

Optimalisasi Pemeliharaan, Pengujian, dan Penggantian Current Transformer Jenis OSKF-170

Tria Kasnalestari¹, Gde KM Atmajaya², Syamsyarief Baqaruzi³

^{1,2,3}Institut Teknologi Sumatera

e-mail: tria.kasnalestari@el.itera.ac.id¹, gde.atmajaya@el.itera.ac.id²,
syamsyarief.baqaruzi@el.itera.ac.id³,

Diterima: 13-07-2022

Disetujui: 31-07-2022

Diterbitkan: 10-08-2022

Abstract

The electric power distribution system on the transmission line side is carried out at the substation, which contains several bays. However, containing the primary equipment discussed in this study regarding the Current Transformer (CT) of the CT OSKF-170 type, so that the electric power distribution system can be carried out optimally. The research location is substation area (GI), where the maintenance side is optimised and tested to prevent extensive damage to the substation's electric power distribution. If the CT has damage or disturbances such as current leakage that create inefficient power distribution losses, it can be replaced. Thus, this study examined the results of the insulation resistance measurement of more than 1000 G and on the secondary side the results were 100-500 M Ω . Then, the value of grounding resistance in the R, S, and T phases was less than 1 Ω , the tan delta test yielded a measurement value of less than 1 percent, and the turns ratio in the transformer corresponds to the ratio value on the CT OSKF-170 nameplate. The outcomes of the tests were satisfactory in accordance with the criteria for CT maintenance standards.

Keywords: CT OSKF-170, Maintenance, Testing, Replaced, Optimal

Abstrak

Sistem penyaluran tenaga listrik pada sisi saluran transmisi dilakukan pada gardu induk. Dalam gardu induk itu sendiri terdapat beberapa bay yang didalamnya ada peralatan utama. Adapun topic utama yang dibahas pada penelitian ini tentang *Current Transformer* (CT) berjenis CT OSKF-170 agar penyaluran tenaga listrik dapat dilakukan secara optimal. Tempat penelitian adalah GI dimana dilakukan optimalisasi sisi pemeliharaan, pengujian untuk menghindari kerusakan yang berakibat fatal terhadap penyaluran tenaga listrik pada gardu induk. Penggantian bisa dilakukan apabila CT tersebut terdapat kerusakan atau gangguan seperti kebocoran arus yang menimbulkan kerugian dalam penyaluran tenaga listrik menjadi tidak optimal. Penelitian ini melakukan pengujian terhadap hasil pengukuran tahanan Isolasi sebesar lebih dari 1000 G Ω semua dan pada sisi sekunder mendapatkan hasil 100-500 M Ω , Selanjutnya, mendapatkan nilai tahanan pentanahan pada fasa R, S, dan T dibawah 1 Ω , pengujian tan delta diperoleh nilai pengukuran dibawah 1%, dan rasio belitan pada trafo sesuai dengan nilai rasio yang ada pada *nameplate* CT OSKF-170. Hasil dari pengujian yang dilakukan dapat diterima dalam pemenuhan standar tentang pedoman pemeliharaan CT.

Kata kunci: CT OSKF-170, Pemeliharaan, Pengujian, Penggantian, Optimal

Pendahuluan

Gardu induk merupakan simpul di dalam sistem tenaga listrik yang terdiri dari susunan rangkaian sejumlah perlengkapan yang dipasang menempati suatu lokasi tertentu. Hal ini bertujuan untuk menerima dan menyalurkan tenaga listrik, menaikkan dan menurunkan tegangan sesuai dengan tingkat tegangan kerjanya, tempat melakukan kerja switching rangkaian suatu sistem tenaga listrik dan untuk menunjang keandalan sistem tenaga listrik terkait. Gardu Induk berfungsi untuk menyalurkan dan mengendalikan daya listrik dengan menggunakan peralatan material utama (MTU) antara lain transformator tenaga, *Current Transformer* (CT), *Potential Transformer* (PT), pemutus tenaga (PMT), pemisah (PMS), dan *Lighting Arrester* (LA) (Standar PT PLN (PERSERO) T5.005:2014 2014). Fungsi utama dari gardu induk adalah, (1) Untuk mengatur aliran daya listrik dari saluran transmisi ke saluran transmisi lainnya yang kemudian didistribusikan ke konsumen,

(2) Sebagai tempat kontrol, (3) Sebagai pengaman operasi sistem, serta (4) Sebagai tempat untuk menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi (Tambunan 2018).

