	<1%					
Thermovisi Sebelum Direkomendasikan Penggantian						
Jenis Pengujian	Standar	Tahun 2020				
		Hasil Thermovisi	Ket.			
I Maks		396 A				
I Saat Thermovisi	PLN-	280 A				
T Klem	SK/DIR/520/2014	48°C				Rencana Perbaikan
T Konduktor	4 2014	30°C				
ΔT		36,03°C				

3.4 Analisis Rekomendasi Penggantian CT

Tujuan dari rekomendasi penggantian CT adalah dalam pemilihan CT yang paling sesuai dari beberapa merk yang ada untuk kemudian disesuaikan dengan kebutuhan teknis dan operasional. Selain itu diharapkan dapat memberikan manfaat maksimal dalam hal kinerja, keandalan, dan biaya. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam memilih CT pengganti antara lain rasio CT, beban/daya CT, Kelas Akurasi, dan Frekuensi.

Tabel 3.6 adalah spesifikasi yang digunakan pada CT lama dan dapat digunakan sebagai acuan saat memilih CT baru. Dengan rasionya sama maka dapat mempermudah dalam proses setting sisi sekunder baik untuk keperluan metering maupun proteksi

TABEL 3.6 SPESIFIKASI CT LAMA

Merk	Rasio	Burden	Kelas Akurasi	Frekuensi
ABB	1000/5 A	75 VA	1.0/5P10	50 Hz

Berdasarkan Tabel 3.7 maka direkomendasikan CT 3 sebagai pengganti. Pemilihan tersebut berdasarkan beberapa factor kesamaan rasio yaitu 1000/5 A dan sama-sama di peruntukan untuk metering dan proteksi. CT baru memiliki kelas akurasi 0,2S-FS10-PX, lebih unggul dibandingkan CT lama (1.0- 5P10), sehingga menghasilkan pengukuran yang lebih presisi. Sehingga CT lama merk ABB, tipe IMBE72A2, rasio 1000/5A, kelas akurasi 1.0-5P10, akan digantikan dengan CT baru merk ABB, tipe LB-72.5, rasio 1000/5A, kelas akurasi 0.2S-FS10-PX.

TABEL 3.7 REKOMENDASI CT

Keterangan	CT Rekomendasi		
	CT 1	CT 2	CT 3
Rekomendasi	CT 1	CT 2	CT 3
Merk	Siemens	GE T&D	ABB
Rasio	600/1 A	1200/1 A	1000/5 A
Burden	40 VA	20 VA	40 VA
Kelas Akurasi	0,2/5P10	0,2S/5P20/PX	0,2S/5P20/FS10/PX
Frekuensi	50 Hz	50 Hz	50 Hz

3.5 Hasil Pengujian CT Fasa S Sesudah Penggantian

Berikut uraian hasil pengujian CT fasa S sesudah penggantian.

a. Kelas ketelitian CT

Kelas ketelitian merupakan batas kesalahan yang ada dalam operasional CT. Tabel 3.8 merupakan kelas ketelitian dari CT sesudah dilakukan penggantian.

TABEL 3.8 KELAS KETELITIAN CT SESUDAH PENGGANTIAN

Kelas Ketelitian	Fungsi
0,25	Metering
PX	Proteksi
5P20	Proteksi
FS10	Proteksi

Berdasarkan Tabel 3.8, CT kelas 0.2S dirancang untuk metering dengan akurasi tinggi, bahkan saat arus primer mendekati saturasi. Kelas 0.2S memastikan pengukuran akurat antara 1% - 120% dari arus terukur, dengan kesalahan maksimum ±0.35% pada beban 200 A dan pergeseran fase ±15/60 derajat.

Untuk proteksi, CT kelas PX digunakan dalam sistem tegangan dan arus tinggi, memberikan akurasi yang andal. Kelas 5P menunjukkan kesalahan ±5% dalam kondisi normal dan maksimal, dengan ALF (*Accuracy Limit Factor*) 20, memungkinkan CT mempertahankan akurasi hingga 20 kali arus nominal tanpa saturasi. Faktor keamanan FS10 menunjukkan CT mampu menangani gangguan dengan keamanan hingga 10 kali arus nominal tanpa saturasi.

b. Hasil Pengujian Tahanan Isolasi dan Tahanan Pentanahan CT

Fasa S Sesudah Penggantian

Tabel 3.9 menampilkan hasil pengujian tahanan isolasi dan tahanan pentanahan pada CT fasa S sesudah dilakukan penggantian.

