

ANALISIS UJI TAHANAN ISOLASI, RASIO, *BURDEN*, RESISTANSI BELITAN DAN *KNEE POINT* PADA *CURRENT TRANSFORMER* (CT) UNTUK MENGURANGI *ERROR* CT PADA TEGANGAN MENENGAH

Amelda Amarta^{1*}, Siswo Wardoyo²

¹Program Studi Pendidikan Vokasional Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Serang, Indonesia

*Email: siswo@untirta.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menilai beberapa karakteristik penting CT. Serangkaian uji coba digunakan untuk melakukan evaluasi ini. Karakteristik tersebut mencakup tingkat isolasi listrik, akurasi rasio transformasi, daya tahan beban sekunder, hambatan kumparan sekunder, serta titik saturasi magnetik atau yang dikenal dengan istilah *knee point*. Data diperoleh melalui telaah pustaka, observasi langsung di lapangan, serta wawancara dengan praktisi berpengalaman. Hasil uji menunjukkan bahwa nilai-nilai yang diukur masih sesuai dengan standar yang berlaku. Oleh karena itu, CT dapat digunakan untuk keperluan pengukuran listrik dan proteksi sistem distribusi. Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan pemahaman terhadap sifat dan pengujian CT yang sesuai standar.

Kata kunci: CT; tahanan isolasi; kesalahan rasio; beban, tahanan belitan sekunder; dan eksitasi.

ABSTRACT

This research aims to assess several key attributes of CT through a series of tests. These attributes include the level of electrical insulation, the accuracy of the transformation ratio, the resistance of the secondary load, the resistance of the secondary coil, and the magnetic saturation point, commonly referred to as the knee point. Data were gathered through literature reviews, direct field observations, and interviews with experienced professionals. The test results indicate that the measured values remain compliant with relevant standards. Therefore, CT can be used to protect electrical measurement and distribution systems. This study is expected to enhance understanding of the properties and testing of CT in accordance with standards.

Keywords: CT; insulation resistance; error ratio; load; secondary winding resistance; and knee point.

1. PENDAHULUAN

PLN (Perusahaan Listrik Negara) adalah perusahaan milik pemerintah Indonesia yang fokus pada penyediaan listrik. Termasuk dalam BUMN (Badan Usaha Milik Negara), PLN bertugas untuk mengelola seluruh aspek terkait ketenagalistrikan di Indonesia, dari produksi hingga distribusi, distribusi, dan penjualan tenaga listrik ke berbagai jenis pelanggan seperti perumahan, industri, dan pelanggan korporat. PLN berperan penting dalam menjamin pasokan listrik yang stabil dan berkelanjutan di seluruh Indonesia, termasuk di daerah terpencil. Di samping itu PLN ini dibagi menjadi beberapa wilayah untuk mengkoordinir pasokan listrik di daerah tersebut.

UP3 (Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan) bertanggung jawab atas distribusi tenaga listrik dan memberikan layanan kepada pelanggan di wilayah tertentu. PT. PLN UP3 Cikupa bertugas mengelola distribusi tenaga listrik, memelihara jaringan distribusi tenaga listrik, dan memberikan pelayanan teknis kepada konsumen.

Dalam penelitian ini, penulis bertujuan untuk membahas uji kelayakan penggunaan CT di sektor industri. Observasi dilakukan pada pelanggan PT. PLN (Persero) UP3 Cikupa. Pengujian meliputi pengukuran untuk menentukan batas kesalahan rasio arus, tahanan isolasi, beban, resistansi belitan, serta titik *knee point* atau eksitasi pada CT, sesuai dengan standar yang ditetapkan, yaitu SPLN D3.014-1: 2009, dengan merujuk pada standar IEC 61869-2.

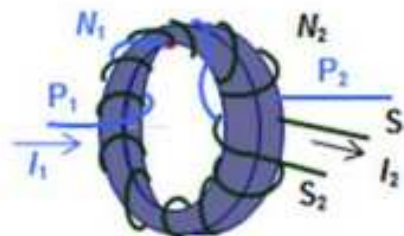
Prinsip induksi elektromagnetik menyebabkan tegangan pada sisi primer dan sekunder transformator berhubungan langsung dengan rasio jumlah lilitannya, sementara arus pada kedua sisi memiliki hubungan yang berbanding terbalik [1]. CT adalah sensor untuk mengukur arus bolak-balik atau AC [2], Trafo arus atau trafo arus adalah komponen proteksi transformator [3].

