



ANALISIS PENGUJIAN *SHUTDOWN MEASUREMENT* TRANSFORMATOR ARUS 150 KV PADA GARDU INDUK TELLO

Iqmal Mujahid Djodding¹, Aldi Rasyid²

¹²Program studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah
Makassar Jl.

Sultan Alauddin No.259, Rappocini Makassar, Sulawesi Selatan, 90221, Indonesia

e-mail : aldirasyid09@gmail.com¹, immal.mujahid@gmail.com²

ABSTRAK

Pada gardu induk, terdapat transformator arus yang merupakan peralatan yang mengubah besaran arus yang berskala besar menjadi besaran arus yang kecil yang digunakan untuk keperluan pengukuran dan proteksi. Mengingat pentingnya peranan transformator arus, maka diperlukan pengujian Shutdown measurement dimana pekerjaan pengujian transformator arus dilakukan pada saat peralatan dalam keadaan padam sehingga kondisi transformator arus dapat diketahui dan gangguan yang terjadi pada transformator arus dapat diketahui. Oleh karena itu, kegiatan ini bertujuan untuk mengetahui langkah-langkah pengujian shutdown measuring dan mengevaluasi kelayakan transformator arus melalui pengujian shutdown measuring. Dalam penelitian ini, objek yang diuji adalah transformator arus 150 kV Gardu Induk Tello.

Terdapat empat pengujian shutdown measurement yang dilakukan, yaitu pengujian tahanan isolasi, pengujian tan delta, pengujian tahanan pentanahan, dan pengujian rasio. Hasil pengujian yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan standar SKDIR 520 tahun 2014 yang digunakan PT. PLN (Persero) untuk mengetahui hasil pengujian telah memenuhi standar atau tidak sehingga dapat diketahui transformator arus 150 kV pada Gardu Induk Tello layak beroperasi atau tidak.

Berdasarkan empat pengujian shutdown measurement yang dilakukan pada transformator arus meliputi pengujian tahanan isolasi, pengujian tan delta, pengujian rasio, serta pengujian tahanan pentanahan hasilnya menunjukkan bahwa tahanan isolasi terkecil transformator arus sebesar 116 G Ω (standar $\geq 0,15$ G Ω), pengukuran tahanan pentanahan terbesar sebesar 0,62 Ω (standar < 1 Ω), pengukuran tan delta terbesar sebesar 0,1635% (standar $< 1\%$), dan rasio yang sesuai dengan name plate. Berdasarkan standar SKDIR 520 tahun 2014, hasil pengujian shutdown measurement pada transformator memenuhi standar SKDIR 520 tahun 2014 sehingga transformator arus 150 kV pada Gardu Induk Tello dapat dikatakan layak beroperasi.

ABSTRACT

At the substation, there is a current transformer which is equipment that converts large-scale current quantities into small current quantities that are used for measurement and protection purposes. Considering the important role of current transformers, Shutdown



measurement testing is required where current transformer testing work is carried out when the equipment is turned off so that the condition of the current transformer can be determined and disturbances that occur in the current transformer can be identified. Therefore, this activity aims to determine the steps for shutdown measuring testing and evaluating the feasibility of current transformers through shutdown measuring testing. In this research, the object tested was a 150 kV current transformer at the Tello Main Substation.

There are four shutdown measurement tests carried out, namely insulation resistance testing, tan delta testing, grounding resistance testing, and ratio testing. The test results obtained were then compared with the 2014 SKDIR 520 standard used by PT. PLN (Persero) to find out whether the test results have met the standards or not so that it can be seen whether the 150 kV current transformer at the Tello Substation is suitable for operation or not.

Based on four shutdown measurement tests carried out on current transformers including insulation resistance testing, tan delta testing, ratio testing, and grounding resistance testing, the results show that the smallest insulation resistance of the current transformer is 116 G Ω (standard ≥ 0.15 G Ω), the largest grounding resistance measurement of 0.62 Ω (standard < 1 Ω), the largest tan delta measurement of 0.1635% (standard $< 1\%$), and the ratio corresponds to the name plate. Based on the 2014 SKDIR 520 standard, the shutdown measurement test results on the transformer meet the 2014 SKDIR 520 standard so that the 150 kV current transformer at the Tello Substation can be said to be suitable for operation.

I. PENDAHULUAN

Gardu induk merupakan salah satu sistem penyaluran dimana sangat memerlukan keandalan untuk penyaluran energi listrik sehingga menunjang kelancaran konsumsi energi listrik pada konsumen. Salah satu peralatan yang terdapat pada gardu induk adalah transformator arus atau yang biasa disebut dengan Current Transformator (CT). Transformator arus merupakan peralatan yang digunakan untuk pengukuran besaran arus pada sisi primer yang berskala besar dengan mengubah besaran arus yang besar menjadi besaran arus yang kecil untuk keperluan pengukuran dan proteksi.

Transformator arus merupakan peralatan yang penting bagi gardu induk karena berkaitan dengan sistem proteksi maupun dalam pengukuran yang berkaitan dengan sistem pengaturan beban sehingga transformator arus harus sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Transformator arus yang tidak sesuai standar dapat menyebabkan kesalahan sudut fasa. Selain itu, transformator arus dengan kesalahan rasio yang tinggi dapat menyebabkan sistem proteksi yang terpasang menjadi gagal bekerja ketika adanya gangguan.

Karena pentingnya peranan transformator arus pada gardu induk, maka diperlukan pengujian. Pengujian yang dilakukan berupa Shutdown measuring dimana pekerjaan pengujian yang dilakukan pada saat peralatan dalam



keadaan padam. Dengan pengujian ini, maka kondisi transformator arus dapat diketahui sehingga gangguan yang terjadi pada transformator arus dapat diketahui. proteksi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

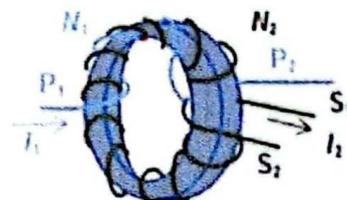
A. Transformasi Alur

Dalam buku pemeliharaan trafo arus tahun 2014 terdapat teori dan definisi terkait tugas akhir dimana buku ini merupakan sumber referensi utama dari tugas akhir ini.

1. Pengertian transformasi alur

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

Pada dasarnya prinsip kerja transformator arus sama dengan transformator daya, yaitu timbulnya gaya gerak magnet. Gaya gerak magnet ini memproduksi fluks pada inti, kemudian membangkitkan gaya gerak listrik (GGL) pada sisi kumparan sekunder. Prinsip kerja dari transformator arus dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Rangkaian Transformator Arus

Bila Transformator tidak mempunyai rugi-rugi (transformator ideal)

Berlaku persamaan 2.1: $\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$ (2.1)

Keterangan:

I_1 = Arus Primer

I_2 = Arus Sekunder

N_1 = Jumlah lilitan

primer N_2 = Jumlah

lilitan sekunder

2. Fungsi Transformator Arus

Berdasarkan buku pedoman pemeliharaan trafo arus, transformator arus memiliki fungsi :

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

Secara fungsi Transformator dibedakan menjadi arus dua, yaitu transformator arus pengukuran dan transformator arus proteksi.

