

## **PENGUJIAN TRANSFORMATOR ARUS 150 KV UNTUK SISTEM PROTEKSI TRANSFORMATOR TENAGA 3 GARDU INDUK PURWOREJO**

**Rinex Margianto<sup>1</sup>, Slamet Hani<sup>2</sup>, Syafriyudin<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Mahasiswa, <sup>2</sup>Pembimbing 1 dan <sup>3</sup>Pembimbing 2

*Program Sarjana Strata-1 (S-1) Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi  
Industri Institut Sains & Teknologi Akprind Yogyakarta*

*Jalan Kalisahak No. 28, Komplek Balapan Tromol Pos 45, Yogyakarta 55222*

*Telp. (0274)563029 Email: [rinextronite@gmail.com](mailto:rinextronite@gmail.com)*

### **INTISARI**

*Gardu induk merupakan bagian dari sistem pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik baik sistem transmisi ataupun sistem distribusi dimana nilai tegangan dirubah dari nilai tegangan yang tinggi menjadi tegangan yang lebih rendah ataupun sebaliknya dengan menggunakan transformator. Pada gardu induk terdapat beberapa peralatan yang digunakan untuk kegiatan operasional, dimana salah satunya adalah transformator arus.*

*Transformator arus 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. Transformator arus harus dalam keadaan baik agar dapat melakukan transformasi arus secara akurat dan teliti. 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.*

*Pengukuran tahanan isolasi dilakukan pada awal pengujian dimaksudkan untuk mengetahui secara dini kondisi isolasi transformator arus dan untuk menghindari kegagalan pengujian selanjutnya. Pengukuran tahanan isolasi pada setiap inti transformator arus pada transformator daya 3 yaitu sebesar  $1G\Omega$  -  $1T\Omega$ . Hasil pengujian rasio pada kelas 5P memiliki kesalahan  $<1\%$ . Besarnya nilai deviasi tahan belitan pada seluruh inti masih dibawah  $0\%$ . Nilai burden pada inti transformator arus yang digunakan yaitu sebesar 3 VA sampai dengan 5 VA. Seluruh polaritas transformator arus pada transformator daya 3 tidak ada yang terbalik. Pengujian dilakukan dengan menggunakan OMICRON CPC 100, kemudian hasil pengujian dievaluasi berdasarkan standar yang ditetapkan oleh IEC dan IEEE.*

**Kata kunci :** *gardu induk, transformator arus, pengujian transformator arus, tujuan pengujian, hasil pengujian*

## 1. PENDAHULUAN

Energi listrik pada saat ini merupakan landasan bagi kehidupan modern, dan tersedianya dalam jumlah dan mutu yang cukup menjadi syarat bagi suatu masyarakat yang memiliki taraf kehidupan yang baik dan perkembangan industri yang maju. Atas dasar tersebut maka diperlukan suatu sistem penyediaan tenaga listrik yang baik agar kebutuhan akan energi listrik dapat terpenuhi. Sistem penyediaan tenaga listrik tersebut bermacam-macam, baik dari pusat pembangkit termal maupun non termal.

PLN sebagai perusahaan listrik negara berusaha untuk menyuplai energi listrik seoptimal mungkin seiring dengan meningkatnya konsumen energi listrik. Agar dapat memanfaatkan energi listrik yang ada serta menjaga kualitas penyaluran dan kerusakan peralatan, maka diperlukan suatu sistem pengaman dan sistem pemeliharaan instalasi gardu induk. Dalam gardu induk terdapat suatu peralatan yaitu trafo arus yang berfungsi untuk menurunkan arus besar pada tegangan tinggi atau menengah menjadi kecil pada tegangan rendah yang dipakai untuk pengukuran dan proteksi dan mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer serta memungkinkan standarisasi rating arus untuk peralatan sisi sekunder.

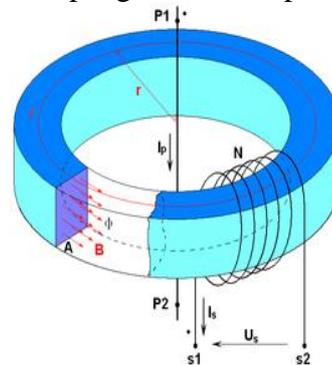
Trafo arus merupakan suatu peralatan yang digunakan sebagai alat ukur dan melindungi rele pada industri yang memakai tegangan tinggi dimana trafo ini mempunyai fasilitas pengukuran yang aman dalam nilai arus besar dan tegangan

yang tinggi. Oleh karena itu diperlukan perawatan dan pengujian secara terjadwal agar trafo arus dapat bekerja dengan baik sesuai dengan fungsinya dalam keadaan beroperasi. Pemeliharaan dan pengujian yang baik dapat meminimalisir gangguan dan kerusakan serta dapat memperpanjang umur trafo arus.

## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1. Transformator Arus

Transformator arus (*Current Transformer*) yaitu peralatan yang digunakan untuk melakukan pengukuran besaran arus pada instalasi tenaga listrik di sisi primer (TET, TT, dan TM) yang berskala besar dengan melakukan transformasi dari besaran arus yang besar menjadi besaran arus yang kecil secara akurat dan teliti untuk keperluan pengukuran dan proteksi.



**Gambar 2.1.** Rangkaian Pada Trafo Arus

(Sumber : [www.openelectrical.org](http://www.openelectrical.org))

Untuk transformator yang dihubungkan singkat :  $I_1 \cdot N_1 = I_2 \cdot N_2$

Untuk transformator kondisi tidak berbeban :

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana

$$a = \frac{N_1}{N_2}$$

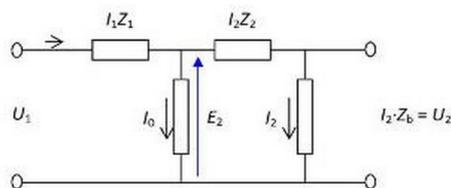
$I_1 > I_2$  sehingga  $N_1 < N_2$

$N_1$  = jumlah lilitan primer,

dan

$N_2$  = jumlah lilitan sekunder.