Menurut Davorin Burgund Akurasi pengukuran trafo ditentukan oleh kelas akurasi, transmisi rasio, dan daya pengenalan. Ini adalah besaran numerik. Kesalahan trafo pengukur adalah besaran variabel yang tergantung pada beban sekunder [4].

1.1 Current Transformer (CT)

CT mengukur arus skala besar pada sisi primer sistem tenaga dengan mengurangi arus dengan teliti untuk pengukuran dan untuk melindungi perangkat yang digunakan [5]. Trafo biasanya terdiri dari besi inti yang dilaminasi dan dua kumparan-kumparan primer dan sekunder biasanya diproduksi dengan bahan kawat tembaga yang dililitkan di sekitar "kaki" pusat transformator [6].

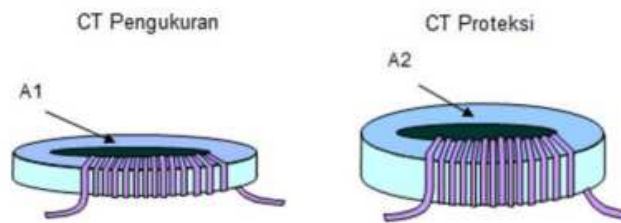
Prinsip kerja trafo arus adalah pembangkitan gaya magnet, yang sama dengan trafo daya. Magnet GGL ini menghasilkan fluks magnet di dalam inti, yang kemudian menghasilkan gaya gerak listrik (EMF) listrik di sisi kumparan sekunder. Berdasarkan fungsinya, CT diklasifikasikan menjadi 2 untuk pengukuran (metering) dan untuk perlindungan (proteksi) [7]. Rangkaian CT dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian CT
(Sumber : PT. PLN PERSERO UP3)

Pengukuran dalam transaksi energi perlu dilakukan secara akurat, karena CT merupakan perangkat pengukur yang krusial dalam perdagangan energi dan berperan penting dalam menentukan nilai energi yang dihitung. Ini memastikan bahwa baik perusahaan maupun pelanggan tidak mengalami kerugian [8]. Menurut Mochamad Lutfi Jayaprasthy, CT dirancang untuk mengkonversi arus tinggi menjadi arus sekunder yang lebih kecil, sehingga memungkinkan pengukuran di dalam suatu jaringan. Transformator ini bekerja dengan prinsip kopling magnetis untuk mentransfer dan mengubah energi listrik dari satu sirkuit ke sirkuit lainnya, berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik [9].

CT terdiri dari dua inti yaitu primer dan sekunder [10], kumparan primer terhubung ke arus utama, sedangkan kumparan sekunder berfungsi untuk menurunkan arus agar alat pengukur atau perlindungan sistem dapat mengukurnya dengan aman. Pengujian rutin membantu mengurangi risiko kerusakan dan kesalahan selama pengoperasian normal, karena memastikan kualitas dan efisiensi isolasi listrik serta peralatan aktif [11]. Luas penampang inti trafo arus disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Luas penampang inti trafo arus
(Sumber : PT. PLN PERSERO UP3)

1.2 Kelas Akurasi CT

Kelas akurasi CT adalah indikator seberapa akurat CT tersebut dalam mereproduksi arus primer ke arus sekunder sesuai dengan rasio nominalnya. Kelas akurasi menentukan deviasi maksimum yang diizinkan dari nilai sebenarnya pada arus sekunder dalam berbagai kondisi operasi.