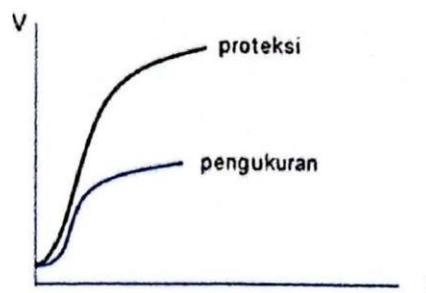
a) Trafo arus pengukuran

Transformator arus pengukuran untuk metering memiliki ketelitian tinggi pada daerah kerja (daerah pengenalnya) 5% - 120% arus nominalnya tergantung dari kelasnya dan tingkat kejenuhan yang relatif rendah dibandingkan trafo arus untuk proteksi.

b) Trafo arus proteksi

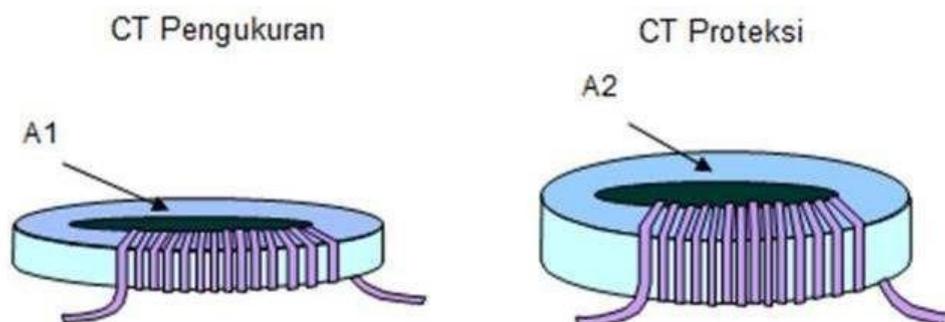
Transformator arus untuk proteksi memiliki ketelitian tinggi pada saat terjadi gangguan dimana arus yang mengalir beberapa kali dari arus pengenalnya dan tingkat kejenuhan cukup tinggi. Penggunaan trafo arus proteksi untuk relai arus lebih, relai beban lebih, relai diferensial, relay daya dan relay jarak.

Transformator arus pengukuran memiliki perbedaan dengan trafo arus proteksi. Perbedaan mendasar antara trafo arus pengukuran dan trafo arus proteksi adalah titik saturasi seperti pada gambar 2.2



Gambar 2. 2 Kurva Trafo Arus Pengukuran Dan Proteksi

Selain perbedaan dari titik saturasi, trafo arus pengukuran dirancang agar



lebih cepat jenuh dibanding trafo arus proteksi sehingga konstruksinya mempunyai penampang inti lebih kecil seperti pada gambar 2.3

Gambar 2.3 Penampang Inti Trafo Arus

3. Jenis Transformasi Arus

a) Jenis trafo arus menurut tipe konstruksi dan pasangannya

1) Tipe Konstruksi

- a. Tipe cincin (ring/window type)
- b. Tipe cor-coran cast resin (*mounded cast resin type*)
- c. Tipe tangki minyak (oil tank type)
- d. Tipe trafo arus bushing

2) Tipe Pasangan.

- a. Pasangan dalam (indoor)
- b. Pasangan luar (outdoor)

b) Jenis trafo arus berdasarkan konstruksi belitan primer:

1) Sisi Premier Batang (*bar primary*)



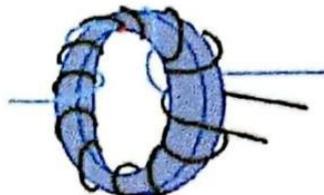
Konstruksi belitan



Konstruksi fisik

Gambar 2.4 Transformator Arus *Bar Primary*

2) Sisi tipe lilitan (*wound primary*)



Konstruksi Belitan



Konstruksi fisik

Gambar 2.5 Sisi Tipe Lilitan

c) Jenis trafo arus berdasarkan jenis isolasi

1) Trafo arus kering

- 2) Trafo arus cast resin
- 3) Trafo arus isolasi minyak
- 4) Trafo arus isolasi SF6
- 5) Trafo arus pemasangan luar ruangan (*outdoor*)



Gambar 2. 6 Trafo Arus Pemasangan Luar Ruangan

- 6) Trafo arus pemasangan dalam ruangan (*Indoor*)

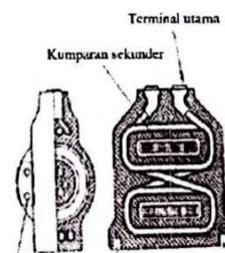


Gambar 2.7 Trafo Arus Pemasangan Dalam Ruangan

4. Komponen Transformator Arus

a) Tipe cincin (*ring/window type*)

Transformator arus tipe cincin dan cor-coran cast resin biasanya digunakan pada kubikel penyulang (tegangan 20 kV dan pemasangan indoor). Jenis isolasi pada transformator arus tipe cincin adalah Cast Resin. Komponen



transformator arus tipe cincin dapat dilihat pada gambar 2.8.



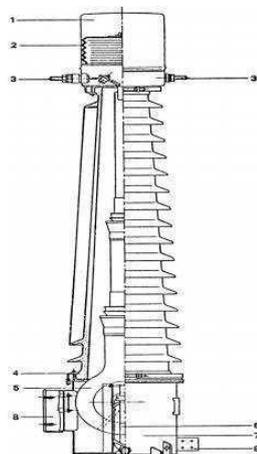
Komponen Fisik

Komponen Trafo Arus Cincin

Gambar 2. 8 Trafo Arus Tipe Cincin

b) Tipe tangki

Komponen transformator arus tipe tangki dapat dilihat pada gambar 2.9.



1. Bagian atas Trafo arus
2. Peredam perlawanan pemuaiian minyak
3. Terminal utama
4. Penjepit
5. Inti kumparan dengan belitan berisolasi utama
6. Inti dengan kumparan sekunder
7. Tangki
8. Tempat terminal
9. Plat untuk pentanahan

Gambar 2.9 Komponen Trafo Arus Tipe Tangki

B. Kesalahan Transformasi Alur

1. Kesalahan Perbandingan/Rasio

Kesalahan perbandingan/rasio trafo arus berdasarkan IEC-60044-1 Edisi 1.2 tahun 2003 adalah kesalahan besaran arus karena perbedaan rasiopengenal trafo arus dengan rasio sebenarnya dinyatakan persamaan 2.2:

$$\varepsilon = \frac{Kn \cdot I_s - I_p}{I_p} \times 100\% \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan:

ε = kesalahan rasio transformator arus (%)

Kn = pengenal rasio transformator arus



I_p = aruarus primer aktual
transformator arus

$(A)I_s$ = arus sekunder aktual transformator arus (A)

2. Kesalahan sudut fasa

Kesalahan sudut fasa adalah kesalahan akibat pergeseran fasa antara arus sisi primer dengan arus sisi sekunder. Kesalahan sudut fasa dibagi menjadi dua nilai, yaitu:

- Bernilai positif (+) jika sudut fasa I_s mendahului I_p
- Bernilai negatif (-) jika sudut fasa I_s tertinggal I_p