Rangkaian ekivalen



**Gambar 2.2.** Rangkaian ekivalen

$$E_2 = 4,44 \cdot B \cdot A \cdot f \cdot N_2 \text{ Volt..(2.2)}$$

Tegangan jepit rangkaian sekunder adalah

$$E_2 = I_1 \cdot (Z_2 + Z_b) \text{ Volt.....(2.3)}$$

$$Z_b = Z_{kawat} + Z_{inst} \text{.....(2.4)}$$

Dalam aplikasinya harus dipenuhi  $U_1 > U_2$

Dimana :

$B$  = Kerapatan fluksi (tesla)

$A$  = Luas penampang ( $m^2$ )

$f$  = Frekuensi (Hz)

$N_2$  = Jumlah lilitan sekunder

$N_1$  = Jumlah lilitan Primer

$U_1$  = Tegangan sisi primer

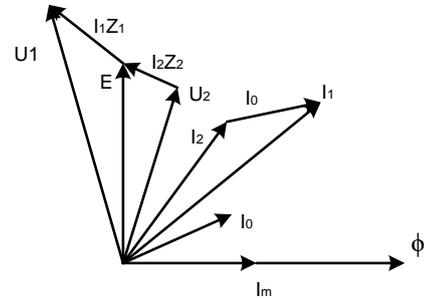
$U_2$  = Tegangan sisi sekunder

$Z_b$  = Impedansi/ tahanan beban trafo

$Z_{inst}$  = Impedansi/ tahanan internal instrumen, misalnya rele proteksi atau peralatan meter.

$Z_{kawat}$  = Impedansi/ tahanan dari terminasi ke instrumen

Diagram Fasor arus dan tegangan pada transformator arus (CT)



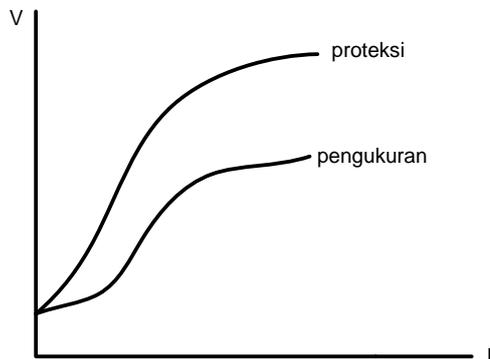
**Gambar 2.3.** Diagram Fasor Arus dan Tegangan

## 2.2. Fungsi Transformator Arus

Fungsi dari transformator arus adalah :

- Mengkonversi besaran arus pada sistem tenaga listrik dari besaran primer menjadi besaran sekunder untuk keperluan pengukuran sistem metering dan proteksi.
- Mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer, sebagai pengaman terhadap manusia atau operator yang melakukan pengukuran.
- Standarisasi besaran sekunder, untuk nominal 1 A dan 5 A.

Berdasarkan fungsi dan kegunaannya transformator arus dibedakan menjadi dua jenis yaitu transformator arus untuk pengukuran dan transformator arus untuk proteksi. Perbedaan mendasar transformator arus dan pengukuran adalah pada titik saturasi. Transformator arus untuk pengukuran dirancang supaya lebih cepat jenuh dibandingkan aus proteksi sehingga konstruksinya mempunyai luas penampang yang lebih kecil.



**Gambar 2.4.** Kurva Kejenuhan CT untuk Pengukuran dan Proteksi

### 2.3. Kelas Akurasi Transformator Arus (*Current Transformer Accuracy Class*)

Dibutuhkan arus eksitasi untuk bisa mentransformasikan primer menjadi sekunder. Arus eksitasi tersebut akan menimbulkan penyimpangan hasil pengukuran. Penyimpangan tersebut biasa dikenal dengan istilah kesalahan transformasi atau kesalahan perbandingan (*ratio error*) dan juga pergeseran sudut fasa yang idikenal dengan istilah *phase displacement error*.

Standar *accuracy class* yang dipergunakan untuk pengukuran seperti terlihat pada tabel di bawah ini.

**Tabel 2.1.** Batas kesalahan arus dan kesalahan sudut untuk kelas 0,1-1,0 sesuai IEC 60044-1

Kelas Ketelitian	+/- % kesalahan rasio arus pada arus % dari arus pengenal				+/- % pergeseran fase pada % dari arus pengenal (min)			
	5	20	100	120	5	20	100	120
0,1	0,4	0,2	0,1	0,1	15	8	5	5
0,2	0,75	0,35	0,2	0,2	30	15	10	10
0,5	1,5	0,75	0,5	0,5	90	45	30	30
1,0	3,0	1,0	1,0	1,0	180	90	60	60

Untuk kelas 0,1 – 0,2 – 0,5 dan 1, pada frekuensi pengenal kesalahan arus dan pergeseran fase tidak melebihi dari nilai yang ditentukan seperti yang terlihat pada tabel1, bila beban sekunder antara 25 % sampai dengan 100 % dari beban pengenal.

Untuk kelas 0,2S dan 0,5S, dipergunakan untuk aplikasi khusus KWh meter yang mana pengukuran yang cepat pada arus antara 50 mA s/d 6 A. Kesalahan arus dan pergeseran fase, tidak melebihi nilai yang ditentukan seperti terlihat pada tabel 2.2, bila beban sekunder antara 25 % s/d 100 % dari beban pengenal. Pemakaian kelas ini diutamakan pada ratio 25/5, 50/5, dan 100/5 dengan arus pengenal 5 A.