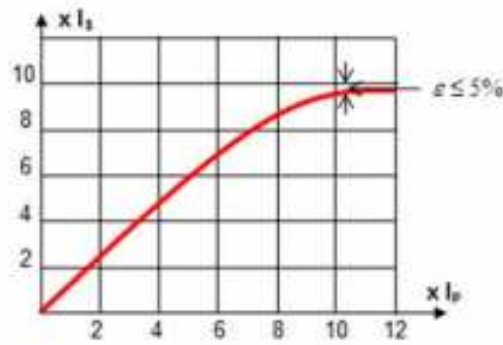
a. Kelas akurasi dalam pengukuran

Untuk keselamatan pengukuran, trafo digunakan untuk memisahkan rangkaian sekunder dari rangkaian primer. Kelas akurasi pada CT untuk pengukuran ditentukan berdasarkan persentase kesalahan maksimum yang diizinkan pada arus sekunder.

Tabel 1. Batas Kesalahan CT (Metering)

Parameter uji		Kelas akurasi	% Arus pengenalan				
			1	5	20	100	120
Kesalahan arus ($\pm$)	[%]	0,2	-	0,75	0,35	0,2	0,2
		0,2S	0,75	0,35	0,2	0,2	0,2
		0,5	-	1,5	0,75	0,5	0,5
		0,5S	1,5	0,75	0,5	0,5	0,5
		1,0	-	3,0	1,5	1,01	1,0
Pergeseran fase ($\pm$)	[menit]	0,2	-	30	15	10	10
		0,2S	30	15	10	10	10
		0,5	-	90	45	30	30
		0,5S	90	45	30	30	30
		1,0	-	180	90	60	60
	[sentiradian]	0,2	-	0,9	0,45	0,3	0,3
		0,2S	0,9	0,45	0,3	0,3	0,3
		0,5	-	2,7	1,35	0,9	0,9
		0,5S	2,7	1,35	0,9	0,9	0,9
		1,0	-	5,4	2,7	1,8	1,8

Standar dari kelas ketelitian adalah 0,2 - 0,2S - 0,5 - 0,5S - 1,0 dapat dilihat pada Tabel 1, jika hasil tahanan rasio melebihi kelas tersebut maka dapat dikatakan CT tersebut Error (SPLN D3.014-1: 2009, IEC 61869-2, IEC 60044-1). Kurva batas akurasi ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Kurva batas akurasi
(Sumber : PT. PLN PERSERO UP3)

b. Kelas akurasi dalam proteksi

CT proteksi kelas akurasi ditentukan berdasarkan kemampuan CT dalam mereproduksi arus tinggi saat terjadi gangguan seperti hubung singkat. CT memiliki sistem perlindungan meliputi relai arus lebih, relai diferensial, relai beban lebih, relai jarak, dan relai daya [12].

Tabel 2. Batas Kesalahan CT Proteksi

Kelas akurasi	Kesalahan arus [%]	Pergeseran fase		Kesalahan komposit [%]
		Menit	Sentiradil	
5P	±1	±60	±1,8	5

Nilai pada batas kesalahan arus primer pengenal harus tidak boleh melebihi nilai pada Tabel 2 karena kelas akurasi standar 5P untuk frekuensi dan tekanan pengenal dengan faktor daya 0,8. Kesalahan arus lagging, pergeseran fase, dan kesalahan komposit juga dihitung dengan faktor daya 0,8 (SPLN D3.014-1: 2009, IEC 61869-2, IEC 60044-1)

1.3 Burden CT

CT juga diperuntukan sebagai pengukur arus, daya, dan energi, serta relai proteksi [13]. Nilai tekanan adalah daya tertinggi yang dapat ditanggung oleh CT (dalam satuan VA). Daya yang dihasilkan harus diatas daripada daya yang diukur dari terminal sekunder CT menuju kumparan relai perlindungan. Jika nilai daya tersebut lebih kecil, relai perlindungan tidak akan mampu memicu pemutus sirkuit atau pemutus utama saat terjadi gangguan. Nilai tekanan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut, karena tekanan diwakili dalam satuan daya semu (VA). Nilai tekanan adalah daya tertinggi yang dapat ditanggung oleh CT (dalam satuan VA). Nilai tekanan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut, karena tekanan diwakili dalam satuan daya semu (VA) seperti pada persamaan berikut.

$$S = V \times I \quad (1)$$

Dimana:

S = Batas Beban (VA)

V = Volt (V)

I = Ampere (A)