Melihat dari segi manfaat dan kegunaan dari gardu induk itu sendiri, maka peralatan dan komponen dari gardu induk harus memiliki keandalan yang tinggi serta kualitas yang tidak diragukan lagi, atau dapat dikatakan harus optimal dalam kinerjanya sehingga konsumen tidak merasa dirugikan. Pada umumnya ada beberapa gangguan yang sering terjadi pada peralatan gardu induk, seperti ada pada penyulang akibat adanya gangguan hubung singkat fasa ke fasa sebesar 11% dan 1 fasa ke tanah sebesar 15% (Kalosa, Setiawidayat, and Mukhsim 2020). Peralatan listrik tersebut sangat mempengaruhi akan kualitas daya listrik yang lebih sensitif, dengan peningkatan efisiensi daya sistem secara keseluruhan (Baqaruzi and Muhtar 2020). Oleh karenanya, peralatan listrik yang optimal ialah instrumen trafo yang disebut *current transformer* (CT) atau trafo arus yang berguna untuk mengkonversi arus primer yang punya nilai arus yang besar. Sangat penting untuk merancang trafo instrumen sedemikian rupa sehingga dapat menahan arus termal waktu pendek dan arus dinamis. Secara umum, tes ini telah dianggap sebagai tes tipe sesuai standar IEC dan IEEE dengan nilai arus sampai dengan ribuan ampere, menjadi arus sekunder yang punya nilai rendah yaitu 1A atau 5A, sesuai dari aplikasi yang dibutuhkan pada gardu induk dalam penyaluran listrik (Rao et al. 2019 dan (Draxler et al. 2012).

Trafo arus (CT) digunakan sebagai pengukuran atau proteksi serta sebagai isolasi antara sisi tegangan yang diukur atau diproteksi dengan alat ukurnya. Terutama terhadap sambaran petir langsung yang menyebabkan terjadinya tegangan berlebih (Zoro, Atmajaya, dan Denov 2019). Konstruksi *Current Transformer* dengan tipe dua belitan sekunder banyak terpasang pada Jaringan tenaga listrik dari konsumen 125 kV sampai 20 kV dan ditempatkan pada setiap CT yang akan diuji kelayakan berdasarkan spesifikasi dan standar kelistrikan dan produsen penyedia energi listrik (Ilyas dan Agassy 2021). CT OSKF telah dirancang untuk masa pakai 30 tahun serta memiliki masa perawatan hampir nol, dengan persyaratan seperti minyak tertutup rapat dari udara dan bagian eksternal CT OSKF adalah dari bahan tahan korosi. Dengan menggunakan konduktor tipe batang lurus serta memiliki perubahan rasio dengan koneksi seri-paralel primer (rasio ganda atau tiga kali lipat) atau dengan sekunder, dilakukan untuk mempertahankan *output* pada CT OSKF (Alstom 2014 dan *IEEE Guide for Dry-Type Transformer Through-Fault Current Duration* 2015).

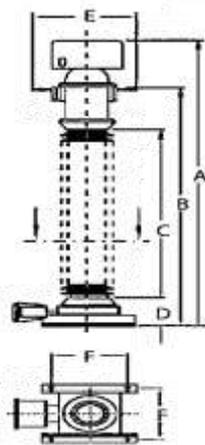
Metodologi

Pada penelitian ini menggunakan CT berjenis OSKF-170 dapat dilihat *data sheet* ada pada tabel 1 dibawah ini. Selanjutnya, seperti yang telah dijelaskan diatas dalam penyaluran tenaga listrik diperlukan pemeliharaan maupun pergantian saluran transmisi khususnya pada CT. Tujuannya ialah untuk memperbaiki, memulihkan dan menyempurnakan keadaan peralatan yang rusak atau terkena gangguan saat dilakukan inspeksi di gardu induk.

