

ANALISIS HOTSPOT PADA KONDUKTOR DAN MATERIAL TRANSMISI UTAMA MENGGUNAKAN METODE THERMOVISI DI GARDU INDUK TALIWANG

HOTSPOT ANALYSIS OF CONDUCTOR AND MAIN MATERIAL TRANSMISSION USING THERMOVISION METHOD AT TALIWANG SWITCHYARD

Jalaluddin Muhammad Akbar¹, Supriyatna, S.T., M.T.², Sultan, ST., M.T.³

¹Jurusan Teknik Elektro Universitas Mataram

Jl.Majapahit no. 62, Mataram, Lombok, NTB, Indonesia

¹jalalakbar960@gmail.com, ²supriyatna@unram.ac.id, ³sultandarma@yahoo.com

ABSTRAK

Peralatan pada gardu induk perlu untuk dilakukan maintenance atau pemeliharaan, agar tenaga listrik yang tersalurkan berkualitas dan memiliki kontinuitas yang baik serta peralatan tetap dalam keadaan yang normal. Permasalahan yang sering terjadi pada peralatan gardu induk adalah hotspot. Seringnya terjadi masalah tersebut pada titik pertemuan antara klem dan konduktor pada peralatan listrik menjadi tolak ukur pemeliharaan dalam penyediaan tenaga listrik. Tindakan pencegahan agar tidak terjadi hotspot disebut thermovisi, dengan menggunakan alat ukur thermal imagers. Thermovisi adalah suatu kegiatan pengukuran suhu pada peralatan yang terpasang pada instalasi listrik. Titik pengukuran hotspot di gardu induk Taliwang 70 kV pada bay transformator sebanyak 93 titik pada Material Transmisi Utama (MTU) dan 46 sambungan klem terhadap konduktor dimana pengukuran dilakukan pada saat beban puncak, berbeban dan tidak berbeban. Standar suhu dalam menentukan kondisi peralatan sesuai dengan SPLN SK DIR/No.520/2014. Hasil pengukuran pada Material Transmisi Utama (MTU) tidak terdapat peralatan yang perlu dilakukan perbaikan segera dan pada klem terhadap konduktor didapatkan nilai uji presisi 2% dan nilai uji akurasi 94,4% dengan 29 sambungan pada terminal dalam kondisi baik (0°C – 10°C), 17 sambungan pada terminal dalam kondisi periksa 1 bulan lagi (> 10°C – 25°C) dan tidak ada sambungan pada terminal dalam kondisi perencanaan perbaikan.

Kata Kunci : Gardu Induk, Maintenance, Thermovisi, Hotspot, dan Standar Suhu.

ABSTRACT

Equipment at the switchyard needs to be carried out for maintenance or maintenance so that the electricity that is distributed is of good quality and has good continuity and the equipment remains in a normal state. The problem that often occurs in switchyard equipment is hotspots. The frequent occurrence of this problem at the meeting point between the clamp and the conductor on electrical equipment is a benchmark for maintenance in the supply of electric power. Preventive measures to prevent hotspots from occurring are called thermovisi, using thermal imagers as measuring instruments. Thermovision is an activity of measuring temperature on equipment installed in electrical installations. Hotspot measurement points at the Taliwang 70 kV switchyard at the transformer bay are 93 points on the Main Transmission Material (MTU) and 46 clamp connections to the conductors where measurements are made during peak load, burdened and unburdened. Temperature standards in determining equipment conditions are in accordance with SPLN SK DIR/No.520/2014. The measurement results on the Main Transmission Material (MTU) do not contain equipment that needs to be repaired immediately and the clamps on the conductors obtained a precision test value of 2% and an accuracy test value of 94.4% with 29 connections at the terminal in good condition (0°C-10°C), 17 connections at terminals under check conditions for another 1 month (>10°C-25°C) and no connections at terminals under repair planning conditions.

Keyword : Switchyard, Maintenance, Thermovision, Hotspot, and Temperature Standards.