1.4 Error Transformator

Kesalahan transformasi adalah perbandingan arus primer dan sekunder. Ketidakakuratan dalam pengukuran, kesalahan dalam perhitungan tarif, dan kegagalan dalam pengoperasian sistem perlindungan dapat disebabkan oleh besarnya kesalahan rasio atau persentase. Batas daya maksimum tegangan rendah, tidak ada rasio rating trafo arus rendah yang dikembangkan di atas 300/5 [8]. Karena rasio transformasi aktual dan pengenal berbeda, transformator mengalami kesalahan dalam pengukuran arus.

$$e = \frac{kn \cdot Is - Ip}{Ip} \times 100 \quad (2)$$

Dimana:

e = Kesalahan rasio arus (%)

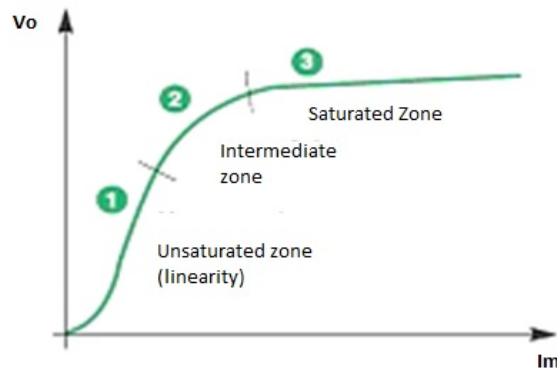
Kn = Pengenal rasio

Ip = Arus primer aktual (A)

Is = Arus sekunder aktual (A)

1.5 Eksitasi atau Knee Point

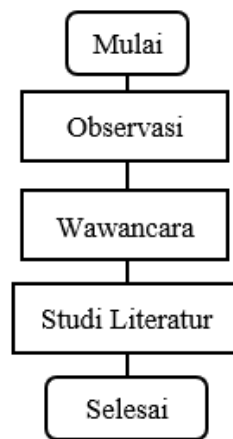
Penelitian dengan menggunakan metode prinsip kompensasi resistansi negatif jika didasarkan pada prinsip ini, beban total rangkaian sekunder CT dikurangi dengan menambahkan *resistansi negative* maka dapat mengurangi penurunan tegangan di terminal sekunder CT, menurut penelitiannya penurunan tegangan ini akan mengurangi fluks di inti dan mencegah terjadinya kejenuhan. Eksitasi adalah titik jenuh ketika trafo arus mengurangi tegangan. Kurva magnetisasi CT dapat dibagi menjadi tiga bagian. Zona tak jenuh, zona perantara, dan zona jenuh. Konsep *knee point* dapat ditunjukkan pada Gambar 4 [14].



Gambar 4. Kurva *knee point*

2. METODE

Peneliti menggunakan metode literatur tentang standar atau aturan yang ada terkait Tahanan Isolasi, Kesalahan Rasio, Resistansi Belitan, Beban Pengenal, dan Eksitasi dengan standar Edaran Direksi (SPLN D3.014-1: 2009, IEC 61869-2, IEC 60044-1). Tahapan penelitian disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Tahapan penelitian

Data dikumpulkan melalui penelitian literatur, yang mencakup informasi seperti buku, internet, jurnal ilmiah, dan dokumen pengujian. Pengumpulan data melalui metode observasi, dimana data teknis lapangan diperiksa secara langsung, adalah hasil dari pengukuran rasio, beban, atau hambatan belitan yang dilakukan selama aktivitas pengujian. Metode wawancara meliputi pengajuan pertanyaan, pembelajaran teori, dan konsultasi langsung dengan narasumber yang mengetahui topik tersebut [15].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Tahanan Isolasi

Pengujian dilakukan dengan mengukur tahanan isolasi menggunakan megger. Setiap titik uji, juga dikenal sebagai "titik uji", menerima tegangan uji sebesar 1000 V untuk menguji nilai tahanan isolasi. Penggunaan tegangan ini dilakukan untuk menghindari kerusakan pada peralatan dan untuk memastikan bahwa media isolasi yang diuji tetap aman. Untuk melaksanakan pengukuran ini, arus yang melebihi batas jika terdeteksi oleh media isolasi akan dihitung. Nilai tahanan isolasi ditentukan dalam satuan Mega ohm ($M\Omega$). Setelah 30 detik, hasil pengujian dicatat sesuai dengan pengaturan waktu atau *setting* IR(t) alat penguji. Hasil pengujian tahanan isolasi ditunjukkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Pengujian Tahanan Isolasi