Tabel 1. Data sheet CT OSKF-170

Jenis	OSKF-170	Satuan
Head Size	3	A
Maximum system voltage (Um)	170	kV
Impulse test voltage (BIL)	750	kV
Standard creepage distance	4425	mm
Dimension	A	1620
	B	2120
	C	1350

	D	285	mm
	E	900	mm
	F	450	mm
Total weight (approx.)		505	Kg
Weight of oil (approx.)		108	kg



(a)



(b)

Gambar 1. (a) Manufaktur CT OSKF-170 (b) CT OKSF-170 Terpasang

Tahapan yang dilakukan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah melakukan pemeliharaan. Adapun jenis pemeliharaan CT terdapat 3 (tiga) kegiatan, yaitu:

1. *In service inspection*

Kegiatan pengamatan visual pada bagian-bagian peralatan terhadap adanya anomali yang berpotensi menurunkan unjuk kerja peralatan atau merusak sebagian/keseluruhan peralatan. Dalam hal ini dilakukan pemeriksaan dalam keadaan beroperasi dengan cara melihat visual kecukupan dari media dielectric CT melalui:

- Memeriksa level ketinggian minyak trafo arus pada gelas penduga.
- Memeriksa tekanan gas N₂ melalui manometer yang terpasang di CT (indikator berupa angka)
- Memeriksa tekanan gas SF₆ melalui manometer yang terpasang di CT (indikator berupa angka)
- Rembesan / kebocoran minyak CT.
- Isolator porcelain, dalam hal ini dilakukan pemeriksaan isolator porcelain dengan visual dari isolator. Mengamati isolator dari keretakan, flek, pecah dan kelainan yang lainnya.

Kemudian, kegiatan *Mechanical structure* adalah peralatan yang menyokong berdirinya trafo arus. Inspeksi *mechanical structure* dilakukan dengan memeriksa:

- Kondisi *core housing* (rumah / tangki *core*) secara visual, apakah kondisi *core housing* normal, korosi atau retak.
- Kondisi *support structure*.

Terakhir ialah kegiatan pentanahan CT yang dilakukan dengan memeriksa kawat dan terminal pentanahan dengan memeriksa hubungan antara terminal dengan *mess grounding switchyard* dengan kencang dan sempurna (PT. PLN 2014).

Pada pengukuran tahanan isolasi ini, digunakan alat pengukur tahanan dengan merek *kyoritsu* untuk *inject* tegangan sekaligus melihat hasil dari pengukuran tahanan isolasi secara digital. Standar hasil dari pengukuran tahanan isolasi pada CT yang sudah pernah dilakukan pada *bay* trafo gardu induk 1, dengan nilai tahanan isoalasi yang diizinkan adalah $1 \text{ M}\Omega / 1 \text{ kV}$, jadi untuk tegangan 150 kV nilai tahanan isolasi harus lebih dari $150 \text{ M}\Omega$. Tahanan pentanahan dilakukan untuk mengukur nilai tahanan dengan nilai dibawah 1Ω . Hal ini dikarenakan sifat arus yang memilih mengalir pada media yang memiliki hambatan yang sangat kecil. Tahanan antara komponen yang tidak bertegangan dengan tanah, setiap penyangga komponen pada gardu induk harus memiliki nilai pentanahan yang sangat kecil. Inspeksi tahanan pentanahan trafo arus yang dilakukan adalah memastikan bahwa kawat pentanahan masih terpasang dan memastikan kawat pentanahan yang terpasang tidak longgar atau rusak.



(a) (b)
Gambar 3. (a) Alat Uji Tahanan Isolasi (b) Alat Uji Tahanan Pentanahan

Kemudian, dilakukan pengujian tangen delta dilakukan untuk mengetahui nilai faktor disipasi ($\tan \delta$) dan nilai kapasitansi dari CT. Peningkatan nilai dari kapasitansi akan mengindikasikan adanya kertas isolasi yang terkontaminasi oleh kelembaban, pencemaran atau adanya pemburukan pada sistem isolasi pada CT tersebut. Dengan melakukan pengukuran rasio pada sisi sekunder diinjeksikan tegangan yang sesuai, dibawah tegangan saturasi (*knee voltage*) dan pada sisi primer diukur tegangan menggunakan voltmeter skala rendah dengan impedansi tinggi ($20.000 \Omega/V$ atau lebih). Rasio belitan mendekati sama dengan ratio tegangan yaitu membandingkan tegangan di sisi primer dengan tegangan disisi sekunder. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Data Standar Acuan Pengujian CT