Untuk kelas 3 dan kelas 5, kesalahan arus dan pergeseran fase tidak melebihi dari nilai yang ditentukan seperti terlihat pada tabel 2.3. Bila beban bila beban sekunder antara 50 % s/d 100 % dari beban pengenal.

**Tabel 2.2.** Batas kesalahan untuk CT keperluan khusus sesuai IEC 60044-

1

Kelas Ketelitian	+/- % kesalahan rasio arus pada arus % dari arus pengenal					+/- % pergeseran fase pada % dari arus pengenal (min)				
	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120
0,25S**	0,75	0,35	0,2	0,2	0,2	30	15	10	10	10
0,5S**	1,5	0,75	0,5	0,5	0,5	90	45	30	30	30

**Tabel 2.3.** Batas kesalahan untuk kelas 3 dan 5 sesuai IEC 60044-1

Kelas Ketelitian	+/- % kesalahan rasio arus pada arus % dari arus pengenalan		Pemakaian
	50	100	
3	3	3	Instrumen
5	5	5	Instrumen

Standar kelas akurasi yang dipergunakan untuk proteksi adalah 5P, 10P. P adalah tanda Proteksi, dan angka 5 atau 10 adalah nilai kesalahan arus dalam %, seperti terlihat pada tabel 2.4. Transformator arus yang ada untuk proteksi yaitu 5P10, 5P20, 10P10, 10P20, dan yang dibutuhkan untuk proteksi CT adalah tingkat isolasi yang tinggi, dan tidak cepat jenuh saat arus besar masuk ke sisi primer CT, karena output arus di sekunder diperlukan agar rele proteksi bekerja dengan pasti.

Misal : 20 VA, 5P/20  
 20 VA adalah keluaran daya CT dalam VA.  
 5P adalah kelas ketelitian.  
 20 adalah composite error.

**Tabel 2.4.** Batas kesalahan kelas akurasi untuk proteksi

Kelas Ketelitian	Kesalahan pada arus primer (%)	+/- % pergeseran fase pada % dari arus pengenalan		Composite error
		Menit	Centridian	
5P	±1	±60	±1,8	5
10P	±3	-	-	10

## 2.4. Kesalahan Transformasi (*Transformation Error*)

Kesalahan transformasi adalah perbandingan antara arus primer dan arus sekunder.

$$K_n = \frac{I_p}{I_s} \dots \dots \dots (2.5)$$

Persamaan untuk kesalahan arus (*current error*) adalah sebagai berikut :

$$\varepsilon(\%) = \frac{(K_n \cdot I_s) - I_p}{I_p} \times 100 \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :

- $K_n$  : Perbandingan transformasi
- $\varepsilon$  : Kesalahan arus (%)
- $I_s$  : Arus sekunder (A)
- $I_p$  : Arus primer (A)

Kesalahan rasio atau besarnya presentasi error dapat berdampak pada besarnya kesalahan pembacaan alat ukur, kesalahan perhitungan tarif, dan kesalahan operasi sistem proteksi.

## 2.5. Burden Transformator Arus (CT)

Burden merupakan nilai maksimum daya (dalam satuan VA) yang mampu dipikul oleh CT. Nilai daya ini harus lebih besar dari nilai yang terukur dari terminal sekunder CT sampai dengan coil rele proteksi yang dikerjakan. Apabila lebih kecil, maka rele proteksi tidak akan bekerja untuk mengetrikan CB/PMT apabila terjadi gangguan. Burden tersebut dinyatakan dalam daya semu (VA), maka dari itu untuk menentukan burden dapat menggunakan persamaan di bawah ini.

$$S = V \times I \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana :

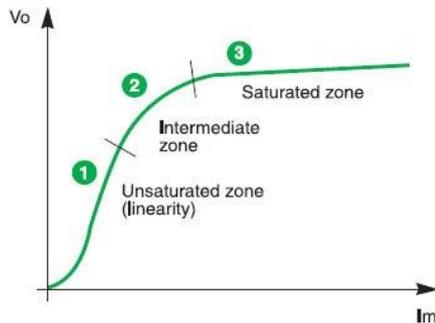
S : Burden (VA)

V : Tegangan (V)

I : Arus (I)

## 2.6. Knee Point Transformator Arus

*Knee point* adalah titik saturasi atau titik jenuh saat transformator arus melakukan eksitasi tegangan. Transformator arus memiliki kurva magnetisasi yang unik, dimana kurva tersebut dapat dibagi menjadi 3 bagian yaitu *unsaturated zone*, *intermediate zone*, dan *saturated zone*.



**Gambar 2.20.** Kurva eksitasi transformator arus

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Bahan pengujian

Bahan yang digunakan untuk pengujian adalah transformator arus dengan data teks dan spesifikasi sebagai berikut :

- Manufaktur : ABB
- Tipe : IM170
- Tahun produksi : 2014
- Nomor seri:
  - 1HSE8833747 (Fasa R)
  - 1HSE8833749 (Fasa S)
  - 1HSE8833750 (Fasa T)

Terminal:

- 1S1-1S2 : 300/5 40 VA 5P20
- 1S1-1S3 : 600/5 40 VA 5P20
- 2S1-2S2 : 300/5 40 VA 5P20
- 2S1-2S3 : 600/5 40 VA 5P20
- 3S1-3S2 : 2000/5 60 VA 5P20
- 3S1-3S3 : 4000/5 60 VA 5P20

### 3.2. Alat Pengujian

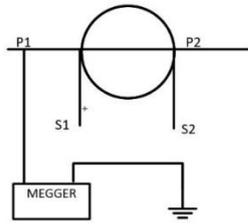
Alat penelitian yang digunakan adalah sebuah MEGGER dan Omicron CPC 100. Omicron CPC 100 merupakan perangkat pengujian yang cukup lengkap untuk melakukan pengujian transformator arus. Selain itu sesuai kemampuannya Omicron CPC 100 juga dapat melakukan pengujian transformator tenaga, sistem pentanahan (*grounding*), pengujian tegangan tinggi (HV), pengujian GIS dan circuit breaker.