PENDAHULUAN

Penyaluran tenaga listrik baik dari pembangkit sampai ke gardu induk sampai ke konsumen harus diperhatikan keandalan dan efisiensinya, agar tenaga listrik yang tersalurkan berkualitas dan memiliki kontinuitas yang baik. Guna menjaga kualitas tenaga listrik agar tetap andal dan efisien serta agar kontinuitas penyaluran tenaga listrik tetap terjaga baik, beberapa komponen peralatan penyaluran tenaga listrik harus menjadi perhatian untuk mencegah terjadinya gangguan terhadap peralatan tenaga listrik. Salah satu permasalahan pada peralatan tenaga listrik adalah hotspot. Seringnya terjadi masalah tersebut pada titik pertemuan antara klem dan konduktor pada peralatan listrik menjadi tolak ukur pemeliharaan dalam penyediaan tenaga listrik. Tindakan pencegahan agar tidak terjadi hotspot disebut thermovisi, dengan menggunakan alat ukur thermal imagers. Prinsip kerja alat ukur thermal imagers adalah merefleksikan cahaya infrared terhadap peralatan kemudian menangkap suhu peralatan tersebut dan menampilkannya pada sebuah display. Kegiatan thermovisi dilakukan secara rutin sebagai kegiatan monitoring pemeliharaan tenaga listrik yang kemudian dilakukan analisa hasil thermovisi tersebut.

Thermovisi merupakan kegiatan pengukuran suhu suatu objek untuk mengetahui temperatur pada objek yang sedang diamati. Pada pengamatan di lapangan, kegiatan ini sangat membantu untuk mengamati dan mengetahui bagian peralatan yang bertemperatur tinggi akibat arus. Semakin tinggi arus, maka semakin tinggi pula temperatur yang akan dihasilkan. Dengan kata lain, metode thermovisi thermal imagers merupakan pemantauan kondisi peralatan saat berbeban. Hasil pengukuran objek peralatan akan menunjukkan permasalahan yang teridentifikasi mengalami ketidaknormalan untuk selanjutnya dievaluasi sehingga kerusakan yang fatal dapat dihindari.

Berdasarkan uraian diatas didapatkan sebuah ide mengenai penelitian analisis hotspot pada konduktor dan Material Transmisi Utama menggunakan metode thermovisi di GI Taliwang PT. PLN Persero UPK Tambora, yang dimana ide tersebut diharapkan berguna untuk meminimalisir terjadinya kerusakan pada peralatan sehingga keandalan dan efisiensi

tenaga listrik yang tersalurkan berkualitas dan memiliki kontinuitas yang baik.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan adalah studi kasus dan pengukuran data yang bertujuan untuk melakukan pengkajian terhadap data-data pengukuran dan nilai keakurasian data yang terjadi pada peralatan terpasang dan berbeban di Gardu Induk Taliwang PT. PLN Persero UPK Tambora..

Untuk mencapai tujuan penelitian yang direncanakan, maka dalam pelaksanaan penelitian terdiri dari beberapa bagian, yaitu:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Thermovisi adalah suatu kegiatan pengukuran suhu pada peralatan yang terpasang pada instalasi listrik. Pada saat setiap peralatan listrik sebagian besar mempunyai sifat konduktivitas listrik atau mampu menghantarkan listrik karena terbuat dari logam. Apabila peralatan tersebut dialiri arus listrik, maka peralatan tersebut tentunya akan menghasilkan panas. Suhu panas yang melewati batas toleransi saat alat beroperasi merupakan gangguan atau ketidaknormalan bagi alat tersebut. Hal ini dapat menimbulkan kerusakan-kerusakan lain apabila tidak segera ditangani. Untuk mencegah hal ini, maka dilakukannya pengecekan dan pemeliharaan secara berkala, yaitu dengan mengamati suhu komponen dengan menggunakan Thermal Camera atau Thermovisi.

Pengukuran thermovisi dimuat dalam Pedoman Pemeliharaan SPLN No.0520-2K/DIR/2014, sebagai salah satu acuan prosedur pemeliharaan peralatan PLN yang terdapat di GI, (PLN, 2014). Berdasarkan standar dari buku pedoman tersebut interpretasi hasil thermovisi dapat dikategorikan sebagai berikut:

Tabel 1. Standar Pengukuran Thermovisi antar fasa

No	ΔT (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 segera

Thermovisi memiliki standard kondisi dalam menentukan suhunya sesuai rekomendasi SPLN SK DIR/No.520/2014 sebagai berikut :