No	Titik Uji	Standar Acuan
1	Tahanan Isolasi Primer-Tanah	Injeksi Tegangan DC 5 kV $1\text{M}\Omega/1\text{kV}$
	Tahanan Isolasi Sekunder-Tanah	Injeksi Tegangan DC 500 V
	Tahanan Isolasi Primer-Sekunder	Injeksi Tegangan DC 5 kV $1\text{M}\Omega/1\text{kV}$
	Tahanan Isolasi Sekunder-Sekunder	Injeksi Tegangan DC 500 V
2	Nilai Tahanan Pentanahan (Ω)	$R < 1 \Omega$ (kondisi pentanahan terlepas dari struktur)
3	Tangen Delta (%)	$< 1\%$ <i>Acceptable</i> $> 1\%$ <i>Unacceptable</i>

Penggantian trafo arus dapat dilakukan apabila ada beberapa faktor penyebab yang mengakibatkan trafo sudah tidak dapat bekerja secara optimal. Penyebab yang sering terjadi dan mengharuskan CT diganti diantaranya adalah kebocoran arus yang tinggi, kebocoran minyak isolasi, dan usia. Operator GI₁ setiap hari dilakukan pengecekan keadaan fisik dari komponen-komponen yang ada pada gardu induk. Apabila ada kerusakan yang terlihat maka operator harus langsung melapor untuk menindaklanjuti apa yang harus dilakukan, jika masih memungkinkan untuk dilakukan pemeliharaan maka CT belum akan diganti tetapi jika sudah tidak mungkin ada perubahan jika dilakukan pemeliharaan maka CT harus diganti.



Gambar 4. Siklus Keberlanjutan Pengoperasian CT

Gambar diatas menjelaskan akan siklus keberlanjutan dalam pengoperasian CT pada suatu GI. Karena pada umumnya usia CT jenis OSKF-170 adalah 30 (tiga puluh) tahun, selama dilakukan pemeliharaan dengan tepat, kemudian dilakukan pengujian sesuai standar acuan yang berlaku. Maka, penggantian akan dapat di minimalisir, sehingga proses penyaluran daya listrik akan semakin baik kepada pelanggan.

Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian dengan cara pengukuran terhadap tahanan isolasi dilakukan dengan memberikan tegangan untuk bagian yang akan diukur. Bagian primer dengan tanah jadi satu kabel ditempatkan pada sisi primer dan kabel, sedangkan yang satunya ditempatkan pada bagain tanah. Hasil dari pengukuran tahanan isolasi pada CT dilakukan pada bay trafo GI₁, tabel 3 menunjukkan nilai tahanan isolasi yang diizinkan adalah $1 \text{ M}\Omega / 1 \text{ kV}$, jadi untuk tegangan 150 kV nilai tahanan isolasi harus lebih dari $150 \text{ M}\Omega$, pengukuran dilakukan sebelum dan sesudah peralatan diberikan perawatan. Adapun perawatan yang dilakukan adalah membersihkan media isolasi dari debu dan lumut yang menempel pada bodi isolator.