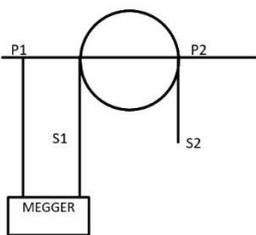
**Gambar 3.1.** Omicron CPC 100

Omicron CPC 100 dapat melakukan berbagai pengukuran parameter pada pengujian transformator arus seperti rasio, burden, *winding resistance*, *knee point*, dan polaritas. Omicron CPC 100 dapat menginjeksikan arus hingga 2000 A, dan tegangan hingga 12 kV. Alat ini sangat ideal untuk melakukan pengujian karena memiliki fitur yang cukup lengkap dan sangat *portable*.

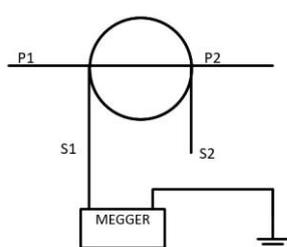
### 3.3. Rangkaian Pengujian



(a)

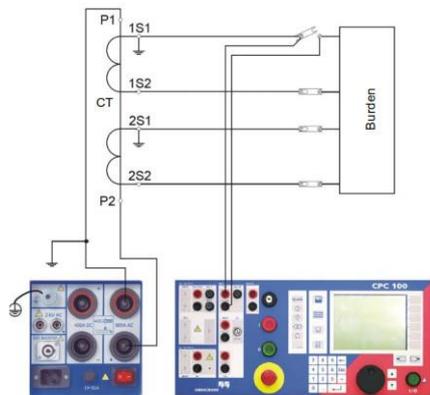


(b)

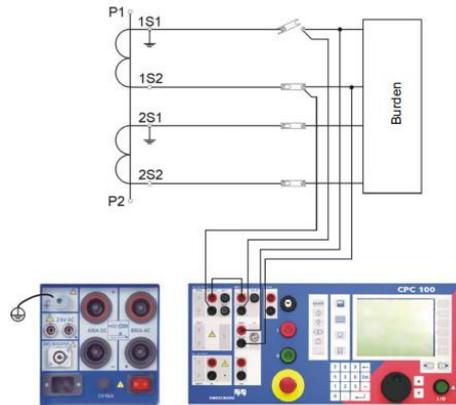


(c)

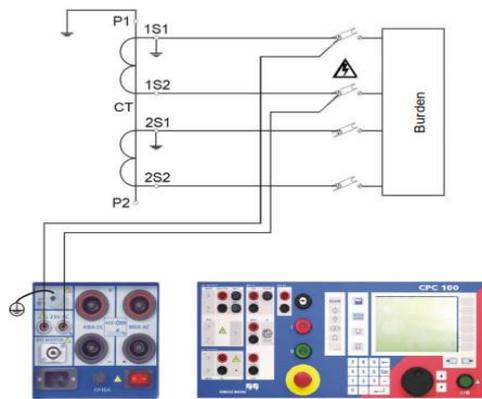
**Gambar 3.2** Pengujian tahanan isolasi transformator arus (a) primer-ground, (b) primer-sekunder, (c) sekunder-ground



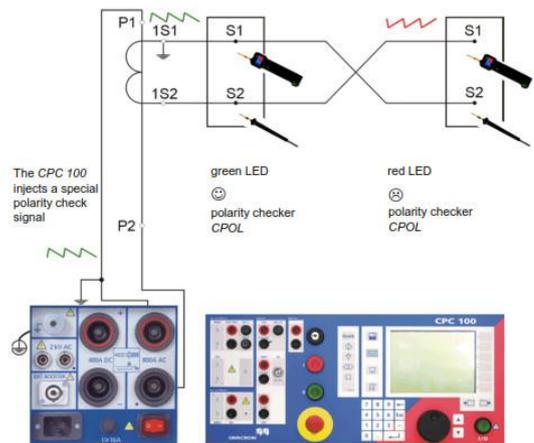
**Gambar 3.2.** Rangkaian Pengujian ratio CT



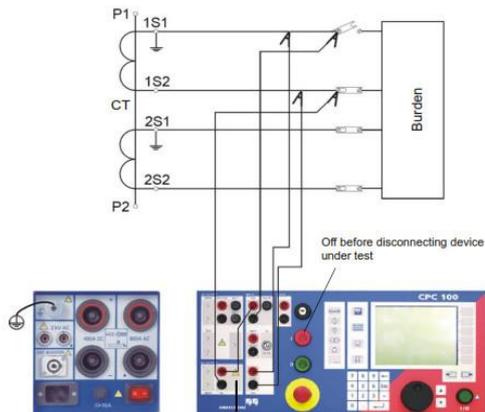
**Gambar 3.4.** Rangkaian pengujian burden CT