Tabel 2. Standar pengukuran Thermovisi satu Fasa

No.	ΔT (Perbedaan suhu satu fasa)	Rekomendasi
1.	0 – 10°C	Kondisi baik
2.	> 10°C – 25°C	Periksa saat pemeliharaan/Periksa 1 bulan lagi
3.	> 25°C – 40°C	Rencana perbaikan (Maksimal 30 hari)
4.	> 40°C – 70°C	Perbaikan segera
5.	> 70°C	Kondisi darurat

Validasi dan uji presisi

- Perhitungan suhu klem dan konduktor
Pelaksanaan pengukuran temperature suhu menggunakan metode thermovisi dilakukan pada temperatur konduktor dan temperature pada klem yang berbeban menggunakan persamaan pendekatan kriteria delta-t (ΔT) sebagai berikut :

$$\Delta T = \left(\frac{I_{konduktor}}{I_{saat\ thermovisi}} \right)^2 \cdot (T_{klem} - T_{konduktor}) \dots (1)$$

Keterangan :

ΔT : Selisih suhu klem terhadap konduktor (°C)

$I_{konduktor}$: Arus pada konduktor (A)

$I_{saat\ thermovisi}$: Arus saat thermovisi (A)

T_{klem} : Suhu klem (°C)

$T_{konduktor}$: Suhu konduktor (°C)

- Perhitungan emisivitas

Emisitivitas dari sebuah bahan adalah rasio dari total energi yang dipancarkan oleh permukaan bahan terhadap peralatan dipancarkan pada suhu dan panjang gelombang yang sama. Emisitivitas adalah sebuah kemampuan bahan untuk menyerap dan memancarkan energy inframerah. Emisitivitas adalah besaran dimensional yang tidak memiliki satuan. Untuk memperoleh nilai suhu yang akurat dari sebuah pengukuran, jadi harus diketahuinya nilai emistivitas.

$$e = \frac{P}{\sigma \cdot T^4} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan :
P : Energi thermal conductivity (237
Watt.m⁻¹.K⁻¹)
e : Emisivitas
σ : Konstanta Stefan Boltzman
(5,672 x 10⁻⁸ Watt.m⁻².K⁻⁴)
T : Suhu mutlak (°K)

3. Analisis validasi dan uji presisi
 Hasil uji yang valid dapat di gambarkan sebagai hasil uji yang mempunyai akurasi (*Accuracy*) dan presisi (*percission*) yang baik. Metode pengujian berperan penting dalam memperoleh akurasi dan presisi yang baik. Presisi biasanya dinyatakan dengan *coefficient of variation (CV)* dan *Relative standard devition (RSD)*. Jika *CV < 2%* maka dapat dikatakan metode tersebut memberikan presisi yang baik. *CV* dapat dihitung dari persamaan berikut :

$$CV = \left(\frac{SD}{a}\right) \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan :
CV : Variasi koefisien
SD : *Standard devition*
a : Nilai rata-rata emisivitas

$$SD = \sqrt{\frac{\sum(x-a)^2}{n-1}} \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan:
SD : Standar deviasiasi
 $\sum(x - a)^2$: Jumlah total emisivitas dikurangi rata-rata nilai emisivitas
n : Jumlah

Salah satu cara yang digunakan untuk mengevaluasi metode termovisi adalah uji terhadap *standard reference material (SRM)* yaitu 0,5 dimana nilai ini merupakan nilai yang dikeluarkan oleh *infrared Training Center of Flir System inc. Recovery* hasil uji dari metode yang di evaluasi terhadap nilai sebenarnya menggambarkan seberapa tinggi akurasi metode uji tersebut. Nilai *recovery* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\%Recovery = \left(\frac{(a)-SRM}{SRM}\right) \times 100\% \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan :
%Recovery : Persentase nilai bias
a : Nilai rata-rata emisivitas
 Nilai *SRM* : 0,5 (Alumunium)

Sehingga akurasi dapat dihitung sebagai berikut :

$$\%Akurasi = 100\% - \%Bias \dots \dots \dots (6)$$

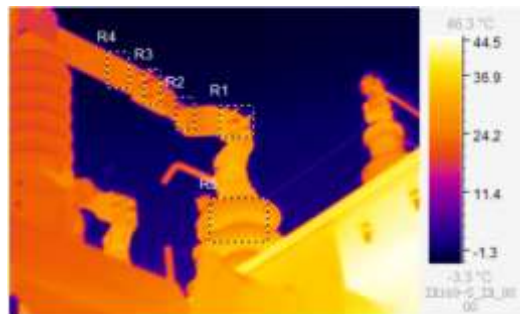
Keterangan :
%Akurasi : Persentase nilai akurasi
%Recovery : Persentase nilai *recovery*