C. Kelas Ketelitian / Akurasi Transformator Arus

1. Kelas Ketelitian Transformator Arus Pengukuran

Transformator arus pengukuran memiliki ketelitian tinggi untuk daerah pengukuran sampai 1,2 kali nominalnya. Daerah kerja transformator arus pengukuran antara: $0.1 - 1.2 \times I_N$ transformator arus. Kelas ketelitian transformator arus pengukuran dinyatakan dalam persentase kesalahan rasio pengukuran baik untuk arus maupun pergeseran sudut fasa, seperti pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Kelas Ketelitian Transformator Arus Pengukuran

Kelas Ketelitian	+ / - % Kesalahan Rasio Arus pada % dari Arus Pengenal				+ / - Pergeseran Fase pada % dari Arus Pengenal Menit (1/ 60 derajat)			
	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	1,5	1,0	1,0	180	90	60	60

2. Kelas Ketelitian Transformator Arus Proteksi

Kelas ketelitian transformator arus proteksi dinyatakan dalam kode tertentu, misalnya 15 VA, 10P20. 15 VA merupakan pengenal beban (burden) transformator arus, sebesar 15 VA. 10P adalah kelas proteksi dimana kesalahan komposit 10% pada pengenal batas akurasi. Sedangkan angka 20 merupakan Accuracy Limit Factor, batas ketelitian transformator arus sampai dengan 20 kali arus pengenal. Adapun kelas ketelitian transformator arus proteksi dinyatakan dalam persentase kesalahan rasio pengukuran baik untuk arus maupun pergeseran sudut fasa, seperti pada tabel 2.2

Tabel 2.2 Kesalahan Rasio dan Pergeseran Fasa Trafo Arus Proteksi

Kelas Ketelitian	Pada Arus Pengenal		Kesalahan komposit pada batas ketelitian arus primer pengenal (%)
	Kesalahan Rasio	Kesalahan Sudut (menit)	
5P	± 1	± 60	5
10P	± 3	-	10

C. Pedoman Pengujian *Shutdown measurement*

1. *Shutdown measurement*

Shutdown measurement adalah pekerjaan pengujian yang dilakukan pada saat peralatan dalam keadaan padam. Pekerjaan ini dilakukan pada saat pemeliharaan rutin maupun pada saat investigasi ketidaknormalan

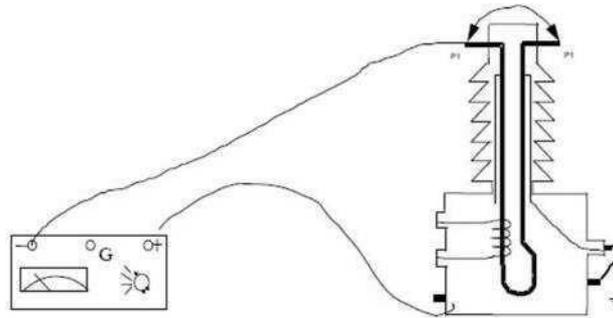
2. tahanan isolasi

Pengujian tahanan isolasi berfungsi untuk mengetahui kualitas tahanan isolasi pada trafo arus baik antar belitan maupun antara belitan dan Ground. Alat yang digunakan untuk pengujian tahanan isolasi adalah Insulation tester seperti pada gambar 2.11.



Gambar 2. 10 Alat Ukur Insulation Tester

Untuk mendapatkan hasil pengujian yang akurat, pencatatan hasil pengukuran dilakukan setelah 60 detik dan tidak perlu dilakukan perhitungan. Ilustrasi pengujian tahanan isolasi CT dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2. 11 Pengukuran Tahanan Isolasi Trafo Arus

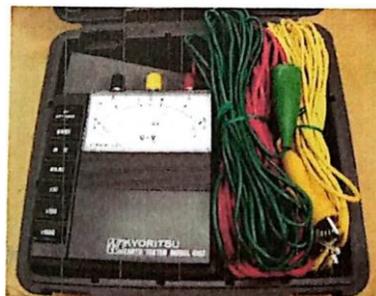
Standar yang digunakan adalah VDE Batasan dengan 1M Ω m per 1 kV. Hasil evaluasi dan rekomendasi hasil pengukuran tahanan isolasi dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Evaluasi dan Rekomendasi Pengukuran Tahanan Isolasi

No.	Hasil Uji Coba	Keterangan	Rekomendasi
1.	>1 M Ω m/1kV	Good	-
2.	<1 M Ω m/1kV	Poor	Lakukan pengujian lebih lanjut

3. Tahanan Pentanahan

Pengukuran besarnya tahanan pentanahan menggunakan alat uji tahanan pentanahan. Nilai tahanan pentanahan mempengaruhi keamanan personil terhadap bahaya tegangan sentuh. Alat uji tahanan pentanahan menggunakan Earth Tester seperti pada gambar 2.13.



Gambar 2.12 Alat Uji Earth Tester

Hasil evaluasi dan rekomendasi hasil pengukuran tahanan isolasi dapat dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Evaluasi dan Rekomendasi Pengujian Tahanan Pentanahan

No.	Hasil Pengujian	Keterangan	Rekomendasi
1.	<1 Ω m	Good	Normal

2.	>10hm	Poor	Periksa kondisi konduktor Grounding dan sambungan.
----	-------	------	--

4. Rasio

Pengukuran rasio bertujuan untuk membandingkan nilai rasio hasil pengukuran dengan nilai pada name plate. Pengujian ini menggunakan alat uji injeksi arus (high current test injection) dan tang ampere. Rasio dari trafo arus adalah sama dengan rasio dari trafo arus referensi yang dikalikan rasio antara arus sisi sekunder trafo arus referensi dengan arus sisi sekunder trafo arus yang diuji, seperti persamaan 2.3

$$\frac{N}{T} = \frac{N}{R} \frac{I_R}{I_T} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

N_T :Rasio trafo arus yang diuji

N_R :Rasio trafo arus referensi

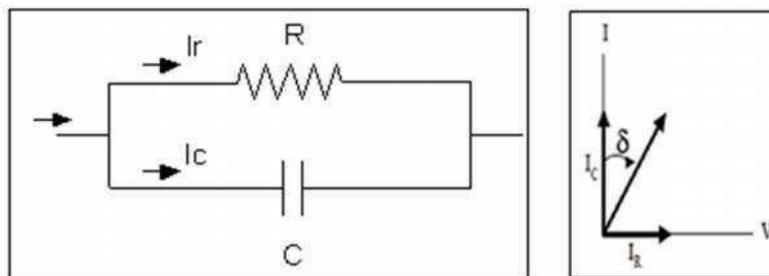
I_R : Arus trafo arus referensi

I_T : Arus CT trafo arus diuji

5. Tangen Delta

Tangen delta atau sering disebut loss angel adalah metode diagnostik secara elektikal untuk mengetahui kondisi isolasi. Pengujian tangen delta memiliki tujuan untuk mengetahui karakteristik isolasi pada sebuah bushing dan belitan transformator memenuhi standar atau sudah tidak layak untuk digunakan. Sifat isolasi tidak selalu murni, isolasi yang terkontaminasi nilai tahanan dari isolasi berkurang dan berdampak pada tingginya arus resistif yang melewati isolasi tersebut.