Test Point	Tegangan Uji (V)	Test	Standar	Keterangan
HV - G	1000	>2000	2000	OK
LV - G	1000	>2000	2000	OK
HV - LV	1000	>2000	2000	OK

Berdasarkan standar SPLN D3.014-1:2009/SUP-1:2020. Persamaan berikut dihasilkan dengan trafo arus 20.000 kV dan nilai tahanan isolasi minimal 1 Ohm dengan tegangan nominal 0,001 Volt:

$$\begin{aligned}
 \text{Tegangan 20 kv} &= 20.000 \\
 \text{Tahanan isolasi} &= 1000 \times 20.000 \\
 &= 20.000.000 \, \Omega \\
 &= 20 \, M\Omega
 \end{aligned}$$

Berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian ini, kondisi tahanan isolasi pada trafo arus yang terpasang harus memiliki nilai 20 $M\Omega$ agar memenuhi standar kelayakan dan dari pengujian diatas sudah memenuhi syarat standar.

3.2 Hasil Pengujian Rasio CT

Pengujian rasio dilakukan dengan alat analisis CT. Langkah pertama adalah memasukkan plat nama pada CT ke dalam alat analisis CT. Nilai I_{pn}, I_{ss}, Frekuensi, ALF, Kelas, dan Tekanan termasuk dalam penginputan ini. Hasil pengujian kemudian diproses secara otomatis oleh alat *CT Analyzer*. Hasil uji rasio ditunjukkan pada Tabel 4-6.

Tabel 4. Hasil uji error CT pada fasa R

Inti	Arus Primer (A)	Arus Sekunder (A)	Error (%)
1S1-1S2	300	4,993	-0.15
2S1-2S1	600	4,984	-0,01

Tabel 5. Hasil uji error CT pada fasa S

Inti	Arus Primer	Arus Sekunder	Error (%)
1S1-1S2	300	4,995	-0.15
2S1-2S1	600	4,998	-0.00

Tabel 6. Hasil uji error CT pada fasa T

Inti	Arus Primer	Arus Sekunder	Error (%)
1S1-1S2	300	4,997	-0.16
2S1-2S1	600	4,973	-0.01

Hasil uji pada Tabel 4-6 dapat dihitung secara manual dengan menggunakan persamaan seperti di bawah ini :

$$e = \frac{kn \cdot I_s - I_p}{I_p} \times 100 \quad (3)$$

Contoh perhitungan Error CT pada Fasa R 1S1-1S2 :

Arus Primer (I_p) : 30,0 A
 Arus Sekunder (I_s) : 5,0 A
 Burden : 5,0 VA

$$e = \frac{60 \times 4.993 - 300}{300} \times 100$$

$$= \pm 0,14\%$$

Menurut standarisasi SPLN D3.014-1: 2009, kesalahan rasio kelas 5P tidak boleh melebihi 1% dan kesalahan kelas metering 0,2 tidak boleh melebihi batas kesalahan normal. Oleh karena itu, persamaan di atas menunjukkan bahwa kesalahan rasio di atas tidak melebihi batas kesalahan normal. Oleh karena itu, CT tersebut masih dapat dianggap layak untuk uji rasio.