HASIL DAN PEMBAHASAN

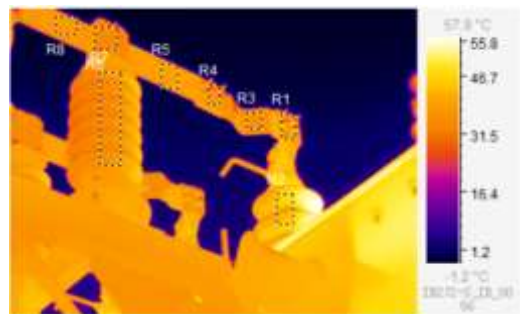
pengukuran dilakukan pada bagian Material Transmisi Utama (MTU) dan bagian clam dan konduktor. Pengukuran suhu pada peralatan (Hotspot) dilakukan saat 3 kondisi yaitu:

- a. Beban puncak malam hari
- b. Berbeban siang hari
- c. Tidak berbeban sore hari

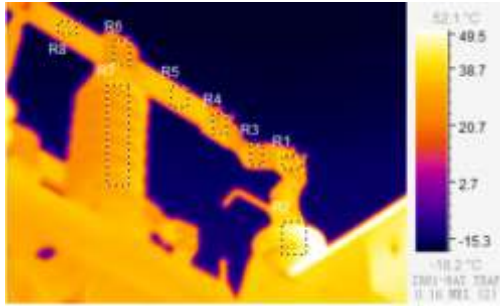
1. Material Transmisi Utama (MTU)



(a)



(b)



(c)

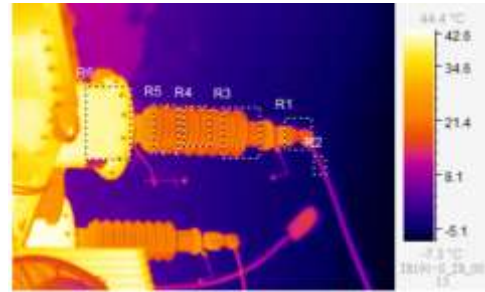
Gambar 2. Hasil foto thermovisi bagian bushing sekunder saat (a). Beban puncak malam hari, (b) Tidak berbeban sore hari, dan (c) Berbeban siang hari.

Tabel 3. Hasil thermovisi bagian MTU

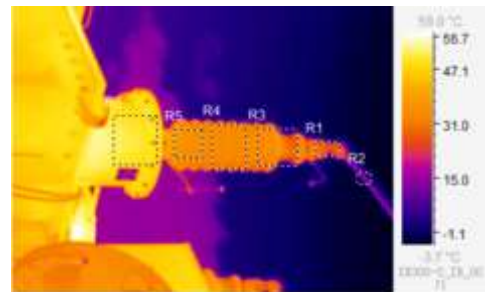
No	Tanggal	Pukul	Mata	Udara	Suhu (°C)							Kelembaban			
					R	S	T	R1	R2	R3	R4	R5	U1	U2	U3
Bushing Sekunder															
1	7 Mei 2023	18.00-20.00	00		36,7	37,8	36,2	9,7	1,8	5,1	Normal	1	1		
	11 Mei 2023	13.30-14.00	0	29,3	35,9	35,1	9,19	8,2	5,7	5,1	Normal	0	0		
	18 Mei 2023	13.00-14.00	74	35,4	42,2	48,1	33,1	3,1	32,1	0	1	1			
2	7 Mei 2023	18.00-20.00	00		35,9	36,2	35,6	9,7	1,8	8,6	0	1	Normal		
	11 Mei 2023	12.30-13.00	0		42,2	42,7	48,1	2,8	8,4	9,4	0	0	1		
	18 Mei 2023	13.00-14.00	74		38,7	32,3	37,4	9,4	2,1	8,2	0	1	1		
3	7 Mei 2023	18.00-20.00	00		37,2	36,2	36,2	9,7	1,8	7,2	0	0	0		
	11 Mei 2023	12.30-13.00	0		48,1	48,3	47,3	8,2	1,8	1,8	Normal	1	1		
	18 Mei 2023	13.00-14.00	74		43,1	42,1	48,8	8,2	1,9	2,2	Normal	1	1		
4	7 Mei 2023	18.00-20.00	00		35,9	35,8	35,6	9,7	1,8	8,8	0	0	0		
	11 Mei 2023	12.30-13.00	0		48,1	48,8	48,8	8,2	1,8	1,7	Normal	1	1		
	18 Mei 2023	13.00-14.00	74		43,4	43,1	38,8	7,7	4,3	2,8	0	0	1		
5	7 Mei 2023	18.00-20.00	00		38,4	38,1	35,2	9,7	1,7	2,1	0	0	0		
	11 Mei 2023	12.30-13.00	0		48,8	42,8	42,8	2,8	4,0	2,8	1	Normal	1	1	
	18 Mei 2023	13.00-14.00	74		43,8	38,8	38,8	4,8	3,7	7,0	0	1	0		