Dengan mengukur nilai I_R/I_C dapat diperkirakan kualitas dari isolasi. Gambar 2.14 merupakan rangkaian kivalen dari sebuah isolasi dan diagram phasor arus kapasitansi dan arus resistif dari sebuah isolasi



Gambar 2.13 Rangkaian Ekuivalen dan Diagram Fasor Tangen Delta

Tangen delta sendiri merupakan hasil dari perbandingan antara arus resistif dan arus kapasitif, dimana rumus tangen delta yang didapat sebagai berikut.

$$\tan \delta = \frac{I_R}{I_{RES}} \dots\dots\dots(2.4)$$

Rumus penurunan sebagai berikut:

$$\tan \delta = \frac{I_R}{I_R+I_C} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

Tan δ = Tangen Delta

I_R = Arus resistif (A)

I_{RES} = Arus Resultan (A)

I_C = Arus kapkapasitif (A)

Hasil evaluasi dan rekomendasi hasil pengukuran tahanan isolasi dapat dilihat pada tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Evaluasi dan Rekomendasi Pengujian Tangen Delta

No.	Hasil Pengujian	Keterangan	Keterangan
1.	<1%	Dapat Diterima	Lakuakn pengujian sesuai periode yang di jadwalkan
2.	>1%	Tidak Dapat Diterima	a. Lakukan pengujian sekali lagi utuk mwastikan akurasi hasil uji atau mengacu ke manual book b. Lihat trend hasil pengujian/hasil uji periode sebelumnya ataumengacu pada hasil uji pabrikan c. Bandingkan dengan hasil pengujian yang lain (tahanan isolasi) d. Sesuai rekomendasi pabrik

III. METODE PENELITIAN

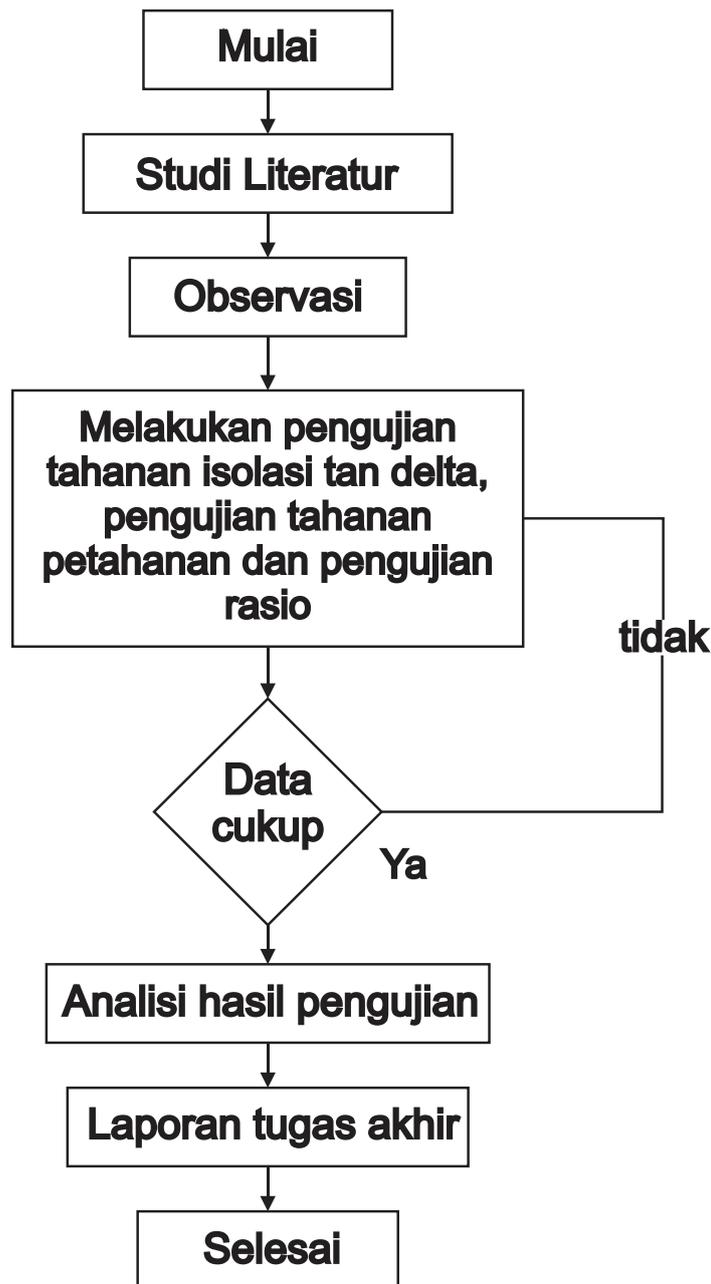
A. Tempat dan Waktu Penelitian

Pembuatan tugas akhir ini akan dilaksanakan selama 3 bulan mulai dari bulan Juni 2023 sampai dengan Agustus 2023 sesuai dengan waktu di rencanakannya penelitian.

B. Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam melakukan penelitian hingga penyelesaian laporan dilakukan secara terstruktur, sistematis dan terarah. Berikut langkah-langkah yang menjadi acuan dari penulis:

1. Mempelajari objek melalui literatur yang telah dikumpulkan dan mengenali objek yang akan diteliti di lapangan,
2. Mengambil data penelitian yang dibutuhkan dari objek yang diteliti,
3. Mengolah data penelitian yang telah diidentifikasi berupa hasil pengukuran tahanan isolasi, hasil pengukuran tahanan pentanahan, hasil pengukuran rasio, dan hasil pengukuran tangen delta sesuai dengan tinjauan pustaka sebagai acuan,
4. Melakukan analisis terhadap data yang telah diperoleh, salah satunya dengan membandingkan hasil pengolahan data terhadap teori sesuai standar dan ketentuan yang ada, dan menjadikan rumusan masalah serta tinjauan pustaka sebagai acuan analisa,
5. Menampilkan data kegiatan yang telah dianalisa berdasarkan rumusan masalah.
6. Menarik kesimpulan dari hasil analisis yang telah dilakukan sehingga tujuan ataupun rumusan masalah dari objek kegiatan dapat terjawab. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada diagram alir (flowchart



Gambar 3.1 diagram alur (flowchart) kegiatan

C. Teknik pengumpulan data

Teknik atau metode pengumpulan data yang dilakukan pada kegiatan ini tentang "Pengujian Trafo Arus di Gardu Induk Tello" adalah sebagai berikut.

1. Metode Literatur

Pengumpulan data dengan metode literatur dilakukan dengan cara mengumpulkan berbagai referensi-referensi baik berupa buku, internet, jurnal ilmiah, dokumen pengujian *shutdown measurement* gardu induk maupun buku panduan dari PT.PLN (Persero) yang dapat menunjang dan membantu proses pembuatan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

2. Metode Wawancara

Metode wawancara yaitu metode dimana dilakukan pengumpulan data

dengan cara melakukan tanya jawab maupun konsultasi langsung dengan narasumber yang menguasai teori dan mengetahui hal-hal yang berhubungan dengan shutdown measurement, yaitu Supervisor OPHAR, Supervisor Gardu Induk, serta staf pemeliharaan maupun pihak lain yang terkait.

3. Metode Observasi

Pengumpulan data dengan metode observasi dilakukan dengan cara mencari data-data teknis secara langsung di lapangan. Data tersebut berupa hasil pengukuran shutdown measurement yang diambil pada saat kegiatan pengujian. Pengumpulan data dan pengamatan langsung di lapangan dilakukan di Gardu Induk.

