

P-21

STUDI KELAYAKAN PERALATAN VOLTAGE TRANSFORMATOR 150 KV GARDU INDUK TENGGAWANG

FEASIBILITY STUDY OF 150 KV TRANSFORMER VOLTAGE EQUIPMENT TENGGAWANG SUBSTATION

Rahmat Hasrul¹, Restu Mukti Utomo^{2*}, Muslimin³, Arif Harjanto⁴, Nur Rani Alham⁵

^{1,2,3,4,5} Universitas Mulawarman, Sempaja Selatan, Kec. Samarinda Utara, Kota Samarinda, Kalimantan Timur, 75242, Samarinda

*E-mail: restuutomo@ft.unmul.ac.id

Diterima 01-10-2023	Diperbaiki 08-10-2023	Disetujui 09-10-2023
---------------------	-----------------------	----------------------

ABSTRAK

Dalam operasionalnya, gardu induk menggunakan berbagai perangkat pengukuran dan transformasi tegangan untuk memastikan kinerja yang optimal. Salah satunya adalah Voltage Transformator (VT) yang berperan dalam mentransformasikan tegangan tinggi menjadi tegangan rendah untuk kebutuhan peralatan indikator alat ukur/meter dan relay. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mempelajari dan menganalisis kelayakan dari VT. Metode yang digunakan untuk dapat mengetahui kelayakan dari VT yaitu dengan melakukan tiga level inspeksi di antaranya yaitu In Service Inspection, In service Measurement dan Shutdown Measurement. Hasil dari penelitian ini yaitu untuk level pertama berupa pengamatan secara visual terhadap komponen-komponen VT dan didapatkan hasil yang masih dalam kondisi baik. Kemudian untuk level kedua berupa hasil uji thermovisi dan didapatkan hasil perbedaan antar fasa terbesar yaitu sebesar 1,5°C. Untuk level ketiga yaitu berupa 4 pengujian di antaranya pengujian tahanan isolasi dengan hasil terendah yaitu 36 GΩ pada fasa R dengan titik ukur P-1a, pengujian ratio VT dengan hasil tertinggi yaitu 0,24% pada fasa S dengan titik ukur 1a-1n, pengujian tahanan tanah dengan hasil tertinggi yaitu 0,17Ω pada fasa T, terakhir yaitu pengujian tan delta dengan hasil tertinggi yaitu 0,71% pada fasa R dengan tegangan uji 10kV. Berdasarkan hasil uji dan dengan melihat standar yang telah ditetapkan yaitu SK-DIR Nomor 0520-2.K/DIR/2014, hasil dari ketiga level inspeksi yang dilakukan masih sesuai dengan standar.

Kata kunci: Voltage Transformator, Kelayakan, Gardu Induk

ABSTRACT

In operation, substations use various voltage measurement and transformation devices to ensure optimal performance. One of them is the Voltage Transformer (VT) which plays a role in transforming high voltage into low voltage for the needs of measuring instrument / meter indicator equipment and relays. The main objective of this study is to study and analyze the feasibility of VT. The method used to be able to determine the feasibility of VT is by conducting three levels of inspection, including In Service Inspection, In service Measurement and Shutdown Measurement. The results of this study are for the first level in the form of visual observation of VT components and obtained results that are still in good condition. Then for the second level in the form of thermovision test results and the largest inter-phase difference result of 1.5 ° C was obtained. For the third level, it is in the form of 4 tests including isolation resistance testing with the lowest result of 36 GΩ in the R phase with a measuring point P-1a, VT ratio testing with the highest result of 0.24% in the S phase with a measuring point of 1a-1n, grounding resistance testing with the highest result of 0.17Ω in the T phase, the last is delta tan testing with the highest result of 0.71% in the R phase with a test voltage of 10kV. Based on the test results and by looking at the established standards, namely SK-DIR Number 0520-2.K/DIR/2014, the results of the three levels of inspections carried out are still in accordance with the standards.