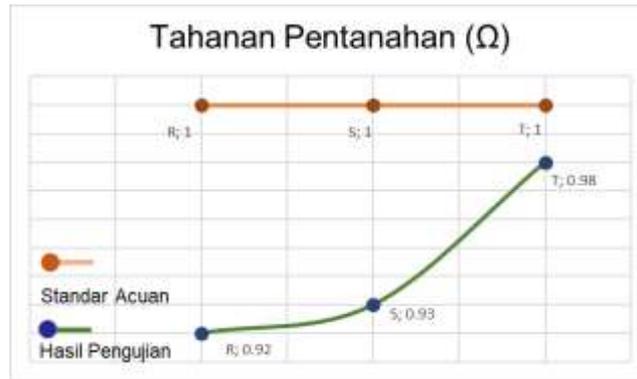
Gambar 5. Pengujian Tahanan Isolasi CT

Tabel 3. Hasil Pengujian Tahanan Isolasi CT

No	Titik Uji	Standar Acuan	Hasil		
			R	S	T
1	Tahanan Isolasi Primer-Tanah	Injeksi Tegangan DC 5 kV 1M Ω /1kV	>1000 G Ω	421 G Ω	689 G Ω
2	Tahanan Isolasi Sekunder-Tanah	Injeksi Tegangan DC 500 V			
	Sekunder 1-Tanah		132 M Ω	>1000 M Ω	>1000 M Ω
	Sekunder 2-Tanah		185 M Ω	>1000 M Ω	>1000 M Ω
	Sekunder 3-Tanah		295 M Ω	>1000 M Ω	>1000 M Ω
	Sekunder 4-Tanah		384 M Ω	>1000 M Ω	>1000 M Ω
3	Tahanan Isolasi Primer-Sekunder	Injeksi Tegangan DC 5 kV 1M Ω /1kV			
	Primer - Sekunder 1		>1000 M Ω	321 G Ω	359 M Ω
	Primer - Sekunder 2		>1000 M Ω	313 M Ω	303 M Ω
	Primer - Sekunder 3		>1000 M Ω	374 M Ω	344 M Ω
	Primer - Sekunder 4		>1000 M Ω	363 M Ω	394 M Ω
4	Tahanan Isolasi Sekunder-Sekunder	Injeksi Tegangan DC 500 V			
	Sekunder 1 – Sekunder 2		294 G Ω	>1000 M Ω	>1000 M Ω
	Sekunder 1 – Sekunder 3		434 M Ω	>1000 M Ω	>1000 M Ω
	Sekunder 1 – Sekunder 4		538 M Ω	>1000 M Ω	>1000 M Ω
	Sekunder 2 – Sekunder 3		335 M Ω	>1000 M Ω	>1000 M Ω
	Sekunder 2 – Sekunder 4		502 M Ω	>1000 M Ω	>1000 M Ω
	Sekunder 3 - Sekunder 4		339 M Ω	>1000 M Ω	>1000 M Ω

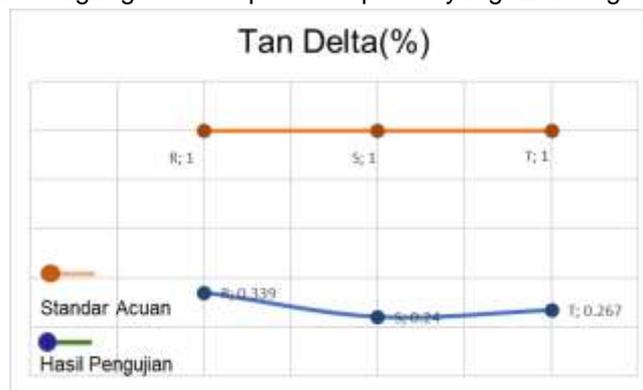
Pada pengukuran tahanan isolasi ini digunakan alat pengukur tahanan dengan merek *kyoritsu* untuk *inject* tegangan sekaligus melihat hasil dari pengukuran tahanan isolasi secara digital. Didapatkan hasil lebih dari 1000 G Ω semua dan pada sisi sekunder mendapatkan hasil 100-500 M Ω , sedangkan pada fasa S dan T pada sisi primer mendapatkan hasil berkisar antara 300-600 G Ω dan pada sisi sekunder mendapatkan hasil lebih dari 1000 M Ω , dengan hasil yang didapatkan maka CT dapat dioperasikan dan aman dari kebocoran arus.

Berikutnya dilakukan pengujian terhadap tahanan pentanahan dengan hasil pengujian bernilai dibawah 1 Ω . Apabila nilai tahanan pentanahan melebihi 1 Ω maka harus dilakukan pengecekan jalur kawat pentanahan atau mengganti kawat pentanahan. Nilai tahanan yang didapatkan pada fasa R, S, dan T dibawah 1 Ω , yakni fasa R sebesar 0.92 Ω , fasa S sebesar 0.93 Ω , dan fasa T sebesar 0.98 Ω . Sehingga semua tahanan pentanahan pada CT dapat dikatakan masih baik. Data hasil analisa ini dapat dilihat pada gambar 6 berikut.