D. Teknik Analisis Data

Setelah data hasil kegiatan diperoleh dan telah lengkap, maka dilakukan analisis data dengan membandingkan data hasil pengujian yang diperoleh dengan standar SK DIR 520 tahun 2014. Selanjutnya, hasil analisis data akan menunjukkan hal-hal yang dapat ditarik sebagai kesimpulan. Salah satu hal utama yang akan dicari adalah apakah nilai berbagai data yang diperoleh sesuai dan memenuhi standar atau ketentuan. Apabila hasilnya tidak sesuai, maka dilakukan pemberian rekomendasi terkait hal-hal yang sebaiknya dikoreksi pada objek kegiatan sehingga dapat memenuhi standar yang berlaku guna tercapainya keandalan dan keamanan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Penelitian

1. Spesifikasi Transformator Arus

Transformator arus yang digunakan merupakan transformator arus tipe tangki minyak berinti banyak yang terdiri dari lima core tipe tap. Untuk spesifikasi transformator arus yang digunakan pada GI Tello dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Namplate Transformator Arus 150kv Gardu Induk Tello

Merek	Trench
Um	170kv
Standar	IEC 81689-2
Idyn	100kA
Tipe Minyak	<i>Mineral Oil</i>
Ins. Level	325/750kv

Ith	40kA/1s							
1-pn (A)	P1-P2 (2000)							
Core	1S1-1S2	1S1-1S3	2S1-2S2	2S1-2S3	3S1-3S2	3S1-3S3	4S1-4S2 5S1-5S2	4S1-4S3 5S1-5S3
Rasio	800/5	1600/5	800/5	1600/5	800/5	1600/5	1000/5	2000/5
Burden (VA)								
Kelas	PX	-	5p	-	0,5	-	-	-
ALF/FS		-	20	-	10	-	-	-
VK (V)	1030	-	-	-	-	-	-	532
Rct(ohm)	0,9	-	-	-	-	-	-	15

2. Data Hasil Pengujian

Data hasil pengujian transformator arus 150 kV pada Gardu IndukTello yaitu sebagai berikut.

a) Pengujian Tahanan Isolasi

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Tahanan Isolasi

Titik Ukur	Nilai Tahanan Isolasi (GΩ)		
	Fasa R	Fasa S	Fasa T
Primer-Tanah	148	116	881

b) Pengujian Tahanan Pentanahan

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Tahanan Pentanahan

Fasa	R(Ω)	S(Ω)	T(Ω)
Tahanan Pentanahan	0,43	0,62	0,35

3. Pengujian Rasio

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Rasio

Fas a	I Primer (A)	I Sekunder (A)	Rasio Terukur
-------	--------------	----------------	---------------

R	160	1	159,5
S	160	1	159,8
T	160	1	159,7

4. Pengujian Tan Delta

4.5 Hasil Pengujian Tan Delta Variabel Tegangan

Fasa	Vtest (kV)	Itest (mA)	Frekuensi(Hz)	Capasitan si(nF)	TD(%)
R	2	1.1514	50	1,8287	0,1304
	4	2.3019		1,8287	0,1312
	8	4.6020		1,8287	0,1313
	10	5.7555		1,8288	0,1309
S	2	1.1461		1,8216	0,1336
	4	2.2926		1,8215	0,1344
	8	4.5860		1,8215	0,1333
	10	5.7310		1,8215	0,1341
T	2	1.1661		1,8525	0,1394
	4	2.3319		1,8525	0,1395
	8	4.6647		1,8525	0,1394
	10	5.8290		1,8525	0,1394

B. Deskripsi Hasil Penelitian

a. Langkah-Langkah Pekerjaan ,Shutdown Measurement

Berdasarkan PT. PLN (Persero) Pusdiklat Jakarta, ada beberapa tahapan yang dilakukan dalam pekerjaan Shutdown Measurement adalah sebagai berikut.

a) Breafing

Briefing tentang rencana kerja yang akan dilaksanakan kepada seluruh personil yang terlibat dalam pekerjaan dilaksanakan oleh Pengawas Pekerjaan, Pengawas K3, Pengawas dan Manufer.

b) Pelaksanaan manuver untuk pembebasan tegangan

Setelah pengawas manuver memperoleh ijin dari Dispatcher untuk

1) Memposisikan Switch Lokal/Remote ke posisi Lokal.

2) Manuver pembebasan tegangan, sesuai rencana manuver yang telah dibuat.

3) Memasang tagging pada panel kontrol.

4) Apabila lokasi pekerjaan diluar jangkauan pengamatan Operator Gardu Induk, maka Pengawas Manuver dan Pengawas Pekerjaan agar menjalin komunikasi. Pelaksanaan manuver pembebasan tegangan, maka pelaksana manuver melaksanakan

c) Pelaksanaan pekerjaan

Setelah manuver dilakukan manuver, Pelaksana Pekerjaan melaksanakan :

- 1) Memasang pentanahan lokal pada peralatan / instalasi listrik yang akan dikerjakan. Kawat pentanahan lokal dipasang pada sistem Grounding terlebih dahulu, baru kemudian dipasang pada bagian instalasi yang akan dikerjakan.
- 2) Melakukan pemasangan tagging dan rambu pengaman di switchyard pada daerah berbahaya dan daerah aman.
- 3) Melaksanakan pekerjaan sesuai rencana.

d) Pekerjaan selesai

- 1) Melepas pentanahan lokal. Melepas kawat pentanahan lokal pada bagian instalasi dilepas terlebih dahulu, kemudian kawat pentanahan lokal pada bagian sistem Grounding dilepas.
- 2) Melepas tagging dan rambu pengaman di switchyard pada daerah berbahaya dan daerah aman
- 3) Merapikan peralatan kerja.
- 4) Setelah pekerjaan selesai, pengawas pekerjaan membuat Pernyataan Pekerjaan Selesai dan diserahkan kepada Pengawas Manuver yang disaksikan oleh Pengawas K3.

e) Pelaksanaa manuver pemberian tegangan

Pengawas Manuver membuat pernyataan bahwa instalasi siap diberi tegangan kepada Dispatcher. Kemudian Pelaksana Manuver melakukan :

- 1) Membuka PMS tanah.
- 2) Melepas tagging pada panel kontrol.
- 3) Memosisikan switch Lokal / Remote pada posisi Remote. Jika Remote kontrol Dispatcher gagal, maka berdasarkan perintah Dispatcher, posisi switch Lokal / Remote diposisikan Lokal dan Pelaksana Manuver melaksanakan manuver penutupan PMT untuk pemberian tegangan.
- 4) Pekerjaan selesai dan instalasi telah normal Kembali

Terdapat beberapa tahapan yang dilakukan sebelum melakukan pengujian pada transformator arus 150 kv adalah sebagai berikut.