TABEL 3.9 HASIL PENGUJIAN TAHANAN ISOLASI DAN TAHANAN PENTANAHAN CT FASA S SESUDAH PENGGANTIAN

Pengujian	Standar	Hasil	Ket
Tahanan Isolasi (P1-Ground)	VDE (Catalogue 228/4) 1kV=1MΩ	152.000 GΩ	Normal
Tahanan Pentanahan	SK DIR 0520 <1Ω	0,1 Ω	Normal

Berdasarkan Tabel 3.9 diketahui bahwa besarnya tahanan isolasi dari CT di fasa S sesudah penggantian adalah 152.000 MΩ. Berdasarkan VDE (Catalogue 288/4) 1kV=1 MΩ tahanan isolasi dapat dikatakan normal dan tahanan isolasi tersebut juga mengalami kenaikan sebesar 85 MΩ setelah penggantian. Sedangkan untuk tahanan pentanahan dari hasil pengujian bernilai 0,1 Ω sehingga tahanan pentanahan pada CT fasa S dapat dikatakan dalam keadaan normal berdasarkan standar (Buku PLN-SK/DIR/520/2014: R < 1Ω).

c. Hasil Pengujian Tangen Delta CT Fasa S Sesudah Penggantian

Tabel 3.10 menampilkan hasil pengujian tangen delta pada CT fasa S sesudah dilakukan penggantian.

TABEL 3.10 DATA PERHITUNGAN TANGEN DELTA CT SESUDAH PENGGANTIAN

Pengujian	Hasil Pengujian
Dissipasi Faktor (%)	0,22
Arus (mA)	3,097
Dissipasi Daya (W)	0,1076
Kapasitansi (pF)	987,9
Tegangan Uji (kV)	10

Berdasarkan Tabel 3.10 diketahui bahwa hasil pengujian tangen delta CT setelah penggantian adalah 0,22% (dibawah 1%) dimana nilai tersebut masuk dalam kategori normal sesuai (standar ANSI C 57.12.90: <1%). Nilai pengukuran arusnya setelah penggantian adalah sebesar 3,097 mA dan nilai disspasi dayanya adalah 0,1076 W. Dari data di atas diketahui bahwa terjadi kenaikan nilai tangen delta sehingga bisa mengurangi adanya potensi kerusakan pada isolasi CT yang dapat berakibat pada gangguan sistem tenaga listrik.

d. Hasil uji Thermovisi Flir pada CT Fasa S Sesudah Penggantian

Gambar 3.5 menunjukkan bahwa suhu maksimum pada CT fasa S adalah sebesar 38,7°C dan suhu konduktor adalah 30°C. Arus saat termovisi sebesar 285 A dan arus tertinggi yang pernah dicapai adalah 300 A. Pengukuran tersebut dilakukan pada malam hari pada saat beban puncak. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa kondisi peralatan dapat dikatakan baik apabila hasil perhitungan selisih suhu konduktor dan suhu klem berada dibawah nilai parameter standar thermovisi pada PLN- SK/DIR/520/2014 yaitu di bawah 10°C agar peralatan dapat dikategorikan dalam kondisi baik [9].

Tabel 3.11 menunjukkan data hasil pengujian thermovisi flir pada CT Fasa S setelah penggantian. Diketahui bahwa: I Maks = 300 A, I Saat Thermovisi = 285 A, dan T Klem = 38,7°C, dan T Konduktor = 30°C. Maka ΔT, dapat dihitung dengan Persamaan (2-2).

$$\Delta T = \left(\frac{300}{285}\right)^2 \cdot (38,7^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})$$

$$\Delta T = (1,1) \cdot (8,7^\circ\text{C}) = 9,6^\circ\text{C}$$

Dari hasil persamaan pendekatan kriteria ΔT (Delta –T) tersebut

menunjukkan bahwa nilai ΔT adalah 9,6°C. Nilai tersebut dapat dikatakan dalam kondisi normal karena hasil ΔT menunjukkan suhu normal yang diterapkan pada (Buku PLN-SK/DIR/520/2014: 0°C-10°C).



B x 8	Max	38,7 °C
Average Conductor		30 °C

I Max	300 A
I	285 A

GAMBAR 3.5 HASIL THERMOVISI FLIR PADA CT SETELAH PENGGANTIAN

TABEL 3.11 HASIL UJI THERMOVISI FLIR PADA CT FASA S SESUDAH PENGGANTIAN

I Maks	I Saat Thermovisi	T Klem	T Konduktor	ΔT	Ket.
300 A	285 A	38,7°C	30°C	9,6°C	Normal

3.6 Hasil Keseluruhan Pengujian CT Fasa S Setelah Penggantian

Tabel 3.12 merupakan hasil keseluruhan pengujian CT fasa S setelah dilakukan penggantian.