**Gambar 3.6.** Rangkaian Pengujian Knee Point CT

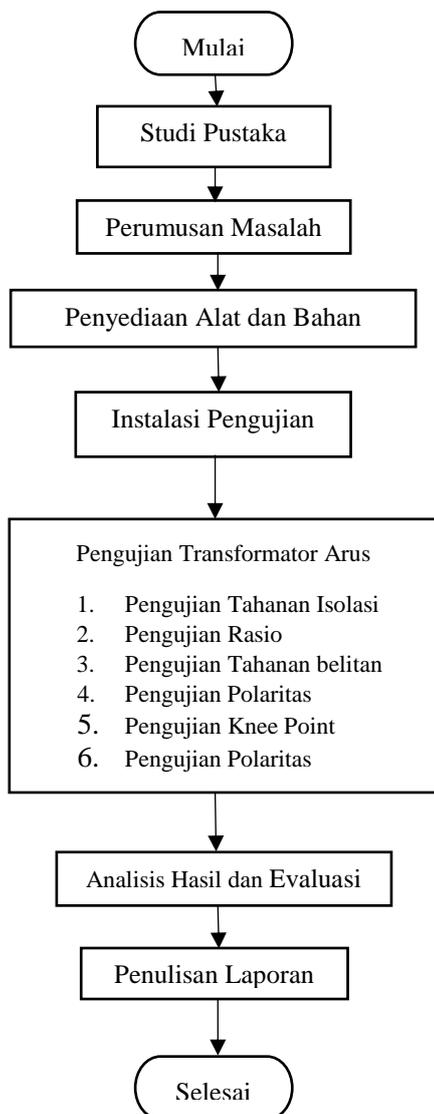


**Gambar 3.8.** Rangkaian Pengujian Polaritas CT



**Gambar 3.10.** Rangkaian Pengujian Winding Resistance CT

### 3.4. Diagram Alir Pengujian



## 4. PEMBAHASAN

### 4.1. Pengujian Tahanan Isolasi Transformator Arus

Pengujian dilakukan dengan menginjeksikan tegangan DC dengan nilai 500 V sampai dengan 5000 V. Tabel 4.27 merupakan hasil uji tahanan isolasi transformator arus.

**Tabel 4.19.** Data hasil uji tahanan isolasi transformator arus fasa R, S, dan T

Test Point	Tegangan Uji (V)	Hasil		
		R	S	T
Primer-Ground	5000	>1TΩ	>1TΩ	>1TΩ
Primer-1S1-1S2 & 1S3	1000	>1GΩ	>1GΩ	>1GΩ
Primer-2S1-2S2 & 2S3	1000	>1GΩ	>1GΩ	>1GΩ
Primer-3S1-3S2 & 3S3	1000	>1GΩ	>1GΩ	>1GΩ
1S1-1S2 & 1S3-Ground	500	>1GΩ	>1GΩ	>1GΩ
2S1-2S2 & 2S3-Ground	500	>1GΩ	>1GΩ	>1GΩ
3S1-3S2 & 3S3-Ground	500	>1GΩ	>1GΩ	>1GΩ

Nilai minimal tahanan isolasi yang disyaratkan adalah 1 Ohm pada tegangan nominal 0,001 volt. Trafo arus ini dipasang pada rangkaian yang mempunyai tegangan 150 kV maka nilai tahanan isolasi minimal dari trafo arus yang diijinkan adalah  $1000 \times 150.000 = 150.000.000 \text{ Ohm} = 150 \text{ Mega Ohm}$ . Dari data hasil pengujian trafo arus di atas dapat disimpulkan bahwa tahanan isolasi pada trafo arus terpasang dalam keadaan baik.

### 4.2. Hasil Pengujian Rasio Transformator Arus

Metode pengujian dilakukan dengan menginjeksikan 100 % dari

nominal arus pada sisi primer dengan 100 % nominal burden CT. Setelah didapatkan hasil pengujian maka dapat dilakukan perhitungan error dengan menggunakan persamaan 2.6 seperti dibawah ini :

Hasil uji rasio pada terminal 1S1-1S2 adalah sebagai berikut :

Arus uji ( $I_{test}$ ) : 300 A  
 Arus sisi sekunder : 4,973 A  
 Burden : 50 VA

$$\begin{aligned} \varepsilon(\%) &= \frac{60 \times 4,993 - 300}{300} \\ &\times 100 \\ &= -0,14 \% \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama maka besarnya kesalahan (error) pada seluruh inti transformator arus adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.1** Hasil Pengujian rasio CT pada fasa R

Inti	Arus Primer (A)	Arus Sekunder (A)	Error (%)
1S1-1S2	300	4,993	-0,14
1S1-1S3	600	4,991	-0,18
2S1-2S2	300	4,984	-0,32
2S1-2S3	600	4,995	-0,1
3S1-3S2	4000	4,999	-0,04
3S1-3S3	2000	4,998	-0,02

**Tabel 4.2** Hasil Pengujian rasio CT pada fasa S

Inti	Arus Primer (A)	Arus Sekunder (A)	Error (%)
1S1-1S2	300	4,973	-0,02
1S1-1S3	600	4,977	-0,46
2S1-2S2	300	5,012	0,24
2S1-2S3	600	5,016	0,32
3S1-3S2	2000	4,998	-0,04
3S1-3S3	4000	4,989	-0,22

**Tabel 4.3** Hasil Pengujian rasio CT pada fasa T

Inti	Arus Primer (A)	Arus Sekunder (A)	Error (%)
1S1-1S2	300	4,991	-0,08
1S1-1S3	600	4,990	-0,2
2S1-2S2	300	4,982	-0,36
2S1-2S3	600	4,994	-0,12
3S1-3S2	2000	4,998	-0,04
3S1-3S3	4000	4,996	-0,08

Berdasarkan standar IEC 60044-1 untuk kesalahan ratio tidak boleh melebihi 0,25% untuk kelas PX dan 1 % untuk kelas 5P. Dari seluruh hasil pengujian menunjukkan kesalahan rasio adalah dibawah 1 % sehingga masih diperbolehkan.

#### 4.3. Hasil Pengujian Resistansi Belitan Transformator Arus

Pengujian dilakukan untuk menentukan nilai resistansi pada belitan sekunder transformator arus. Pengujian dilakukan dengan arus uji sebesar 1 A dengan suhu referensi 75 °C. Metode ini dilakukan berdasarkan standar IEC 60044-1: 2003.