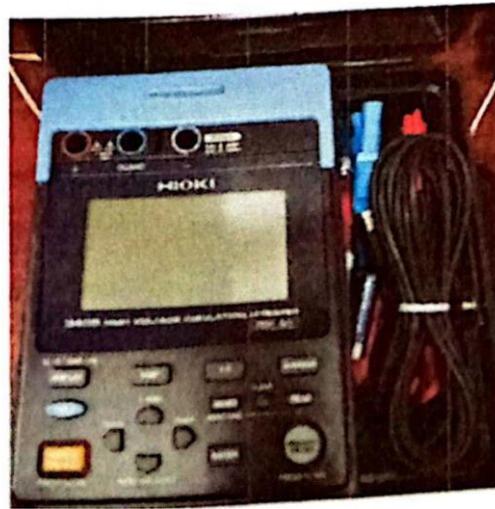
- 1) Menyiapkan peralatan dan perlengkapan yang dibutuhkan.
- 2) Memasang Grounding pada transformator arus agar tidak ada sisategangan yang ada pada instalasi.
- 3) Mencatat spesifikasi yang tertera pada name plate transformator arus.
- 4) Membersihkan transformator arus sebelum dilakukan pengujian.

Adapun Langkah -Langkah pengujian transformator arus 150 kV yaitu sebagai berikut.

a. Pengujian Tahanan Isolasi

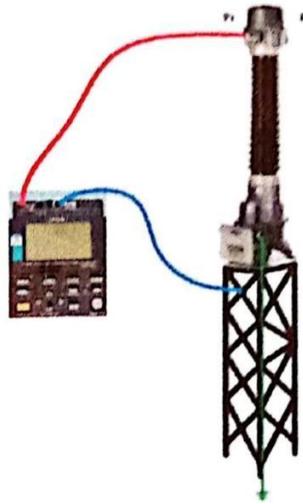
Langkah – langkah pengujian tahanan isolasi menggunakan alat ukur insulationtester merek Hioki 3455 (Gambar 4.2) adalah sebagai berikut.

- 1) Menyiapkan alat ukur insulation tester.



Gambar 4. 1 Insulation Tester Hioki 3455

- 2) Menghubungkan alat ukur insulation tester ke terminal utama dan Ground..



Gambar 4. 2 Rangkaian Pengujian Tahanan Isolasi

- 3) Menyalakan insulation tester dengan menekan tombol power



Gambar 4.3 Tombol Power Insulation tester

- 4) Mengatur tegangan injeksi yang diinginkan dengan menekan tombol test voltage. Untuk pengujian pada sisi primer digunakan tegangan injeksi 5 kV



DC dan sisi sekunder digunakan 500V DC.

Gambar 4.4 Tombol Test Voltage Insulation tester

- 5) Melakukan pengujian dengan menekan tombol Measure dan melakukan pengukuran selama ± 1 menit. Setelah itu, mencatat hasil pengujian pada form yang telah disediakan.



Gambar 4.5 Tombol Measure Insulation tester

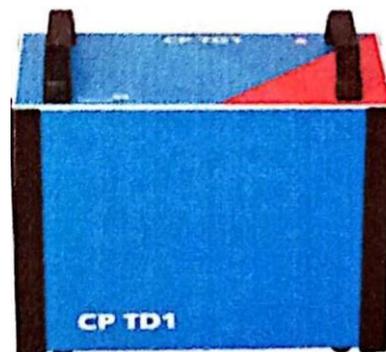
- 6) Mematikan insulation tester dengan menekan tombol power Kembali

b. Pengujian Tan Delta

Langkah-langkah pengujian tan delta menggunakan alat CPC 100 dan CP-TD merek Omicron adalah sebagai berikut.



(a) CPC-100



(b) CP-TD

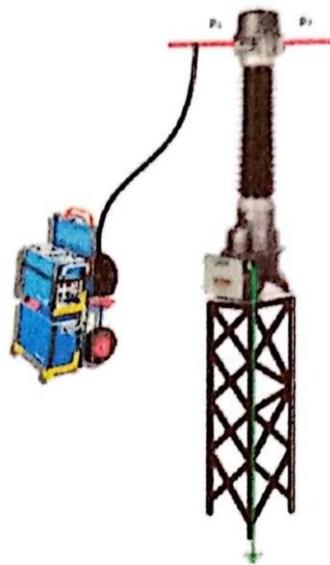
Gambar 4. 6 Alat Pengujian Tan Delta

- 1) Memasang Grounding pada alat ukur CPC 100 dan CP-TD.
- 2) Merangkai alat ukur CPC 100 dan CP-TD.



Gambar 4. 7 Rangkaian Alat Ukur CPC 100 dan CP-TD

3) Menghubungkan alat ukur ke sisi primer trafo arus.



Gambar 4. 8 Rangkaian Pengujian.

4) Menyalakan CPC 100 kemudian CPC 100 akan melakukan booting. CPC 100 siap digunakan jika lampu indikator hijau CPC 100 menyala.

5) Mengisi data spesifikasi transformator arus pada CPC 100.

6) Melakukan pengukuran dengan mengatur variabel tegangan AC 2 kV-10 kV.

7) Memulai pengukuran dengan menekan tombol I/O

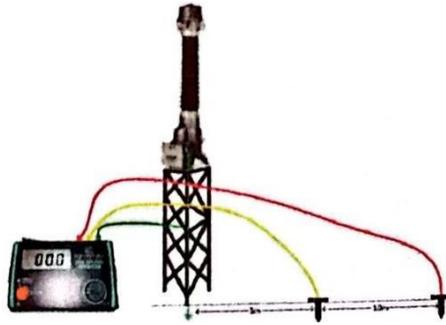


Gambar 4. 9 Tombol I/O

8) Membaca hasil pengukuran pada display dan mencatat hasil pengukuran.

c. Pengujian Tahanan Pentanahan

Langkah-langkah pengujian tahanan pentanahan menggunakan alat EarthTester



merek Hioki 3455 (Gambar 4.1) adalah sebagai berikut.

- 1) Menghubungkan kabel merah, kuning, dan hijau ke alat ukur.



Gambar 4.10 Earth Tester Hioki 3455

Gambar 4. 11 Rangkaian Pengujian Tahanan
Pentanahan

- 2) Menghubungkan kabel merah dari alat ukur ke elektroda yang ditancapkan ke tanah jarak 10 -15 meter.
- 3) Menghubungkan kabel kuning dari alat ukur ke elektroda yang telah ditancapkan ke tanah jarak 5-10 meter.
- 4) Menghubungkan kabel hijau dari alat ukur ke pentanahan peralatan.
- 5) Memutar range switch pada Earth Tester ke "20 Ω ".
- 6) Melakukan pengukuran dengan menekan sambal memutar tombol "Press to Test" Selama beberapa detik.
- 7) Membaca hasil pengukuran pada display dan mencatat hasil pengukuran

d. Penujian rasio

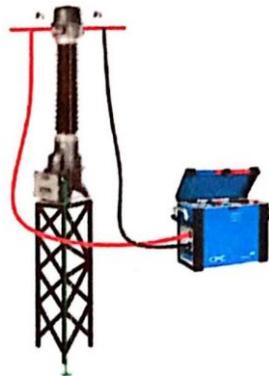
Langkah – langkah pengujian Rasio menggunakan alat CPC 100 merekOmicron adalah sebagai berikut.

- a) Memasang Grounding pada alat CPC 100.
- b) Merangkai rangkaian alat ukur CPC 100.



Gambar 4.12 Rangkaian Alat Ukur CPC 100

- c) Menghubungkan CPC 100 ke terminal utama (P1 dan P2).