Keywords: Transformer Voltage, Feasibility, Substation

PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik merupakan infrastruktur yang terdiri dari berbagai komponen yang bekerja bersama untuk menghasilkan, mentransmisikan, mendistribusikan, dan menyediakan energi listrik kepada pengguna akhir. Sistem ini bertujuan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat akan sumber energi listrik yang andal, aman, dan berkelanjutan. PT. PLN (Persero) adalah perusahaan BUMN (Badan Usaha Milik Negara) yang bertanggung jawab sebagai penyedia listrik terbesar di Indonesia. PLN memiliki peran strategis dalam mengelola pembangkitan, transmisi, dan distribusi energi listrik di seluruh wilayah Indonesia. ULTG (Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk) adalah divisi pelaksana yang bertugas menjalankan operasi dan pemeliharaan rutin sistem transmisi dan gardu induk di wilayahnya dengan efektif dan sesuai standar yang telah ditetapkan. Tujuan utama ULTG adalah memastikan kualitas dan keandalan pasokan tenaga listrik kepada konsumen [1].

Gardu Induk merupakan salah satu komponen penting dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk mentransmisi, mendistribusikan, dan mengendalikan aliran energi listrik ke konsumen akhir. Fungsi utama Gardu Induk ada dua, yang pertama yaitu menerima dan menyalurkan tenaga listrik sesuai dengan kebutuhan pada tegangan tertentu dengan aman dan dapat diandalkan. Kedua yaitu penyaluran daya ke gardu induk lainnya dan gardu-gardu distribusi melalui penyulang tegangan menengah [2].

Ruang lingkup pada penelitian ini yaitu hanya fokus pada peralatan *voltage transformer* (VT) dan tidak membahas peralatan lain, kemudian penelitian ini membahas kelayakan dari VT dan tidak membahas kegiatan perawatan dan pemeliharaan pada gardu induk, kemudian yang terakhir yaitu fokus pada 3 level inspeksi dengan level ketiga mencakup 4 pengujian yaitu pengujian tahanan isolasi, *ratio* VT, tahanan tanah dan pengujian tan delta.

Penelitian terdahulu dengan judul “Pengujian Tahanan Isolasi pada Pemeliharaan Pemutus Tenaga Kubikel *Outgoing* 20 kV menggunakan *Insulation Tester*” dengan hasil uji tahanan isolasi terendah yang diperoleh yaitu 167000 M Ω pada fasa S yang artinya nilai ini masih sesuai dengan standar yang ditetapkan yaitu 1kV=1M Ω [3]. Kemudian penelitian terdahulu selanjutnya dengan judul “Studi Analisa Kelayakan Transformator Arus

untuk Proteksi Sistem Tenaga Listrik berdasarkan Hasil Uji Tahanan Isolasi, Rasio dan Eksitasi” dengan hasil yang diperoleh yaitu nilai rata-rata tahanan isolasi dan CT untuk fasa R, S dan T berturut-turut adalah 71.550 M Ω , 12.590 M Ω dan 31.710 M Ω yang dimana nilai tersebut masih sesuai dengan standar yang ditetapkan yaitu 20 M Ω . Kemudian hasil dari pengujian rasio diperoleh untuk kelas proteksi (5P) yaitu $\pm 1\%$ dan untuk kelas *metering* (0,2) yaitu $\pm 0,2\%$ dan nilai tersebut masih sesuai dengan standar IEC 60044-1 [4].

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya yaitu terdapat pada metode penelitian yang digunakan. Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini yaitu melakukan tiga level inspeksi terhadap *Voltage Transformer* (VT) yaitu *In Service Inspection*, *In Service Measurement* dan *Shutdown Measurement* yang dimana ketiga level tersebut sudah mencakup pengamatan secara visual terhadap komponen-komponen pada VT, pengujian *thermovisi*, pengujian tahanan isolasi, pengujian rasio VT, pengujian tahanan tanah dan pengujian tan delta.