3.3 Hasil Pengujian Burden

Pengujian beban sekunder dilaksanakan untuk mengevaluasi impedansi *loop* tertutup yang terkait dengan beban CT, termasuk kabel, relai, dan instrumen pengukuran. Tujuan evaluasi ini adalah untuk menentukan nilai beban aktual yang terhubung pada sisi sekunder CT. Jika terdeteksi arus yang let melebihi batas nominal yaitu sebesar 5A, maka penggantian diperlukan. Faktor daya, yang dihitung berdasarkan arus sekunder yang terukur, dinyatakan dalam daya nyata (VA). Hasil pengujian beban CT pada fase R, S, dan T disajikan dalam Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pengujian Burden

Pengukuran	Fasa R	
	1S1-1S2	2S1-2S2
Arus (A)	1	1
Tegangan (V)	2,206	2,206
Burden (VA)	5,0 VA	7,5 VA

3.4 Pengujian *Secondary Winding Resistance*

Hasil dari pengujian ini digunakan untuk menghitung nilai resistansi pada belitan CT. Berdasarkan standar SPLN D3.014-1: 2009, IEC 61869-2, dan IEC 60044-1, pengujian ini dilakukan dengan arus uji 1A dan suhu referensi 75 °C. Hasil uji pada setiap fasa dapat ditemukan di Tabel 8-10.

Tabel 8. Pengujian resistansi belitan pada fasa R

Inti	Tahanan terukur (Ω)	Tahanan referensi (Ω)	Temperatur terukur ($^{\circ}\text{C}$)	Temperatur referensi ($^{\circ}\text{C}$)
1S1-1S2	0,052	0,062	25	75
2S1-2S2	0,055	0,066	25	75

Tabel 9. Pengujian resistansi belitan pada fasa S

Inti	Tahanan terukur (Ω)	Tahanan referensi (Ω)	Temperatur terukur ($^{\circ}\text{C}$)	Temperatur referensi ($^{\circ}\text{C}$)
1S1-1S2	0,052	0,062	25	75
2S1-2S2	0,036	0,043	25	75

Tabel 10. Pengujian resistansi belitan pada fasa T

Inti	Tahanan terukur (Ω)	Tahanan referensi (Ω)	Temperatur terukur ($^{\circ}\text{C}$)	Temperatur referensi ($^{\circ}\text{C}$)
1S1-1S2	0,045	0,053	25	75
2S1-2S2	0,052	0,062	25	75

Setelah data uji dikumpulkan, perhitungan dilakukan untuk mengetahui seberapa besar deviasi tahanan yang ditemukan dibandingkan dengan tahanan referensi, deviasi ini ditunjukkan dalam bentuk persentase. Untuk menghitung tahanan kumparan inti 1S1-1S2 dari CT pada fasa R, suhu pengujian harus diperhatikan, dan hasil pengujian harus dikonversi ke 75°C menggunakan persamaan yang ditetapkan oleh IEC seperti pada persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 R_{CT} &= R_{meas} \times \frac{234,5+T_{ref}}{234,5+T_{meas}} \\
 &= 0,052 \times \frac{234,5+75}{234,5+25} \\
 &= 0,062 \Omega
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Setelah nilai R_{CT} diketahui, besarnya deviasi dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

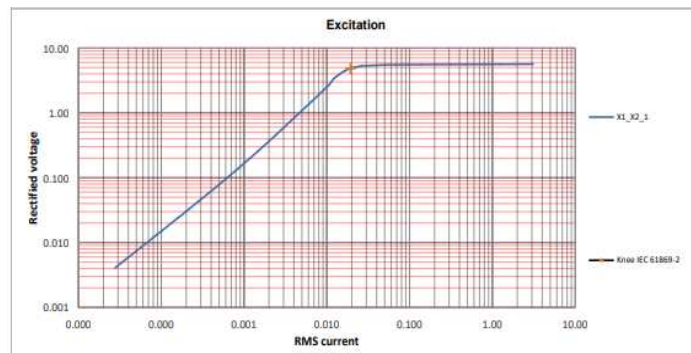
$$\begin{aligned}
 Dev (\%) &= \frac{R_{CT}-R_{ref}}{R_{ref}} \times 100 \\
 &= \frac{0,062-0,062}{0,062} \times 100 \\
 &= 0\%
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Nilai deviasi pada Fasa R adalah 0 %, seperti yang ditunjukkan oleh persamaan di atas. Dengan menggunakan metode yang sama untuk menghitung Fasa S dan T, hasil

perhitungan deviasi menunjukkan bahwa resitansi belitan dapat dianggap baik karena hanya 5% dari resitansi referensi.