Gambar 4.13 rangkaian pengujian rasio

- a) Menyalakan CPC 100. CPC Jika lampu indikator hijau CPC 100 menyala, maka CPC 100 siap digunakan.
- b) Mengatur arus injeksi pada CPC 100.
- c) Memulai pengukuran dengan menekan tombol I/O.
- d) Melihat dan mencatat arus yang terbaca pada tang amper untu arus yang keluar pada sisi sekunder transformator arus.
- e) Menghentikan pengukuran dengan menekan kembali tombol I/O.
- f) Mengulangi kembali langkah e sampai h dengan besaran arus injeksi yang bervariasi untuk mendapatkan perbandingan.

3. Kelayakan Transformator Arus 150kV berdasarkan dari pengujian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut.

a. Pengujian Tahanan Isolasi

Pengujian tahanan isolasi ialah pengujian untuk mengetahui kualitas tahanan isolasi transformator arus untuk mencegah terjadinya arus bocor dari transformator arus. Pengujian tahanan isolasi menggunakan alat insulation tester menggunakan injeksi tegangan sebesar 5 kV.

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.2, pengukuran tahanan isolasi transformator arus antara primer dengan tanah untuk fasa R bernilai 148 GΩ, fasa S

bernilai 116 GΩ, dan $\tilde{\omega}$ bernilai 881 GΩ. Fasa $\tilde{\omega}$ memiliki nilai tahanan isolasi yang besar dibanding fasa R dan fasa S.

Menurut standard VDE, tahanan isolasi minimal sebesar “MΩ=1 kV” dengan artian 1 kV harus memiliki kemampuan mengisolasi tegangan sebesar 1 MΩ. Sebagai contoh perhitungan untuk hasil pengujian tahanan isolasi antara primer-tanah transformator arus fasa S, yaitu :

$$\text{Kemampuaan Isolasi} = \frac{\text{hasil pengujian}}{\text{tegangan uji}}$$

$$\text{Kemampuaan Isolasi} = \frac{116\text{G}\Omega}{5\text{kv}}$$

$$\text{Kemampuaan Isolasi} = \frac{23,2\text{G}\Omega}{1\text{kv}}$$

$$\text{Kemampuaan Isolasi} = 23.200\text{M}\Omega/1\text{kV}$$

Adapun hasil perhitungan dan evaluasi kemampuan isolasi setiap transformator arus adalah sebagai berikut.

Tabel 4.7 Evaluasi Kemampuan Tahanan Isolasi Transformator Arus 150kV

Titik Ukur	Fasa			Standar (MΩ/kV)	Keterangan
	R(MΩ/kV)	S (MΩ/kV)	$\tilde{\omega}$ (MΩ/kV)		
Primer-Tanah	29.600	23.200	176.200	1	Baik

b. Pengujian Tahanan Pentanahan

Pengujian tahanan pentanahan dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai tahanan pentanahan yang mempengaruhi keamanan personil terhadap bahaya tegangan sentuh. Tahanan pentanahan mempengaruhi keamanan personil terhadap bahaya tegangan sentuh. Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 4.3, tahanan pentanahan yang diperoleh pada fasa R bernilai 0,43 Ω, fasa S bernilai 0,62 Ω, dan fasa T. bernilai 0,35 Ω. Adapun evaluasi dari hasil pengujian tahanan pentanahan berdasarkan standar SK DIR 520 Tahun 2014 yang terdapat pada Tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Evaluasi Hasil Pengujian Tahanan Pentanahan Transformator Arus 150kV

Fasa	Hasil pengujian (Ω)	Standar (Ω)	Keterangan
R	0,43		Baik

S	0,62	< 1 ohm	Baik
T	0,35		Baik

c. Pengujian Tan Delta

Pengujian tangean delta bertujuan untuk menunjukkan kekuatan isolasi, kehilangan daya elektrik dan kelembapan berbagai macam isolasi. Isolasi yang baik pada dasarnya bersifat kapasitif sempurna, dalam hal ini isolasi dianggap sebagai kapasitor murni. Tegangan dan arus bergeser 90° pada kapasitor murni dan arus yang melewati isolasi merupakan kapasitif. Apabila pergeseran antara tegangan dan arus menjadi kurang dari 90° , maka pergeseran ini menunjukkan adanya nilai kontaminasi yang disebut tangean delta. Semakin rendah nilai tangean delta maka semakin bagus nilai tahanan isolasinya, tetapi semakin tinggi nilai tangean delta kondisi isolasi semakin jelek. Pengujian tan delta menggunakan alat uji CPC-100 dan CP-TD merek Omicron.

Pengujian tan delta pada transformator arus menggunakan tegangan sebesar 2 kV, 4 kV, 8 kV dan 10 kV dengan frekuensi sebesar 50 Hz. Injeksi tegangan bertujuan untuk mengetahui tegangan tembus dari perangkat isolasi. Mengacu pada tabel 4.5, maka arus resistif dan arus kapasitif pada fasa R secara teori dapat dilakukan seperti di bawah ini.

$$V : 2 \text{ kv} = 2000 \text{ v}$$

$$C : 1,8287 \text{ nF} = 1,8278 \times 10^{-9} \text{ F}$$

Frekuensi : 50 Hz

$$\omega : 2\pi f$$

$$\tan \delta : 0,1304\%$$

$$I_{RES} : 1.1514 \text{ mA}$$

Penyelesaian :

Untuk mencari arus resistif (I_c) dapat dihitung dengan persamaan :

$$I_c = V\omega C$$

$$I_c = 2000 \times 2 \times 3,14 \times 50 \times 1,8287 \times 10^{-9}$$

$$I_c = 0.0011 \text{ A} = 1.1484 \text{ mA}$$

Sedangkan mencari arus kapasitif (I_R) dapat dihitung dengan persamaan:

$$I_{RES} = I_R + I_c$$

$$I_R = I_{RES} - I_c$$

$$I_R = 1,1514 - 1,1484$$

$$I_R = 0,0030 \text{ mA}$$

Sedangkan sudut pergeseran tan delta dapat dicari dengan persamaan:

$$\tan \delta = \frac{I_R}{I_{RES}}$$

$$\tan \delta = \frac{0,0030}{1,1514}$$

$$\tan \delta = 2,6 \times 10^{-3}$$

$$\delta = 0,1493^\circ$$

Tabel 4.9 Evaluasi hasil perhitungan dan evaluasi nilai tan delta variabel tegangan Transformator Arus 150 kV GI Tello

Fasa	Vtest (Kv)	Ires (mA)	IR (mA)	IC (mA)	δ (°)	α (°)	TD (%)	Stand ar	Keterangan
R	2	1,1514	0,0030	1,1484	0,1493	89,8507	0.1304	<1%	Dapat Diterima
	4	2,3019	0,0051	2,2968	0,1269	89,8731	0.1312		Dapat Diterima
	8	4,6020	0,0083	4,5937	0,1033	89,8967	0.1313		Dapat Diterima
	10	5,7555	0,0131	5,7424	0,1304	89,8696	0.1309		Dapat Diterima
S	2	1,1461	0,0027	1,1434	0,1350	89,8650	0.1336		Dapat Diterima
	4	2,2926	0,0048	2,2878	0,1200	89,8800	0.1344		Dapat Diterima
	8	4,5860	0,0098	4,5762	0,1224	89,8776	0.1333		Dapat Diterima
	10	5,7310	0,0126	5,7184	0,1260	89,8740	0.1341		Dapat Diterima
T	2	1,1661	0,0027	1,1634	0,1327	89,8673	0.1394		Dapat Diterima
	4	2,3319	0,0052	2,3267	0,1278	89,8722	0.1395		Dapat Diterima
	8	4,6647	0,0101	4,6546	0,1241	89,8759	0.1394		Dapat Diterima
	10	5,8290	0,0121	5,8169	0,1189	89,8811	0.1394		Dapat Diterima