*IEC 60044-1: 2003 "Secondary winding d.c resistance in ohms corrected to 75 °C or such other temperature as may be specified".*

**Tabel 4.4.** Hasil uji resistansi belitan transformator arus pada fasa R

**Tabel 4.5.** Hasil uji resistansi belitan transformator arus pada fasa S

Core	V-DC (V)	I-DC (A)	Tahanan terukur (Ohm)	Tahanan referensi (Ohm)	Temperatur referensi (°C)	Temperatur terukur (°C)
1S1-1S2	0,131	1,022	0,128	0,152	75	25
1S1-1S3	0,233	1,023	0,228	0,271	75	25
2S1-2S2	0,139	1,023	0,136	0,162	75	25
2S1-2S3	0,274	1,023	0,268	0,319	75	25
3S1-3S2	0,395	1,022	0,386	0,461	75	25
3S1-3S3	0,855	1,021	0,837	0,999	75	25

**Tabel 4.6.** Hasil uji resistansi belitan transformator arus pada fasa R

Core	V-DC (V)	I-DC (A)	Tahanan terukur (Ohm)	Tahanan referensi (Ohm)	Temperatur referensi (°C)	Temperatur terukur (°C)
1S1-1S2	0,11	1,021	0,108	0,129	75	25
1S1-1S3	0,214	1,021	0,209	0,249	75	25
2S1-2S2	0,136	1,021	0,133	0,158	75	25
2S1-2S3	0,268	1,021	0,263	0,313	75	25
3S1-3S2	0,395	1,021	0,387	0,461	75	25
3S1-3S3	0,834	1,019	0,818	0,976	75	25

Setelah didapatkan data hasil pengujian, maka dilakukan perhitungan besarnya penyimpangan data (deviasi) tahanan terukur terhadap tahanan referensi, dimana besarnya deviasi tersebut dinyatakan dalam persen.

Perhitungan tahanan belitan harus diperhatikan terlebih dahulu dengan temperatur pada saat pengujian dimana pengujian harus dikonversi ke temperatur 75 °C dengan persamaan yang telah ditentukan oleh IEC. Perhitungan dibawah ini merupakan perhitungan tahanan belitan inti 1S1-1S2 transformator arus pada fasa R,

Core	V-DC (V)	I-DC (A)	Tahanan terukur (Ohm)	Tahanan referensi (Ohm)	Temperatur referensi (°C)	Temperatur terukur (°C)
1S1-1S2	0,11	1,021	0,108	0,129	75	25
1S1-1S3	0,214	1,021	0,209	0,249	75	25
2S1-2S2	0,136	1,021	0,133	0,158	75	25
2S1-2S3	0,268	1,021	0,263	0,313	75	25
3S1-3S2	0,395	1,021	0,387	0,461	75	25
3S1-3S3	0,834	1,019	0,818	0,976	75	25

sehingga diperoleh hasil sebagai berikut :

$$R_{ct} = R_{meas} \times \frac{234,5 + T_{ref}}{234,5 + T_{meas}}$$

$$= 0,114 \times \frac{234,5 + 75}{234,5 + 25}$$

$$= 0,136 \text{ Ohm}$$

Setelah nilai  $R_{ct}$  telah diketahui maka besarnya nilai deviasi dapat ditentukan sebagai berikut :

$$\text{Dev (\%)} = \frac{R_{ct} - R_{ref}}{R_{ref}} \times 100$$

$$= \frac{0,136 - 0,135}{0,135} \times 100$$

$$= 0,74 \%$$

Sehingga diketahui besarnya nilai deviasi pada inti 1S1-1S2 transformator arus pada fasa R adalah 0,7 %. Dengan cara yang sama seperti di atas nilai deviasi dari seluruh inti transformator arus pada fasa R, S, dan T adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.7.** Nilai deviasai transformator resistansi belitan arus pada fasa R

Core	Deviasi (%)
1S1-1S2	0,74
1S1-1S3	-0,39
2S1-2S2	-0,62
2S1-2S3	0,00
3S1-3S2	-0,21
3S1-3S3	0,00

**Tabel 4.8** Nilai deviasai resistansi belitan transformator arus pada fasa S

Core	Deviasi (%)
1S1-1S2	-0,77
1S1-1S3	0,00
2S1-2S2	0,00
2S1-2S3	0,01
3S1-3S2	0,21
3S1-3S3	0,00

**Tabel 4.9** Nilai deviasai resistansi belitan transformator arus pada fasa T

Core	Deviasi (%)
1S1-1S2	0,65
1S1-1S3	0,00
2S1-2S2	0,00
2S1-2S3	0,00
3S1-3S2	0,21
3S1-3S3	0,00

Resistansi belitan dinyatakan baik jika deviasi <5 % dari resistansi referensi. Berdasarkan data hasil perhitungan pada tabel 4.4, 4.5, dan 4.6 besarnya nilai deviasi CT fasa R, S, dan T seluruhnya lebih kecil dari 5

%, jadi resistansi DC masih dalam keadaan baik dan normal.

#### 4.4. Hasil Pengujian Burden CT

Pengujian *secondary burden* bertujuan untuk mengetahui nilai aktual beban yang terpasang pada sisi sekunder transformator arus. Pengujian ini pada dasarnya bertujuan untuk mengetahui besarnya impedansi *loop* tertutup pada beban transformator arus (kabel, rele, metering, dll). Apabila nilai burden atau nilai impedansi terukur pada arus 5 A melebihi rating burden nominal

transformator arus, maka harus dilakukan penggantian. Nilai burden dinyatakan dalam bentuk daya nyata (VA) pada power faktor yang telah ditentukan pada arus sekunder pengenal (*rated secondary current*). Definisi ini biasa digunakan dalam standar IEC 60044-1 mensyaratkan untuk melakukan pengujian dengan burden pada nilai tertentu dan power faktor 0,8 *lagging*. Nilai hasil pengujian burden transformator arus pada fasa R, S, dan T dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