TABEL 3.12 HASIL KESELURUHAN PENGUJIAN SETELAH PENGUJIAN

Jenis Pengujian	Standar	Hasil	Ket.
TAHANAN ISOLASI			
Tahanan Isolasi (P1-Ground)	VDE (Catalogue 228/4) 1 Kv=1MΩ	152.000 MΩ	Normal
TAHANAN PENTANAHAN			
Tahanan Pentanahan	PLN-SK/DIR/520/2014 < 1 Ω	0,1 Ω	Normal
TANGEN DELTA			
Dissipasi Faktor (%)		0,22	
Arus (mA)	PLN-SK/DIR/520/2014	3,097	
Dissipasi Daya (W)	SK/DIR/520/2014	0,1076	Normal
Kapasitansi (pF)	2014 <1%	987,9	
Tegangan Uji (kW)		10	
THERMOVISI			
ΔT		9,6°C	Normal

Berdasarkan Tabel 3.12 dapat disimpulkan bahwa semua hasil pengujian setelah penggantian CT telah kembali dalam kondisi normal dan memenuhi standar yang digunakan. Jadi implementasi penggantian CT pada gardu induk Ponorogo Bus A ini tidak hanya berhasil memulihkan performa perangkat, tetapi juga meningkatkan keandalan sistem secara keseluruhan dan dapat disimpulkan bahwa penggantian CT merupakan langkah yang tepat dalam menjaga keandalan sistem kelistrikan di PT PLN (Persero) UIT JBM UPT Gardu Induk Ponorogo.

3.7 Perbandingan Hasil Pengujian CT Fasa S Sebelum dan Sesudah Penggantian

Tujuan dari perbandingan hasil pengujian pada CT fasa S sebelum dan sesudah penggantian adalah untuk mengidentifikasi perbedaan dalam hasil uji seperti nilai tangen delta, tahanan isolasi, dan suhu permukaan untuk menilai kualitas isolasi dan kondisi operasional CT baru sebagai berikut.

a. Pengujian Tahanan Isolasi dan Tahanan Pentanahan

Tabel 3.13 menunjukkan bahwa setelah penggantian CT, nilai tahanan isolasi meningkat sebesar 85.000 MΩ. Peningkatan kualitas isolasi ini dapat mencegah terjadinya arus bocor. Nilai hasil pengujian tahanan pentanahan sebelum dan sesudah penggantian dinyatakan baik, sesuai standar [10].

TABEL 3.13 PERBANDINGAN TAHANAN ISOLASI DAN TAHANAN PENTANAHAN

Pengujian	Standar	Hasil Pengujian		
		CT Lama	CT Baru	Perbandingan
P1-Ground	VDE (Catalogue 228/4) 1 Kv=1MΩ	67.000 MΩ	152.000 MΩ	85.000 MΩ
Tahanan Pentanahan	SK DIR 0520 < 1 Ω	0,2 Ω	0,1 Ω	0,1 Ω

b. Pengujian Tangen Delta

Tabel 3.14 menunjukkan kenaikan nilai tangen delta sebesar 0,09%, namun tetap dalam batas normal yang diizinkan. (PLN-SK/DIR/520/2014 <1%) sehingga diketahui bahwa CT baru berada dalam kondisi baik.

TABEL 3.14 PERBANDINGAN PENGUJIAN TANGEN DELTA

Pengujian	Standar	Hasil Pengujian		
		CT Lama	CT Baru	Perbandingan
Dissipasi Faktor (%)	PLN-SK/DIR/520/2014 <1%	0,13%	0,22%	0,09 %

c. Perbandingan Hasil Pengujian Thermovisi

Tabel 3.15 menunjukkan penurunan suhu antara klem dan konduktor CT sebesar 26,43°C setelah penggantian. Suhu ΔT setelah penggantian adalah 9,6°C dan masih dalam rentang standar yang diterapkan pada (Buku PLN-SK/DIR/520/2014: 0°C-10°C). Sehingga dengan adanya penurunan suhu ini maka akan meningkatkan keandalan CT dan memperpanjang masa pakainya.

TABEL 3.15 PERBANDINGAN PENGUJIAN THERMOVISI

Pengujian	Standar	Hasil Pengujian		
		CT Lama	CT Baru	Perbandingan
ΔT	PLN-SK/DIR/520/2014	36,03°C	9,6°C	26,43°C