Adapun penelitian ini dilakukan tentunya melihat permasalahan yang sering terjadi di Gardu Induk yaitu seperti seringnya terjadinya pemadaman listrik, kerusakan peralatan atau gangguan dalam pasokan listrik ke pelanggan yang dapat mempengaruhi wilayah pada gardu induk tersebut.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui kelayakan dari salah satu peralatan yang ada pada gardu induk yaitu *Voltage Transformer* (VT) dengan menyesuaikan data hasil uji dengan standar yang telah ditetapkan. Oleh karena itu, penelitian ini perlu dilakukan untuk mengetahui apakah VT dapat dikatakan layak untuk digunakan dalam operasi gardu induk dan diharapkan dapat mengurangi risiko terjadinya gangguan-gangguan yang mungkin terjadi pada gardu induk.

METODOLOGI

Lokasi Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di salah satu gardu induk yang ada di Samarinda yaitu PT. PLN (Persero) Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk (ULTG) Samarinda yang berlokasi di Jl. Tengkwang No.1, Karang Anyar, Kec. Sungai Kunjang, Kota Samarinda, Kalimantan Timur 75243.



Gambar 1. ULTG Samarinda

Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu dengan melakukan tiga level inspeksi terhadap *Voltage Transformator* (VT) di antaranya *In Service Inspection*, *In Service Measurement* dan *Shutdown Measurement*. Adapun standar yang dijadikan acuan untuk dilakukannya tiga level inspeksi ini yaitu berdasarkan Keputusan Direksi PT. PLN (Persero) Nomor 0520-2.K/DIR/2014 Tentang Himpunan Buku Pedoman Pemeliharaan Peralatan Primer Gardu Induk [5].

Peralatan yang digunakan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini menyesuaikan dengan ketiga level inspeksi yang akan dilakukan.

In Service Inspection

Untuk inspeksi level pertama yaitu *In Service Inspection* dimana akan dilakukan pengamatan secara visual terhadap komponen-komponen pada VT yang dimana kegiatan ini dilakukan pada saat peralatan VT dalam kondisi beroperasi dan kegiatan ini tidak memerlukan peralatan khusus apa pun. Namun kegiatan ini hanya memerlukan formulir untuk mencatat kondisi komponen VT yang diamati apakah masih dalam kondisi baik atau buruk [5].

In Service Measurement

Kemudian untuk inspeksi level dua yaitu *In Service Measurement* dimana akan dilakukan pengujian *thermovision* yaitu pengambilan suhu pada komponen-komponen VT untuk kemudian dihitung selisih suhu antar fasa pada bagian komponen yang diuji suhunya. Kegiatan ini juga dilakukan pada saat peralatan VT dalam kondisi beroperasi. Alat yang digunakan pada kegiatan ini yaitu *Thermal Imager* yang dimana prinsip kerjanya adalah dengan memancarkan sinar inframerah ke objek yang diukur, lalu menangkap kembali radiasi yang dipancarkan oleh objek tersebut. Penting untuk memperhatikan bahwa peralatan

listrik yang diukur harus dalam keadaan beroperasi, karena aktivitas elektron yang bergerak dapat menyebabkan peningkatan arus listrik yang menghasilkan panas pada lintasan pergerakan elektron tersebut [6].



Gambar 2. Thermal Imager

Berdasarkan *International Electrical Testing Association* (NETA) *Maintenance Testing Specifications* (NETA MTS-1997) interpretasi hasil *thermovisi* dapat dikategorikan sebagai berikut [5].

Tabel 1. Standar Hasil Thermovisi In Service Measurement

No	Perbedaan Suhu antar Fasa	Rekomendasi
1	1°C - 3°C	Dimungkinkan ada ketidaknormalan, perlu investigasi lanjut.
2	4°C - 15°C	Mengindikasikan adanya defisiensi, perlu dijadwalkan perbaikan.
3	≥ 16°C	Ketidaknormalan mayor, perlu dilakukan perbaikan/penggantian segera.