Gambar 6. Hasil Pengujian Tahanan Pentanahan CT

Pada pengujian tangen delta dapat dilakukan dengan beberapa variasi yaitu pengukuran tangen delta pada level tegangan yang berbeda atau dilakukan pada frekuensi yang berbeda. Pengukuran tangen delta dengan variasi tegangan lebih mudah dilakukan, terlebih tidak diperlukan peralatan lain. Untuk keseragaman, sebaiknya variasi tegangan yang dipilih adalah 2kV, 4kV, 6kV, 8kV dan 10kV. Kedua variasi ini dilakukan sebagai tindak lanjut awal jika ditemukan nilai tangen delta yang mendekati 1%. Pengukuran tan delta pada CT dilakukan dengan menginjeksikan tegangan 10 kV pada sisi primer yang dihubungkan singkat.



Gambar 7. Hasil Pengujian Tangen Delta CT

Berdasarkan gambar hasil pengujian tangen delta di atas, nilai yang diperoleh yaitu di bawah 1% yang menandakan CT dalam kondisi dapat diterima (*acceptable*), sehingga pemeliharaan CT dapat dilakukan sesuai dengan jadwal yaitu 4 tahun sekali. Sedangkan CT yang sudah beroperasi selama lebih dari 15 tahun pemeliharaan dilakukan setiap 1 tahun sekali dan setelah 15 tahun dilakukan pergantian CT (PT. PLN 2014). Berikut data hasil uji rasio pada CT OKSF-170.

Tabel 4. Hasil Uji Rasio Belitan Pada CT OKSF-170

Core	Tap	Name Plate	Ratio		Test V (V)	Test I (A)	Primer V (V)	Phase Dev.	Polarity	Resist (Ohms)
			Measured	% Error						
1	S1-S2	150:5	150.134:5	-0.089	53.915	0.0456	1.7956	0°3'	Correct	0.195
	S1-S3	300:5	300.213:5	-0.071	107.81	0.0228	1.7956	0°3'	Correct	0.390
2	S1-S2	150:5	149.497:5	0.337	53.689	0.0742	1.7957	0°3'	Correct	0.195
	S1-S3	300:5	299.593:5	0.136	107.59	0.0370	1.7957	0°3'	Correct	0.454
3	S1-S2	1000:5	1000.42:5	-0.042	149.43	0.0091	0.7469	0°3'	Correct	0.343
	S1-S3	2000:5	2001.07:5	-0.053	298.90	0.0045	0.7469	0°3'	Correct	0.775
4	S1-S2	1000:5	1000.02:5	-0.002	149.40	0.0082	0.7470	0°4'	Correct	0.335
	S1-S3	2000:5	2000.5:5	-0.025	298.88	0.0041	0.7470	0°4'	Correct	0.782

Pengujian berikutnya adalah mendapatkan hasil uji rasio belitan dengan menggunakan alat uji injeksi arus (*high current test injection*), dilakukan dengan mengatur catu daya pada alat uji sesuai dengan nilai yang diinginkan serta mencatat arus pada sisi sekunder kedua CT. Rasio dari CT adalah sama dengan rasio dari CT referensi yang dikalikan rasio antara arus sisi sekunder CT referensi dengan arus sisi sekunder CT yang diuji.

Hasil pengujian rasio pada fasa T menggunakan alat megger. Pengujian dilakukan dengan cara memberikan arus pada belitan sekunder dengan melihat arus referensi yang tertera pada *nameplate*. CT yang digunakan pada GI₁ memiliki rasio pada belitan sekunder sebesar 5A. CT yang digunakan memiliki 4 *core* (belitan) pada sisi sekunder, dan setiap belitan terdapat 2 tap, yaitu S1, S2, dan S3. Pada belitan 1 antara tap S1-S2 pada memiliki nilai rasio 150 : 5 dan hasil pengukuran sebesar 150.134 : 5. Jadi ketika nilai arus pada sisi primer sebesar 150A maka pada sisi sekunder akan terbaca 5A, sedangkan pada tap S1-S3 memiliki rasio 300 : 5 dan hasil pengukuran sebesar 300.213 : 5. Pada belitan 2, 3, dan 4 mendapatkan hasil yang cukup bagus juga. Hasil yang didapatkan sudah sesuai dengan nilai rasio yang ada pada *nameplate*, jadi CT baru dapat digunakan untuk metering ataupun proteksi.