**Tabel 4.10.** Hasil uji burden transformator arus pada fasa R

Bagian yang diukur	Fasa R		
	1S1-1S3	2S1-2S3	3S1-3S2
Arus (A)	1	1	1
Tegangan (V)	2,206	2,507	2,212
Burden (VA)	2,206	2,507	2,212

**Tabel 4.11.** Hasil uji beban transformator arus pada fasa S

Bagian yang diukur	Fasa R		
	1S1-1S3	2S1-2S3	3S1-3S2
Arus (A)	1	1	1
Tegangan (V)	2,546	2,513	2,530
Burden (VA)	2,546	2,513	2,530

**Tabel 4.12.** Hasil uji beban transformator arus pada fasa T

Bagian yang diukur	Fasa R		
	1S1-1S3	2S1-2S3	3S1-3S2
Arus (A)	1	1	1
Tegangan (V)	2,464	2,665	2,667
Burden (VA)	2,464	2,665	2,667

Penggunaan beban yang jauh lebih besar dari beban pengenal (*rated burden*), akan menyebabkan kesalahan rasio dan pergeseran fasa akan semakin besar. Penggunaan beban yang tidak sesuai juga akan mengakibatkan kerusakan pada peralatan ukur dan transformator arus akan lebih cepat jenuh.

Dari hasil pengujian beban pada trafo arus di atas menunjukkan nilai beban masih jauh lebih kecil dari nilai maksimum beban pada setiap inti trafo arus sehingga masih dalam keadaan normal.

#### 4.5. Analisis Hasil Uji Eksitasi (*Knee Point*)

Pada pengujian titik saturasi transformator arus (CT) atau *knee point* ada tiga standar yang biasa digunakan, ketiganya memiliki nilai standar *knee point* yang berbeda namun ketiganya dianggap sah.

*IEC/BS* – According to IEC 60044-1, the *knee point* is defined as the point of the curve where a voltage increment of 10 % increases the current by 50 %.

*ANSI 45°* – According to IEEE C57.13, the *knee point* is the point where, with a double logarithmic representation, the tangent line to the curve forms a 45° angle. Applies to current transformer cores without air gap.

*ANSI 30°* – Like ANSI 45° but forming a 30° angle. Applies to current transformer cores without air gap.

Nilai hasil pengujian transformator arus fasa R inti 1S1-1S2

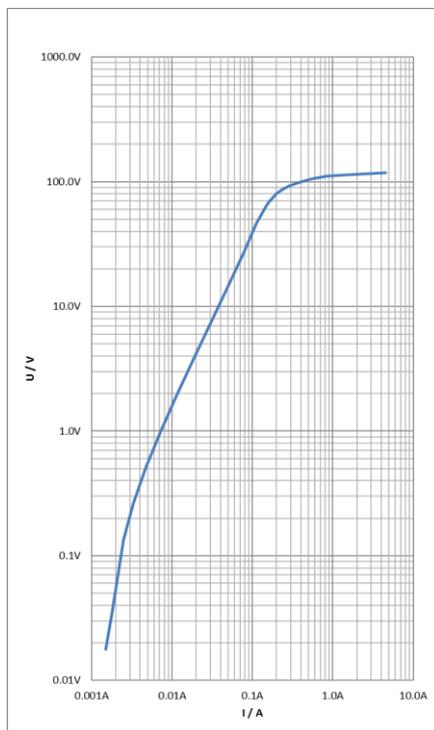
**Tabel 4.12.** Eksitasi inti 1S1-1S2

Tegangan (V)	Arus (A)
118.487	4.5237
117.3077	3.335
116.1299	2.4623
114.9113	1.8307
113.6157	1.3749
112.2138	1.0625
110.5187	0.8354
105.0192	0.5448
99.1521	0.3875
93.0508	0.2927
86.8013	0.2369
80.4841	0.2016
74.1792	0.1776
68.3398	0.1601
63.1087	0.1472
46.7899	0.113
27.9372	0.0791

14.3574	0.0492
7.3787	0.0301
3.7909	0.0184
1.9472	0.0114
1.0004	0.0072
0.5128	0.0047
0.2618	0.0033
0.1341	0.0025
0.0684	0.0021
0.0348	0.0018
0.0177	0.0015

Inti	V-knee (V)	I-knee (A)
1S1-1S2	91,115	0,273
1S1-1S3	182,152	0,1379
2S1-2S2	183,192	0,2745
2S1-2S3	370,175	0,1429
3S1-3S2	397,203	0,0417
3S1-3S3	799,521	0,00216

**Tabel 4.14.** Nilai V-knee dan I-knee CT pada fasa S



**Gambar 4.1.** Kurva eksitasi inti 1S1-1S2

V-kn : 91,115V

I-kn : 0,273A

Grafik di atas menunjukkan hubungan arus dan tegangan knee point transformator arus pada inti 1S1-1S2 fasa R.

**Tabel 4.13.** Nilai V-knee dan I-knee CT pada fasa R

Inti	V-knee (V)	I-knee (A)
1S1-1S2	91,198	0,2451
1S1-1S3	184,352	0,1302
2S1-2S2	178,256	0,2947
2S1-2S3	358,953	0,1504
3S1-3S2	399,236	0,0416
3S1-3S3	802,355	0,0212

**Tabel 4.15.** Nilai V-knee dan I-knee CT pada fasa T

Inti	V-knee (V)	I-knee (A)
1S1-1S2	97,329	0,2255
1S1-1S3	195,992	0,1192
2S1-2S2	188,627	0,2864
2S1-2S3	381,8	0,1486
3S1-3S2	421,322	0,043
3S1-3S3	850,473	0,0226