3.5 Hasil Pengujian *Knee Point*/Eksitasi

Pengujian titik saturasi CT, yang mirip dengan pengujian rasio, dilaksanakan menggunakan alat penganalisis citra komputer. Untuk pengujian ini, nilai I_{pn} , I_{sn} , tegangan, kelas, frekuensi, VA, dan ALF dimasukkan ke dalam *nameplate* CT. Standar SPLN D3.014-1: 2009 dan IEC 61869-2 diterapkan. Hasil pengukuran dari pengujian eksitasi pada inti fase R 1S1-1S2 disajikan dalam grafik pada Gambar 6. Grafik ini menggambarkan hubungan antara arus eksitasi dan tegangan RMS yang diterapkan pada sisi sekunder CT.



Gambar 6. Grafik Eksitasi Fasa R 1S1-1S2

$V_{knee} : 4,825 V$

$I_{knee} : 0,0193 A$

Gambar 6 menunjukkan bahwa ada hubungan antara I_{knee} (arus) dan V_{knee} (tegangan) pada pengubah arus yang diambil di inti 1S1-1S2 Fasa R. Tabel 11-13 menunjukkan nilai hasil pengujian eksitasi yang diukur untuk masing-masing fasa, yaitu R, S, dan T.

Tabel 11. Nilai V_{knee} dan I_{Knee} pada fasa R

Inti	V_{knee} (V)	I_{knee} (A)
1S1-1S2	4,825	0,0193
2S1-2S1	21,092	0,1962

Tabel 12. Nilai V_{knee} dan I_{Knee} pada fasa S

Inti	V_{knee} (V)	I_{knee} (A)
1S1-1S2	5,175	0,0190
2S1-2S1	18,360	0,2626

Tabel 13. Nilai V_{knee} dan I_{Knee} pada fasa T

Inti	V_{knee} (V)	I_{knee} (A)
1S1-1S2	4,771	0,0213
2S1-2S1	21,485	0,1738

Berdasarkan hasil di atas, disimpulkan bahwa titik saturasi pada CT ini memiliki nilai kejenuhan yang masih dapat diterima untuk memenuhi persyaratan.

4. KESIMPULAN

Di bawah ini adalah kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini:

- a. Nilai tahanan isolasi yang diperbolehkan adalah 1000 kali 20.000, yang berarti 20.000.000 Ohm, atau 20 MΩ. Tahanan isolasi trafo arus berada dalam batas yang dapat diterima, sehingga berhasil melewati uji tahanan isolasi.
- b. Kesalahan transformasi (*ratio error*) pada CT Kelas 0,2S dengan error maksimal $\pm 0,2\%$, menunjukkan bahwa hasil pengujian tersebut masih dibawah standar yang digunakan yaitu SPLN D3.014-1: 2009 dan IEC 61869-2.
- c. Inti CT memiliki beban minimal 2,206 VA dan beban maksimal 2,667 VA. Beban maksimal yang digunakan oleh CT adalah 5 VA, sehingga hasil uji burden di bawah batas maksimal atau kondisinya masih tergolong baik.
- d. CT fasa R, S, dan T memiliki deviasi resistansi belitan sebesar 0 %, sehingga resistansi tetap dalam keadaan normal.
- e. Temuan dari pengujian CT pada fase R, S, dan T mengungkapkan bahwa tegangan eksitasi (titik siku) tetap berada dalam batas yang diperlukan. Ini menunjukkan bahwa tegangan kejenuhan inti (V_k) melebihi tegangan (V_s), yang berarti transformator dapat beroperasi tanpa mengalami kelebihan beban atau penurunan kinerja.
- f. Berdasarkan standar SPLN D3.014-1: 2009/ SUP-1:2020 dan IEC 61869-2 dari beberapa pengujian yang telah dilakukan, parameter pengujian tersebut menunjukan nilai masih tergolong baik menurut standarisasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. S. Nasution, F. I. Pasaribu, and M. Habib Hidayat, "Studi Proteksi Sistem Tenaga Listrik Pada Trafo 1600 kVA Menggunakan Current Relay IWU 2-3," *Jurnal Mesil (Mesin Elektro Sipil)*, vol. 2, no. 2, pp. 28–39, 2021.
- [2] A. Franata *et al.*, "Perancangan Alat Monitoring Arus Bocor pada Kabel 20 kV Menggunakan Filter Kalman Berbasis Internet of Things," *Elektrika*, vol. 14, no. 2, pp. 41–48, 2022.
- [3] A. Siswanto, P. Aprilia, P. Santi, and T. Susanto, "Perbaikan Pengkabelan Trafo Arus pada REF (Restricted Earth Fault) dan SBEF (Standby Earth Fault) untuk Meningkatkan Selektivitas Kerja Relay," *Electronica and Electrical Journal of Innovation Technology*, vol. 1, pp. 7–12, 2020.
- [4] D. Burgund, S. Nikolovski, D. Galić, and N. Maravić, "Pearson Correlation in Determination of Quality of Current Transformers," *Sensors*, vol. 23, no. 5, Mar. 2023, doi: 10.3390/s23052704.
- [5] T. Koerniawan *et al.*, "Kajian Ketelitian Current Transformer (CT) Terhadap Kesalahan Rasio Arus pada Pelanggan 197 kVA," *Jurnal Ilmiah*, vol. 11, no. 1, 2019.
- [6] J. Siburian, "Karakteristik Transformator," *Jurnal Teknologi Energi UDA*, vol. VIII, no. 1, pp. 21–28, 2019.
- [7] J. Napitupulu, "Studi Efisiensi Transformator Tiga Fasa," *Jurnal Teknologi Energi UDA*, vol. 10, no. 1, pp. 8–16, 2021.
- [8] A. C. Mulyana, "Evaluasi Akurasi Transformator Arus (CT) Pengukuran pada Transaksi Energi," *Jurnal Technopreneur (JTech)*, vol. 11, no. 2, pp. 101–104, Dec. 2023, doi: 10.30869/jtech.v11i2.1257.