Shutdown Measurement

Level ketiga yaitu *Shutdown Measurement* yang dimana kegiatan ini dilakukan pada saat peralatan VT dalam kondisi padam atau tidak beroperasi. Pada level ini mencakup 4 pengujian yang akan dilakukan pada VT di antaranya pengujian tahanan isolasi, pengujian rasio VT, pengujian tahanan tanah dan pengujian tan delta. Kemudian peralatan yang digunakan juga berbeda tiap pengujian [5].

Pengujian Tahanan Isolasi

Pengujian tahanan isolasi menggunakan alat ukur tahanan isolasi (Gambar 3) 5 kV untuk sisi primer dan 500 V untuk sisi sekunder. Berfungsi untuk mengetahui kualitas tahanan isolasi pada trafo tegangan tersebut. Pencatatan hasil pengukuran dilakukan pada saat 15 - 30 detik. Batasan

tahanan isolasi pada VT sesuai dengan buku pedoman pemeliharaan peralatan dan menurut Standard VDE (*catalogue* 228/4) minimum besarnya tahanan isolasi kumparan trafo, pada suhu operasi dihitung 1 Kilo Volt = 1 MΩ [5].



Gambar 3. Insulation Tester

Untuk standar yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah.

Tabel 2. Standar Nilai Tahanan Isolasi VT

No	Hasil Uji	Keterangan	Rekomendasi
1	> 1MΩ/1kV	Good	Normal
2	< 1MΩ/1kV	Poor	Lakukan pengujian lebih lanjut

Pengujian Rasio VT

Pengukuran rasio bertujuan untuk membandingkan nilai rasio hasil pengukuran dengan nilai pada *nameplate*. Pengukuran dilakukan dengan menginjeksi tegangan AC 2 – 10KV pada sisi primer dan dibandingkan dengan *output* tegangan pada sisi sekunder. Standar yang digunakan yaitu IEC 60044-5 “Instrument Transformer Part-5” Edisi I tahun 2004 yang dapat dilihat pada tabel berikut [5].

Tabel 3. Standar Rasio Error untuk VT Kelas Metering

Kelas Akurasi	±% Rasio Error	Pergeseran Fasa	
		Menit	Centiradian
0,2	0,2	10	0,3
0,5	0,5	20	0,6
1	1	40	1,2
3	3	Tidak Spesifik	Tidak Spesifik

Tabel 4. Standar Rasio Error untuk VT Kelas Proteksi

±% Rasio Error pada % dari Tegangan Pengenal				
% dari Tegangan Pengenal	2	5	100	X
Kelas Proteksi				
3P	6	3	3	3
5P	12	6	6	6

Note : X = $F_V \times 100$ (faktor tegangan pengenal dikali 100)

Tabel 5. Standar Pengujian Rasio VT

No	Hasil Uji	Keterangan	Rekomendasi
1	< Standar	Acceptable	Lakukan pengujian sesuai periode yang dijadwalkan - Lakukan pengujian sekali lagi untuk memastikan akurasi
2	> Standar	Unacceptable	hasil uji. - Lakukan penggantian VT bila hasil ukur tetap di luar batasan standar.

Setelah rasio hasil pengujian diperoleh maka akan dihitung persentase erornya dengan menggunakan rumus berikut [5], [7]:

$$\varepsilon = \frac{(K_T \cdot V_s - V_p)}{V_p} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

ε = Ratio Error (%)

K_T = Perbandingan Rasio Pengenal

V_s = Tegangan Sekunder (V)

V_p = Tegangan Primer (V)

Peralatan yang digunakan untuk mengukur rasio error pada VT yaitu *Vanguard CVT-765* yang merupakan penguji rasio belitan transformator berbasis mikroprosesor, fase tunggal, otomatis. Unit uji portabel ini dirancang khusus untuk mengukur rasio lilitan Trafo Tegangan (VT), Trafo Potensial (PT), dan Trafo Tegangan Kapasitor (CVT) [8].