Pengujian *knee point* pada trafo arus pada dasarnya adalah untuk mengetahui nilai dimana trafo arus mengalami kejenuhan. Untuk perhitungan kejenuhan inti dapat adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 V_s &= 6290 \times \frac{5}{600} (0,136 + 0,08) \\
 &= 52,416 \times 2,458 \\
 &= 128,8 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama maka tegangan pada sisi sekunder trafo arus dengan arus gangguan adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.16.** Nilai  $V_k$  dan  $V_s$  transformator arus pada fasa R

Inti	$V_k$ (V)	$V_s$ (V)
1S1-1S3	182,152	128,838
2S1-2S3	370,175	147,697
3S1-3S2	397,203	42,199

**Tabel 4.17.** Nilai  $V_k$  dan  $V_s$  transformator arus pada fasa S

Inti	$V_k$ (V)	$V_s$ (V)
1S1-1S3	184,352	146,522
2S1-2S3	358,953	148,127
3S1-3S2	399,236	47,03

**Tabel 4.18.** Nilai  $V_k$  dan  $V_s$  transformator arus pada fasa T

Inti	$V_k$ (V)	$V_s$ (V)
1S1-1S3	195,992	143,357
2S1-2S3	381,38	156,409
3S1-3S2	421,322	49,187

Dari hasil pengujian di atas nilai  $V_k > V_s$  dengan demikian trafo arus masih memenuhi kebutuhan.

#### 4.6. Pengujian Polaritas Transformator Arus

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan apakah penandaan polaritas pada sisi primer dan sekunder tidak terbalik. Kesalahan polaritas akan menyebabkan kesalahan fungsi metering dan kegaalan rele proteksi terutama *directional relay* dan *differential relay*. Pengujian ini dilakukan dengan menginjeksikan arus atau tegangan. Untuk menentukan

polaritas terbalik atau tidak digunakan alat bantu yaitu CPOL, atau bisa juga menggunakan amperemeter.

Di bawah ini adalah hasil pengujian polaritas transformator arus pada fasa R, S, dan T transformator daya 3 GI Purworejo :

**Tabel 4.19.** Data hasil uji polaritas transformator arus pada fasa R

Core (Inti)	Polaritas
1S1-1S2	OK
1S1-1S3	OK
2S1-2S2	OK
2S1-2S3	OK
3S1-3S2	OK
3S1-3S3	OK

**Tabel 4.20.** Data hasil uji polaritas transformator arus pada fasa S

Core (Inti)	Polaritas
1S1-1S2	OK
1S1-1S3	OK
2S1-2S2	OK
2S1-2S3	OK
3S1-3S2	OK
3S1-3S3	OK

**Tabel 4.21.** Data hasil uji polaritas transformator arus pada fasa T

Core (Inti)	Polaritas
1S1-1S2	OK
1S1-1S3	OK
2S1-2S2	OK
2S1-2S3	OK

3S1-3S2	OK
3S1-3S3	OK

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dan evaluasi pengujian transformator arus pada trafo 3 fasa R, S, dan T di Gardu Induk 150 kV Purworejo, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Transformator arus ini dipasang pada rangkaian yang mempunyai tegangan 150 kV maka nilai tahanan isolasi minimal dari trafo arus yang diijinkan adalah  $1000 \times 150.000 = 150.000.000$  Ohm = 150 Mega Ohm. Dari data hasil pengujian trafo arus di atas dapat disimpulkan bahwa tahanan isolasi pada trafo arus terpasang dalam keadaan baik
2. Besanya kesalahan transformasi (*ratio error*) seluruh inti transformator arus pada transformator 3 masih dibawah batas maksimal standar kelas akurasi yang telah ditentukan IEC 60044-1 yaitu dibawah  $\pm 1\%$ , sehingga transformator masih memiliki tingkat akurasi yang baik.
3. Deviasi resistansi belitan pada transformator arus fasa R, S, dan T terkecil adalah  $-0,77\%$  dan terbesar adalah  $0,65\%$ , sehingga resistansi masih dalam keadaan normal.
4. Burden yang terpasang pada inti transformator arus terkecil adalah 2,206 VA dan terbesar 2,667 VA. Maksimal burden pada transformator arus yaitu 40

VA-60 VA sehingga masih jauh di bawah batas maksimal.

5. Dari seluruh hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa transformator arus memiliki tingkat akurasi yang baik dan telah memenuhi syarat untuk kebutuhan sistem proteksi pada transformator tenaga 3 gardu induk Purworejo.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Agus Cahyono, Tri, 2008, *LASO (Less Attended Substation Operation)*, PT.PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban Jawa-Bali Region Jawa Tengah dan DIY.
- [2]. Team O & M Transmisi dan Gardu Induk PT.PLN Pembangkitan Jawa Barat dan Jakarta Raya, 1981, *Operasi dan Memelihara Peralatan*, PT.PLN Pembangkitan Jawa Barat dan Jakarta Raya.
- [3]. Tim Pelatihan Operator Gardu Induk, 2002, *Pengantar Teknik Tenaga Listrik*, PT. PLN (Persero).
- [4]. Hatauruk, T.S. 1985. *Transmisi Daya Listrik*, Jakarta: Erlangga
- [5]. Kadir, Abdul. 1989. *Transformator*, Jakarta : PT. Elex Komputindo – Kelompok Gramedia.
- [6]. L. Gebert, Kenneth. 1981. *Transformers*, USA :

- American Technical  
Publisher, Inc.
- [7].Wahyudi, Sarimun. N. 2009,  
Pengaruh Instrumen  
Pengukuran pada Meter  
Transaksi Tenaga Listrik.  
Skripsi. Tidak  
dipublikasikan. Jakarta :  
STT-PLN
- [8].IEC 60044-1-2003.  
Instrument Transformers.
- [9].IEEE C57.13-2008. IEEE  
Standard Requirements for  
Instrument Transformers.