Perbandingan hasil thermovisi pada bagian Material Transmisi Utama (MTU). Perbandingan tersebut dapat lihat bahwa hasil thermovisi pada saat tidak berbeban sore hari dengan suhu lingkungan 34°C menampilkan nilai suhu yang lebih besar daripada saat beban puncak malam hari dengan suhu lingkungan 26°C dan berbeban saat siang hari dengan suhu lingkungan 36°C, dan dapat diindikasikan bahwasannya saat tidak berbeban isolator pada peralatan tidak berfungsi yang menyebabkan suhu panas pada lingkungan mempengaruhi suhu peralatan. Ketidaknormalan pada peralatan saat dilakukan pengujian thermovisi tidak dilihat dari suhu peralatan tersebut akan tetapi dilihat pada selisih antara fasa satu dan fasa yang lain pada bagian Material Transmisi Utama (MTU)

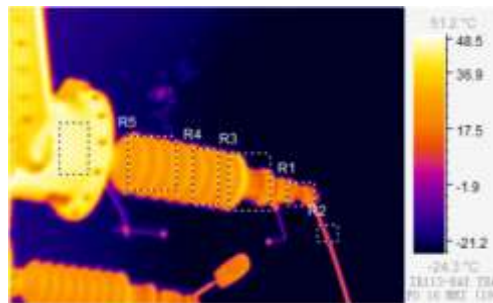
2. Clam terhadap konduktor



(a)



(b)



(c)

Gambar 3. Foto thermovisi bagian clam dan konduktor pada (a). Beban puncak malam hari, (b) Tidak berbeban sore hari, dan (c) Berbeban siang hari.

Tabel 4. Hasil thermovisi bagian clam terhadap konduktor

No	Tanggal	Pukul	Mata	Suhu Lingkungan (°C)	Clam	Suhu (°C)					
						E		S		T	
					Clam	Konduktor	Clam	Konduktor	Clam	Konduktor	
1.	7 Mei 2023	18.00-20.00	00	26	Konduktor Dengan Fasa 1 & 2 & Clam Dengan Fasa 1 19 kV	37,3	38,1	38,8	19,9	11,4	28,8
	11 Mei 2023	13.30-14.00	0	34		38,7	32,4	40,8	27,6	18,8	38,8
	18 Mei 2023	13.00-14.00	74	36		31,4	24,1	34,4	27,0	31	38,8
2.	7 Mei 2023	18.00-20.00	00	26		38,2	33,7	39,6	18,4	18,7	15,8
	11 Mei 2023	13.30-14.00	0	34	Konduktor 1 & 2 & Clam 1 & 2	31,7	32,2	41,2	27	31	27
	18 Mei 2023	13.00-14.00	74	36		38,2	33,8	33,8	28,4	34	25,1

Hasil pengukuran thermovisi pada bagian clam dan konduktor. Dari perbandingan tersebut didapatkan nilai suhu clam dan konduktor pada fasa R, S dan T. Ketidaknormalan hasil thermovisi pada peralatan clam dan konduktor dapat dilihat ketika arus maksimal, arus saat thermovisi dan suhu pada clam terhadap konduktor menghasilkan selisih yang melebihi standar ketentuan SPLN SK DIR/No.520/2014

Perhitungan perbandingan dari suhu klem dan konduktor (ΔT) di Bay Transformator sesuai dengan persamaan (1). Contoh:

- Klem Bushing Primer / 70 kV fasa R

Perhitungan nilai selisih suhu antara klem terhadap konduktor pada Bushing Primer 70 kV Fasa R

$$\Delta T = \left(\frac{I \text{ konduktor}}{I \text{ saat thermovisi}} \right)^2 \cdot (T \text{ klem} - T \text{ konduktor})$$

$$= \left(\frac{97,2A}{96,2A} \right)^2 \cdot (27,3^{\circ}C - 16,1^{\circ}C)$$

$$= 11,43^{\circ}C$$

Tabel 5. Hasil perhitungan selisih suhu (ΔT) dan tindak lanjutnya

No	Objek	Fasa	Isi	J saat	Suhu	Suhu	Selisih	Tindak lanjut
			ks (A)	Ther. mesin 1 (A)	Klem (°C)	Klem alat (°C)	ada klem terhadap konduktor (°C)	
			a	b	c	d	$e = \frac{I_{kon}^2}{I_{saat}^2} \cdot (T_{klem} - T_{kon})$	
1	Konduktor Bushing Primer / 70 kV & Klem Bushing Primer / 70 kV	R	97,2	96,2	27,3	16,1	11,43	Ulang 1 Bulan Lagi
2		S	97,2	96,2	30,6	19,9	10,92	Ulang 1 Bulan Lagi
3		T	97,2	96,2	31,4	20,9	10,72	Ulang 1 Bulan Lagi
4	Konduktor LA & Klem LA	N	-	-	26,1	19,1	-	Kondisi Baik
5		R	97,2	96,2	18,5	13,7	4,90	Kondisi Baik
6		S	97,2	96,2	19,6	14,4	5,31	Kondisi Baik
7	Konduktor CT Out (Arak Trafo) & Klem CT Out (Arak Trafo)	T	97,2	96,2	18,7	15,6	5,21	Kondisi Baik

Emisivitas dari sebuah bahan merupakan rasio total energi yang kemudian di radiasikan oleh permukaan dari bahan tersebut atau dengan kata lain emisivitas merupakan kemampuan memancarkan energi inframerah oleh black body pada kondisi suhu gelombang yang sama dari bahan tersebut. Emisivitas dari suatu bahan sudah memiliki nilai masing-masing, akan tetapi nilai tersebut dapat berubah sesuai dengan kondisi bahan tersebut dan atau disebabkan karena keadaan

lingkungan serta pembiasan dan arus yang mengalir bahan tersebut.

Untuk menganalisis nilai pengukuran emisivitas dengan menggunakan metode validasi maka salah satu variabel yang dibutuhkan adalah variasi Coeffisien Variation (CV). Nilai emisivitas ini akan dijadikan *Coeffisien Variation* karena nilainya yang tidak selalu sama walaupun bahannya yang diukur memiliki jenis yang sama. Nilai emisivitas akan dicari menggunakan rumus perpindahan kalor radiasi (Hukum Stefan Boltzman).

Perhitungan nilai emisivitas diambil berdasarkan beberapa sampel suhu pada Bay Transformator Gardu Induk Taliwang 70 kV sesuai dengan persamaan (2)

T = nilai selisih suhu diubah dari Celsius ($^{\circ}C$) menjadi Kelvin ($^{\circ}K$)

- Klem Bushing Primer / 70 kV fasa R

$$e = \frac{P}{\sigma \cdot T^4}$$

$$e = \frac{237 \text{ Watt} \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}}{5,672 \times 10^{-8} \text{ Watt} \cdot m^{-2} \cdot K^{-4} \cdot 284,43^4 K^4}$$

$$e = 0,73$$

Tabel 6. Emisivitas peralatan

No	Objek	Fasa	Selisih suhu klem terhadap konduktor ($^{\circ}C$)	Emisivitas
1	Konduktor Bushing Primer / 70 kV & Klem Bushing Primer / 70 kV	R	11,43	0,735402
2		S	10,92	0,7407
3		T	10,72	0,742791
4	Konduktor LA & Klem LA	N	-	-
5		R	4,90	0,806998
6		S	5,31	0,802253
7	Konduktor CT Out (Arak Trafo) & Klem CT Out (Arak Trafo)	T	5,21	0,805407
8		R	4,90	0,808116
9		S	5,61	0,798803
10	Konduktor Bus 1 (Arak Trafo) & Klem Bus 1 (Arak Trafo)	T	4,90	0,806998
46		T	3,67	0,821444
Rata-rata				0,783117