Gambar 4. Vanguard CVT-765

Pengujian Tahanan Tanah

Pengujian tahanan tanah dilakukan untuk mengetahui berapa tahanan tanah pada VT. Besarnya tahanan tanah dapat mempengaruhi keamanan para personil pemeliharaan ataupun operasional gardu induk terhadap bahaya tegangan sentuh. Pengujian tahanan tanah dilakukan dengan menggunakan alat *Earth Tester*.



Gambar 5. Earth Tester

Standar nilai tahanan tanah yang diizinkan yaitu tidak lebih dari 1 Ohm berdasarkan KEPDIR nomor 0520-2.K/DIR/2014 tentang Himpunan Buku Pedoman Pemeliharaan Primer Gardu Induk yang dapat dilihat pada tabel berikut [5].

Tabel 6. Standar Tahanan Tanah VT

No	Hasil Uji	Keterangan	Rekomendasi
1	$< 1\Omega$	Good	Normal
2	$> 1\Omega$	Poor	Periksa Kondisi Sambungan Grounding

Pengujian Tan Delta

Pengujian tan delta dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai faktor disipasi (tan delta) VT. Pengujian dengan mode GST-Ground pada VT bertujuan untuk mengetahui nilai tan delta secara keseluruhan. Tegangan uji yang digunakan adalah antara 2 kV hingga 10 kV. Tegangan uji disesuaikan dengan level isolasi terminal sisi netral HV. Standar yang digunakan IEC 60044-5 "Instrument Transformer Part-5" Edisi I tahun 2004 dan manual book peralatan atau yang tertera pada nameplate peralatan [5].

Tabel 7. Standar Pengujian Tan Delta pada VT

No	Hasil Uji	Keterangan	Rekomendasi
1	$< 1\%$	Acceptable	Lakukan pengujian sesuai periode yang dijadwalkan a. Lakukan pengujian sekali lagi untuk memastikan akurasi hasil uji mengacu ke manual book. b. Lihat trend hasil pengujian periode sebelumnya atau mengacu pada hasil uji pabrikan.
2	$\geq 1\%$	Unacceptable	c. Bandingkan dengan hasil pengujian yang lain (tahanan isolasi), jika mengindikasikan hal

No	Hasil Uji	Keterangan	Rekomendasi
			yang sama (poor), maka: 1. Lakukan pengujian kualitas minyak isolasi dengan DGA (khusus untuk VT jenis non hermetically sealed). 2. Cek kondisi metalic/rubber bellows, jika terindikasi kemasukan air/udara maka laksanakan penggantian minyak sesuai manual instruction atau hubungi pabrikan. 3. Lakukan penggantian bila hasil pabrikan tetap menunjukkan $> 1\%$. d. Sesuai rekomendasi pabrik.

Alat yang digunakan untuk melakukan pengujian tan delta pada VT yaitu ada 2, CPC100 dan CP TD1 yang dimana kedua alat ini adalah alat uji utama serbaguna untuk pengujian dan pemeliharaan peralatan pada gardu induk. Alat ini melakukan uji transformator arus (CT), transformator tegangan (VT), dan transformator daya [9], [10].



Gambar 6. CPC100



Gambar 7. CP TD1

HASIL DAN PEMBAHASAN**Hasil Pengamatan *In Service Inspection***

Hasil dari level pertama yaitu *In Service Inspection* dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 8. Hasil *In Service Inspection*