- [9] M. L. Jayaprasthy, “Rancang Bangun Prototipe Peralatan Monitoring Pemakaian Transformator Daya Berbasis Internet Of Things (IOT)-WEB,” *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 09, no. 01, pp. 863–870, 2019.
- [10] S. Amalia and C. Yuanisa, “Rancang Bangun Sistem Monitoring Arus 3-Phasa Menggunakan Sensor SCT-013 berbasis Mikrokontroler Arduino,” *Jurnal Teknik Elektro Institut Teknologi Padang*, vol. 10, no. 2, 2021, doi: 10.21063/JTE.2021.31331013.
- [11] H. R. Febrijanto and R. Hidayat, “Analisis Pengujian Tan Delta Pada Transformator Arus Di Gidet Tasikmalaya Bay Penghantar Bandung Selatan-1,” *TEKNOKOM*, vol. 6, no. 2, pp. 86–95, Jul. 2022, doi: 10.31943/teknokom.v6i2.143.
- [12] Yolnasdi, Chrismondari, and R. N. Rokhman, “Perbandingan Pengujian Transformator Arus Melalui Connecting Link Marshalling Kiosk Dengan Pengujian Secara Langsung,” *Jurnal Sainstek STT Pekanbaru*, vol. 11, no. 2, 2023, doi: 10.35583/js.v11i2.226.
- [13] M. F. Fadhilah *et al.*, “Analisis Hasil Pengukuran Current Transformer Menggunakan Metode Tegangan dan Arus Analysis of Current Transformer Measurement Results using Voltage and Current Method,” *Seminar Nasional Teknik Elektro*, vol. 07, pp. 204–208, 2022.
- [14] S. Sanati and Y. Alinejad-Beromi, “Prevention of the current transformer saturation by using negative resistance,” *IET Generation, Transmission and Distribution*, vol. 15, no. 3, pp. 508–517, Feb. 2021, doi: 10.1049/gtd2.12038.
- [15] I. M. Djodding and A. Rasyid, “Analisis Pengujian Shutdown Measurement Transformator Arus 150 KV pada Gardu Induk Tello,” *Kohesi: Jurnal Multidisiplin Saintek*, vol. 2, no. 7, pp. 102–131, 2024.