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut. CT pada Bay Kopel 70 kV fasa S di PT PLN (Persero) UIT JBM UPT Gardu Induk Ponorogo, mengalami kebocoran minyak isolasi. Fasa R dan T dalam kondisi normal, tetapi fasa S dengan CT tipe IMBE72A2 menunjukkan penurunan tahanan isolasi sebesar 52% dari 142.000 MΩ pada tahun 2020 menjadi 67.000 MΩ pada tahun 2022. Tahanan isolasi fasa S tidak memenuhi standar VDE, menunjukkan potensi kebocoran arus. Tahanan pentanahan dan tangen delta memenuhi standar, tetapi suhu CT fasa S yang tinggi (36,03°C) menunjukkan risiko kerusakan isolasi. Berdasarkan hasil pengujian, penggantian CT lama lebih praktis dan ekonomis dibandingkan perbaikan, karena biaya perbaikan tinggi dan suku cadang sulit didapat. CT lama (1000/5A,75VA) akan digantikan dengan CT baru (1000/5A, 40VA), yang memiliki rasio dan kelas akurasi lebih baik (0,2S- FS10-PX), meningkatkan presisi pengukuran. Setelah penggantian, diketahui bahwa CT fasa S telah memenuhi semua standar yang ada yaitu hasil pengujian tahanan isolasi meningkat menjadi 152.000 MΩ, tahanan pentanahan menjadi 0,1 Ω, tangen delta 0,22%, dan suhu thermovisi 9,6°C, sehingga dengan

penggantian CT berhasil meningkatkan keandalan dan keamanan operasional sistem kelistrikan serta memperpanjang masa pakai CT.

Referensi

- [1] R. Margianto, S. Hani, and Syafriyudin, "Pengujian Transformator Arus 150 kV Untuk Sistem Proteksi Transformator Tenaga 3 Gardu Induk Purworejo," *Journal of Ecology*, vol. 97, no. 6, pp. 1329–1336, 2009, doi: 10.1111/j.1365-2745.2009.01572.x.
- [2] Rianti., Iqbal. Arsyad, and Danial., "Studi Analisa Kelayakan Transformator Arus untuk Proteksi Sistem Tenaga Listrik berdasarkan Hasil Uji," *Jurnal Teknik Elektro Tanjungpura*, vol. 1, no. 1, pp. 1–11, 2021.
- [3] R. R. Putra, "Thermovisi Dalam Melihat Hot Point Pada Gardu Induk 150 kV Palur," *Fakultas Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Surakarta*, pp. 1–19, 2018.
- [4] T. Saputro, A. Supardi, Umar, and A. Budiman, "Analisis Hasil Pengujian Tahanan Isolasi Transformator Daya Berdasarkan Hasil Uji Indeks Polarisasi, Tangen Delta, Rasio Tegangan, BDV (Break Down Voltage)," *Jurnal Universitas Muhammadiyah Surakarta*, vol. 7, pp. 1–25, 2018.
- [5] R. Margianto and S. Hani, "21-36 Program Sarjana Strata-1 (S-1) Jurusan Teknik Elektro," 2016. [Online]. Available: www.openelectrical.org
- [6] SKDIR PT. PLN (Persero), "Buku Pedoman Tafo Arus dan Pemeliharaan Peralatan Penyaluran Tenaga Listrik PT PLN (Persero)".
- [7] R. Agung Ananto, K. Syamsul Arifin, A. Hermawan, and P. Efendrik, "Kajian Teknis Pemeliharaan Transformator Arus Pada Gardu Induk Pltu Tanjung Awar-Awar Babat," *ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 10, no. 1.
- [8] H. R. Febrijanto and R. Hidayat, "Analisis Pengujian Tan Delta Pada Transformator Arus Di Gitet Tasikmalaya Bay Penghantar Bandung Selatan-1," *Teknokom*, vol. 6, no. 2, pp. 86–95, Jul. 2022, doi: 10.31943/teknokom.v6i2.143.
- [9] R. Solihat, "Analisis Penentuan Titik Panas pada Bay Penghantar dengan Metode Thermovisi di Gardu Induk 150 kV Ujung Berung," 2022.
- [10] T. Kasnalestari, G. K. Atmajaya, and S. Baqaruzi, "Optimalisasi Pemeliharaan, Pengujian, dan Penggantian Current Transformer Jenis OSKF-170," vol. 6, no. 2, 2022, doi: 10.22373/crc.v6i2.14201.
- [11] International Electrotechnical Commission, IEC 61869-2: Instrument Transformers – Part 2: Additional Requirements for Current Transformers. Geneva, Switzerland: IEC, 2012.
- [12] Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE Std C57.13-2016: Standard Requirements for Instrument Transformers. New York, NY, USA: IEEE, 2016.
- [13] CIGRE, CIGRE Technical Brochure 761: Condition Assessment of Instrument Transformers. Paris, France: CIGRE, 2019.
- [14] S. Tenbohlen and M. Stach, "Diagnostic measurements for power transformers and instrument transformers," *Energies*, vol. 11, no. 5, pp. 1–20, 2018.
- [15] A. K. Pradhan and A. Routray, "Condition monitoring of instrument transformers in power systems," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 95, pp. 1–10, 2018.