No	Bagian Peralatan yang diperiksa	Kondisi			
Pentanahan (<i>Grouding</i>)					
1	a. Kawat Pentanahan	Baik	✓	Tidak baik	
	b. Terminal Pentanahan	Baik	✓	Tidak baik	
Lemari / Box Terminal					
2	a. Kebersihan	Bersih	✓	Kotor	
	b. Kemasukan Air	Ya	✓	Tidak	
Body dan Bushing					
3	a. Kebersihan	Bersih	✓	Kotor	
	b. Bagian bodi yang lecet, berkarat	Tidak ada	✓	Ada	
	c. Kaca Penduga	Bersih	✓	Kotor	
Kekencangan Baut					
4	a. Terminal Utama	Longgar		Kencang	✓
	b. Pentanahan	Longgar		Kencang	✓
	c. Baut-baut Wiring pada box terminal	Longgar		Kencang	✓
Pemeriksaan Fuse dan MCB					
5	a. Fuse	Normal	✓	Abnormal	
	b. MCB	Normal	✓	Abnormal	
Pondasi					
6	a. Keretakan	Ada		Tidak ada	✓
	b. Kemiringan	Ada		Tidak ada	✓

Secara keseluruhan, kondisi yang ditunjukkan pada tabel menunjukkan bahwa VT dalam kondisi baik. Memantau dan melakukan inspeksi secara berkala berdasarkan tabel tersebut akan membantu mencegah terjadinya gangguan dan kerusakan yang mungkin terjadi, sehingga VT dapat berfungsi dengan baik dan dapat dikatakan layak untuk digunakan pada operasional gardu induk

Hasil Uji *Thermovisi In Service Measurement*

Hasil uji *thermovisi* dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 9. Hasil Uji *Thermovisi*

Titik Ukur	Hasil Ukur (°C)		
	R	S	T

Titik Ukur	Hasil Ukur (°C)		
	R	S	T
Klem	27,7	26,5	26,5
Konduktor	25,7	24,2	24,3
Isolator	27	28,1	28,1
Housing	26,9	26,3	26,5

Tabel 10. Perbedaan Suhu Antar Fasa

Titik Ukur	Perbedaan Suhu Antar Fasa (°C)		
	R & S	R & T	S & T
Klem	1,2	1,2	0
Konduktor	1,5	1,4	0,1
Isolator	1,1	1,1	0
Housing	0,6	0,4	0,2

Berdasarkan hasil uji *thermovisi* pada setiap fasa, maka dapat diketahui perbedaan suhu antar fasa pada VT yang dapat dilihat pada tabel di atas. Dapat dilihat bahwa terdapat hasil perhitungan perbedaan suhu antar fasa yang melebihi 1°C yang jika mengacu pada standar yang digunakan yaitu untuk perbedaan suhu antar fasa pada rentang 1°C – 3°C, maka dimungkinkan adanya ketidaknormalan. Hal yang dapat dilakukan pada kondisi ini adalah melakukan investigasi lebih lanjut. Jika perbedaan suhu antar fasa sudah melebihi 3°C, maka perlu dilakukan penjadwalan pemeliharaan atau perbaikan.

Hasil Uji Tahanan Isolasi

Hasil uji tahanan isolasi dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 11. Hasil Uji Tahanan Isolasi

Titik Ukur	Standar	Hasil Ukur		
		R	S	T
P-Ground		112 GΩ	192 GΩ	307 GΩ
P-1a		36 GΩ	41 GΩ	40 GΩ
P-2a		42 GΩ	42 GΩ	48 GΩ
1a-Ground	1kV=1MΩ	OL	OL	OL
2a-Ground		OL	OL	OL
1a-2a		OL	OL	OL

Berdasarkan hasil uji tahanan isolasi pada VT terhadap titik ukurnya, dapat dikatakan bahwa tahanan isolasi VT masih sesuai standar yang ditetapkan. Untuk pengujian pada sisi primer (P) menggunakan tegangan uji sebesar 5000 Volt, sedangkan untuk sisi sekunder (1a dan 2a) menggunakan tegangan uji sebesar 500 Volt. Pada saat pengujian sisi sekunder, alat uji menunjukkan hasil “OL” (*Overload*) yang artinya tahanan isolasi VT memiliki nilai yang sangat tinggi

dan melebihi batas pengukuran pada skala 500 Volt.