Kesimpulan

Pemeliharaan dan pergantian peralatan listrik pada gardu induk khususnya CT OKSF-170 adalah untuk menjamin dan meningkatkan kerja komponen, mengurangi risiko kegagalan kerja, dan kerusakan sehingga tercapai tingkat biaya operasional yang serendah mungkin, efektif dan efisien. Berdasarkan penelitian, didapatkan data hasil pengujian CT OKSF-170 yang dilakukan di gardu induk titik 1 pada *bay* trafo 1 bahwa nilai pada pengujian tahanan isolasi didapatkan lebih dari 150 M Ω , tahanan pentanahan didapatkan kurang dari 1 Ω , rasio belitan didapatkan sesuai dengan *nameplate*, dan tangen delta didapatkan < 1%,

Berdasarkan semua hasil uji dapat dikatakan bagus karena masing masing pengujian mendapatkan nilai yang sesuai dengan tentang pedoman pemeliharaan CT dan standar yang digunakan. Penggantian dilakukan jika komponen CT itu tidak dapat memonitoring arus, kegagalan dalam pembacaan fungsi proteksi ketika CT mendeteksi atau membaca nilai arus yang tidak wajar (*over current*). Dimana seharusnya CT akan mengirimkan sinyal ke *Over Current Relay* (OCR) dan akan otomatis akan memberikan sinyal kepada PMT untuk memutus tegangan yang melalui CT tersebut, untuk terhindar dari kerusakan komponen lainnya pada CT, GI, dan faktor keselamatan pekerja di area tersebut.

Referensi

- Alstom. (2014). OSKF Current Transformers 72.5 KV to 765 KV. 1–4. www.grid.alstom.com.
- Baqaruzi, Syamsyarief, and Ali Muhtar. (2020). Analisis Jatuh Tegangan Dan Rugi-Rugi Akibat Pengaruh Penggunaan Distributed Generation Pada Sistem Distribusi Primer 20 KV. *E-JOINT (Electronica and Electrical Journal of Innovation Technology)* 1(1): 20–26. <https://ejournal.pnc.ac.id/index.php/ejoint/article/view/216/pdf>.
- Draxler, Karel, Renata Styblíková, Jan Kucera, and Vlastimil Rada. (2012). Calibration of an Instrument Current Transformer at a Ratio of 20 KA/5 A. In *2012 Conference on Precision Electromagnetic Measurements*, , 14–15.
- IEEE Guide for Dry-Type Transformer Through-Fault Current Duration. (2015). *IEEE Std C57.12.59-2015 (Revision of IEEE Std C57.12.59-2001)*: 1–21.
- Ilyas, Iriandi, and Muhamad Taufan Agassy. (2021). Analisis Kegagalan Current Transformer (CT) Tipe Dua Belitan Sekunder Dengan Inti Magnetik Terpisah Pada Sistem Proteksi Dan Pembatas Daya. Program Studi Teknik Elektro FTI-ISTN *Sinusoida XXIII*(1): 1–10.
- Kalosa, Muhammad Sidik, Sabar Setiawidayat, and Mohammad Mukhsim. (2020). Pengaruh Sistem Pentanahan Terhadap Arus Gangguan Tanah Pada Sistem Distribusi 20 Kv.

- CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro* 4(2): 138.
- PT. PLN. (2014). Buku Pedoman Pemeliharaan Trafo Arus (CT). (0520): 2–3.
- Rao, N Maheswara et al. (2019). Understanding of HV Current Transformer Failures During Short-Time Current Tests - An Insight of Current Density Calculations Beyond IEC Standards. In *2019 International Conference on High Voltage Engineering and Technology (ICHVET)*, , 1–6.
- Standar PT PLN (PERSERO) T5.005:2014. (2014). Pedoman Pembangunan Gardu Induk 66 Kv Minimalis. (0475).
- Tambunan, Juara Mangapul. (2018). Pengujian Rutin Trafo Arus 24 kv di Laboratorium Hubung Singkat PT. PLN (persero) puslitbang ketenagalistrikan.”
- Zoro, Reynaldo, Gde K.M. Atmajaya, and Bryan Denov. (2019). Lightning Protection System for High Voltage Transmission Line in Indonesia. *Proceedings of the 2nd International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems: Towards Sustainable and Reliable Power Delivery, ICHVEPS 2019* (November).