Dari tabel 4.9 dapat diketahui bahwa nilai tan delta Transformator Arus 150 kV GI Tello masih dapat diterima dan masih memenuhi standar yang ditetapkan oleh PT. PLN Persero pada tabel 2.5, yaitu kurang dari 1 persen (<1%). Dengan demikian, maka tidak diperlukan investigasi atau pengujian yang lain.

d. Pengujian Rasio

Pengujian rasio bertujuan untuk memastikan transformasi arus dari satu besaran yang besar ke besaran yang tertera pada nameplate. Pengujian ini menggunakan CPC 100 Omicron yang memberi arus pada sisi primer transformator arus dan tang ampere yang mengukur keluaran arus pada sisi sekunder. Untuk transformator arus 150 kV GI Tello ini menggunakan rasio 800/5 A. Mengacu pada tabel 4.4, maka perhitungan arus secara teori dapat dilakukan seperti contoh transformator arus fasa R di bawah ini.

Diketahui :

$$\text{Arus Primer } (I_p) : 5\% I_n = 5\% \times 800 \text{ A} = 160 \text{ A}$$

Arus Sekunder (I_s): 1 A

Rasio transformator arus secara teori (N_R) : 800/5 =

160 Rasio transformator arus yang diuji (N_T) : 159,5

Penyelesaian:

$$\frac{I}{T} = \frac{I}{R} \frac{I R}{I r}$$

$$I_T = \frac{I R \times N_R}{N_T}$$

$$I_r = \frac{I \times 160}{159,5}$$

$$I_T = 1,003 \text{ A}$$

Setelah memperoleh arus yang diukur, maka kesalahan rasio dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$\text{Error } (\%) = \frac{N_R - N_T}{N_R} \times 100\%$$

$$\text{Error } (\%) = \frac{160 - 159,5}{160} \times 100\%$$

$$\text{Error } (\%) = 0,31\%$$

Adapun hasil perhitungan dan evaluasi pengujian setiap transformator arus adalah sebagai berikut.

Tabel 4.10 Pengujian Rasio Transformator Arus GI Tello

Fasa	Rasio Teori	Rasio Terukur	Is Terukur(A)	Error (%)	Standar (%)	Keterangan
R	160	159,5	1.003	0.31	±0.5	Baik
	240	239.5	1.002	0.21		Baik
	320	319,4	1,001	0,19		Baik
S	160	159,8	1,001	0,12		Baik
	240	239,8	1,000	0,08		Baik
	320	319,7	1,000	0,09		Baik
T	160	159,7	1,001	0,19		Baik
	240	239,7	1,001	0,13		Baik
	320	319,6	1,001	0,12		Baik

Berdasarkan tabel 4.10 dapat diketahui bahwa rasio Transformator Arus 150 kV GI Tello dapat dikatakan baik dan diperbolehkan oleh standar SKDIR 520 tahun 2014.

V. PENUTUP

A. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penulisan tugas akhir ini yaitu sebagai berikut.

1. Pelaksanaan pengujian transformator arus 150 kv yang dilakukan berdasarkan perintah yang dimulai dengan breafing, pelaksanaan manuver pembebasan tegangan, pelaksanaan pekerjaan, pekerjaan selesai, dan pelaksanaan manuver pemberian tegangan.
2. Transformator Arus 150 Kv pada Gardu Induk Tello berdasarkan empat parameter pertama, pengujian tahanan isolasi untuk mengetahui kualitas tahanan transformator arus untuk mencegah terjadinya arus bocor dari transformator arus. kedua pengujian pentanahan dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai tahanan pentanahan yang mempengaruhi keamanan personil terhadap bahaya tegangan sentuh, ketiga Pengujian tangen delta bertujuan untuk menunjukkan kekuatan isolasi, kehilangan daya elektrik dan kelembapan berbagai macam isolasi, dan yang terakhir Pengujian rasio bertujuan untuk memastikan transformasi arus dari satu besaran yang besar ke besaran yang lebih kecil masih sesuai dengan yang tertera pada nameplate. Dari keempat pengujian dapat dikatakan memenuhi standar SK DIR 530 tahun 2014 sehingga dapat dinyatakan masih baik dan aman untuk beroperasi.

B. SARAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan maka penulis menyatakan kepada PT.PLN (Persero) untuk melakukan pemeliharaan secara rutin, seperti pelaksanaan *in server inspection* secara mingguan untuk mencegah anomali atau mendeteksi terjadinya anomali lebih awal.

DAFTAR PUSTAKA

Fuad, Khairul. "Studi Penggunaan Dan Pemeliharaan Current Transformator (CT)150kv Pada Gardu Induk (Gi) Banda Aceh". Skripsi Universitas Syiah Kuala, 2014. Diakses

tanggal 5 juli 2023

Omicron. 2019. A. CPC-100. Omicron Energy CPC-100, (Online),
(<http://www.omicronenergy.com/en/products/cp-td1215/>).

Diakses tanggal

5 juli 2023

PT.PLN (Persero). 2014. "Buku Pedoman Pemeliharaan Trafo Arus
PDM/PGI/02:2014)", SK DIR PLN PUSAT No.114.K/DIR/2014,
Jakarta:

PT.PLN (Persero) Pusat Pendidikan dan Pelatihan. 2010. "Switching", Jakarta
Putra, Wildan R. "Pengaruh Bentuk dan Material
Elektrode terhadap Partial

Discharge." Jurnal Teknik ITS, vol.4, no. 1, 2015.Salim,
Qaderia, Koerniawan, Tony, Widyastuti, Christine. 2020.
Analisis Penggantian Bushing Transformator Tenaga Sisi
Primer Fasa T Bay Trafo 1 150 KV/20 KV 60MVA di
Gardu Induk Cikupa. Tugas Akhir.

Jakarta: Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi PLN.

Sugiharto, Agus. (2015). Pemakaian Dan Pemeliharaan Transformator Arus
(*Current Transformer* / Ct). Swara Patra, 5(1).

Wibowo, Okky Rusty dan Agung Nugroho. 2010.

Pemeliharaan Transformator Arus Pada Gardu Induk

Krapyak 150 KV PT. PLN (Persero) P3B Jawa -

Bali App Semarang. Laporan Penelitian. Semarang: Universitas Diponegoro

Fitzgerald, A.E., Charles Kingsley, Jr., dan Stephen D. Umans, Mesin-mesin
listrik, terjemahan Djoko Achyanto, edisi keempat, 2020: Jakarta,
Penerbit Erlangga.

Harten Van P, Setiawan E, Ir; *Instalasi Listrik Ants Kuat 3*, Penerbit: Bind Cipta.