Hasil Uji Rasio VT

Kesalahan rasio VT dengan spesifikasi rasio VT sebesar 150.000/100 Volt dapat dihitung menggunakan persamaan (1). Berikut adalah salah satu contoh perhitungan kesalahan rasio VT pada fasa R dengan titik uji pada core 1 (1a – 1n):

$$\varepsilon = \frac{(K_T \cdot V_s - V_p)}{V_p} \times 100\%$$

$$\varepsilon = \frac{(1499,9 \times 100 - 150000)}{150000} \times 100\%$$

$$\varepsilon = (-0,00006) \times 100\%$$

$$\varepsilon = -0,006\%$$

Jika nilai kesalahan rasio (ε) bernilai negatif, ini mengindikasikan bahwa tegangan sekunder yang diukur lebih rendah dari tegangan pengenalnya. Sebaliknya, jika nilainya positif, ini mengindikasikan bahwa tegangan sekunder yang diukur lebih tinggi dari tegangan pengenalnya. Hasil uji rasio VT dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 12. Hasil Uji Rasio VT

FASA	Titik Ukur	
	1a – 1n (0,5)	2a – 2n (3P)
R	Ratio	+1499,9
	Phasa	359,22°
	Error	0,006%
S	Ratio	+1496,4
	Phasa	359,98°
	Error	0,24%
T	Ratio	+1497,4
	Phasa	359,58°
	Error	0,17%

Berdasarkan tabel di atas, dapat dilihat bahwa hasil uji kesalahan rasio untuk kelas pengukuran (0,5) masih berada di bawah 0,5 dan untuk kelas proteksi (3P) masih berada di bawah 6%. Oleh karena itu, VT masih sesuai standar dan dapat dikatakan layak untuk digunakan dalam operasional gardu induk.

Hasil Uji Tahanan Tanah

Hasil uji tahanan tanah dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 13. Hasil Uji Tahanan Tanah

Standar	Hasil Ukur		
	R	S	T
< 1 Ω	0,04 Ω	0,05 Ω	0,17 Ω

Standar tahanan tanah maksimal yang diizinkan yaitu sebesar 1 Ω . Berdasarkan hasil uji tahanan tanah yang dapat dilihat pada tabel di atas, maka kondisi *grounding* VT masih dalam kondisi baik dan sesuai dengan standar yang ditetapkan sehingga dapat dikatakan layak untuk digunakan dalam operasional gardu induk.

Hasil Uji Tan Delta

Hasil uji tan delta dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 14. Hasil Uji Tan Delta

Tegangan Uji (kV)	Standar	Hasil Ukur		
		R	S	T
2	< 1%	0,17%	0,17%	0,17%
4		0,25%	0,18%	0,2%
10		0,71%	0,24%	0,59%

Berdasarkan hasil uji tan delta dengan tegangan uji yang berbeda-beda, maka dapat dilihat bahwa hasil uji berada kurang dari 1% yang artinya masih sesuai dengan standar yang ditetapkan. Pengujian tan delta dilakukan dengan tiga tegangan uji yang berbeda memungkinkan untuk mendeteksi masalah pada isolator yang mungkin tidak terlihat pada tegangan rendah namun dapat terlihat pada tegangan tinggi. Jika melihat hasil uji pada tegangan uji paling tinggi yaitu 10 kV bahwa hasilnya masih sesuai dengan standar, maka hal ini sudah menunjukkan bahwa kondisi isolator VT dalam kondisi baik dan dapat dikatakan layak untuk digunakan dalam operasional gardu induk.

KESIMPULAN

Setelah melakukan analisis data maka diperoleh kesimpulan yaitu hasil untuk *In Service Inspection* diperoleh bahwa seluruh kondisi komponen VT yang diamati dalam kondisi baik. Kemudian hasil untuk *In Service Measurement* yaitu pengujian *thermovisi* terdapat perbedaan suhu antar fasa yang melebihi 1°C yang jika mengacu pada standar yang digunakan maka dimungkinkan adanya ketidaknormalan. Kemudian untuk hasil uji tahanan isolasi diperoleh tahanan isolasi terendah yaitu 36 G Ω pada fasa R dan tertinggi yaitu 307 G Ω pada fasa T. Kemudian untuk hasil uji rasio VT diperoleh untuk kelas *metering* tertinggi yaitu 0,24% pada fasa S dan untuk kelas proteksi tertinggi yaitu 0,22% pada fasa S. Kemudian untuk hasil uji tahanan tanah untuk setiap fasa R, S dan T berturut-turut adalah 0,04 Ω , 0,05 Ω dan 0,17 Ω . Kemudian

untuk hasil uji tan delta diperoleh persentase terbesar yaitu 0,71% pada fasa R dengan tegangan uji 10 kV.

Berdasarkan hasil ketiga level inspeksi yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa peralatan *Voltage Transformator* (VT) memiliki nilai-nilai yang masih sesuai standar yang ditetapkan sehingga dapat dikatakan layak untuk digunakan dalam operasional gardu induk.

SARAN

Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya melakukan metode perbandingan. Adapun data yang dibandingkan yaitu data terbaru dengan data tahun sebelumnya. Sehingga dengan melakukan perbandingan ini dapat diketahui perubahan kondisi yang terjadi pada peralatan apakah semakin baik atau bahkan semakin buruk.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diucapkan kepada pihak PT. PLN (Persero) Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk (ULTG) Samarinda yang telah bersedia mendukung dan melengkapi data-data yang diperlukan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. R. . Pranata, R. Arifin, and A. . Mustapita, "Pengaruh Motivasi, Kemampuan, Komitmen, Lingkungan Terhadap Kinerja Pegawai (Studi Kasus pada Pegawai PT. PLN Unit Layanan Transmisi Gardu Induk (ULTG) Malang)," *J. Ilm. Ris. Manaj.*, vol. 10, no. 4, pp. 48–61, 2021.
- [2] S. M. Gunawan and J. Sentosa, "Analisa Perancangan Gardu Induk Sistem Outdoor 150 kV di Tallasa, Kabupaten Takalar, Sulawesi Selatan," *Dimens. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 37–42, 2013.
- [3] B. A. Effendi and E. Handoyo, "Pengujian Tahanan Isolasi Pada Pemeliharaan Pemutus Tenaga Kubikel Outgoing 20 kV Menggunakan Insulation Tester Di Gardu Induk Bantul PT. PLN (Persero) UP2D JTY DCC 2 Yogyakarta," *J. Kaji. Tek. Elektro*, vol. 5, no. 2, pp. 126–140, 2020, doi: <https://doi.org/10.52447/jkte.v5i2.1435>.
- [4] Rianti., I. Arsyad, and Danial., "Studi Analisa Kelayakan Transformator Arus untuk Proteksi Sistem Tenaga Listrik berdasarkan Hasil Uji," *J. Tek. Elektro Tanjungpura*, vol. 1, no. 1, pp. 1–11, 2021.
- [5] PT. PLN (Persero), *Buku Pedoman*

Trafo Tegangan. 2010.

- [6] A. Siswanto, R. Alfian, and E. Subyanta, "Analisis Kinerja Pms Rel 2 Bay Trafo 6 Menggunakan Thermovision Methode Di Gardu Induk Sunyaragi," *Foristek*, vol. 11, no. 2, pp. 114–121, 2021, doi: 10.54757/fs.v11i2.113.
- [7] W. Sarimun N, *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, April 2012. Garamond, 2012.
- [8] Vanguard Instruments Company, *CVT-765 Capacitor Voltage Transformer Ratio Tester*, no. March. 2017.
- [9] Omicron Electronics Corp., *CPC 100 User Manual*. 2007.
- [10] Omicron Electronics Corp., *CP TD1 Reference Manual*. 2007.