3. Analisis validasi

Analisis validasi dilakukan sebagai pembuktian hitungan terhadap parameter tertentu untuk menganalisa keakuratan dan presisi dari hasil sebuah pengukuran.

a. Uji presisi emisivitas peralatan

Uji presisi merupakan analisa perhitungan yang hasilnya menunjukkan derajat keakuratan terhadap hasil pengukuran, yang dihitung berdasarkan nilai Standard Reference Material (SRM) yaitu sebesar 0,5. Nilai ini merupakan

nilai emisivitas standard yang dikeluarkan oleh *Infrared Training Center of Flir System Inc.* Presentase presisi recovery dinyatakan dengan *Coefficient of Variation* (CV) dan *Relative Standard Deviation* (RSD). Jika nilai CV pada perhitungan < (lebih kecil dari) 2% maka dapat dinyatakan bahwa metode tersebut mempunyai presisi yang baik.

$$\begin{aligned} \%Akurasi &= 100\% - \%Recovery \\ &= 100\% - 5.6\% \\ &= 94.4\% \end{aligned}$$

Perhitungan akurasi di atas pada Bay Transformator di Gardu Induk Taliwang 70 kV memiliki tingkat akurasi sebesar 94.4%.

Tabel 7. Uji Presisi emisivitas peralatan

No	Objek	Tipe	\bar{x}	s	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$
1	Kondaktor Bushing Primer / 70 kV & Klem Bushing Primer / 70 kV	R	0,735402	0,783315	0,04791	0,002295653
2		S	0,7407	0,783315	0,04261	0,001816018
3		T	0,742791	0,783315	0,04052	0,001642196
4		N	-	-	-	-
5	Kondaktor L.A & Klem L.A	R	0,806898	0,783315	0,023583	0,000558065
6		S	0,802253	0,783315	0,018938	0,000358636
7		T	0,803407	0,783315	0,020092	0,000403679
8	Kondaktor CT Out (Arah Trafik) & Klem CT Out (Arah Trafik)	R	0,806816	0,783315	0,023501	0,000552361
9		S	0,798805	0,783315	0,01549	0,00024075
10		T	0,806898	0,783315	0,023583	0,000558065
11						
12	Kondaktor In. P.68 Bus 1 (arah trafik) & Klem In. P.68 Bus 1 (arah trafik)	R	0,821444	0,783315	0,038129	0,001453847
13		S				
14		T				
$\sum (x - \bar{x})^2$						0,104697544
$SD = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}}$						0,01570374863
$CV = \left(\frac{SD}{\bar{x}}\right) \times 100\%$						1,9%

Dari perhitungan di atas dapat diketahui bahwa variasi koefisien (CV) diperoleh nilai 1,9 % dan ini dikategorikan lebih baik dari standar nilai variasi koefisien yaitu <2 %. Jadi hasil perhitungan uji presisi ini dinyatakan sangat baik dan bisa dijadikan acuan tindak lanjut mengenai analisis uji akurasi pada peralatan Gardu Induk Taliwang 70 kV

b. Uji akurasi hasil perhitungan

Uji akurasi adalah sebuah parameter yang menunjukkan derajat kedekatan antara hasil analisa perhitungan yang telah dilakukan perhitungannya berdasarkan *Standard Reference Material* (SRM) yang sudah ditetapkan. Akurasi dinyatakan dalam perolehan kembali (*recovery*) dari perhitungan yang dilakukan. Berikut adalah perhitungan akurasi sesuai dengan persamaan (5) dan (6).

$$\begin{aligned} \%Recovery &= \left(\frac{a - SRM}{SRM}\right) \times 100\% \\ &= \left(\frac{(0,783315) - 0,5}{0,5}\right) \times 100\% \\ &= 5.6\% \end{aligned}$$

Akurasi dari perhitungan yang didapatkan adalah:

KESIMPULAN

1. Hasil thermovisi saat beban puncak, antar fasa dan fasa pada Material Transmisi Utama dari 93 sample didapatkan selisih suhu tertinggi 7,8°C, dan hasil thermovisi satu fasa pada klem terhadap konduktor dari 46 sample didapatkan selisih suhu tertinggi 15,52°C.
2. Analisis validasi pada emisivitas mengambil 45 sampel selisih suhu pengukuran klem terhadap konduktor, perhitungan tersebut menghasilkan nilai presisi 1,9% dan ini dikategorikan lebih baik dari standar nilai variasi koefisien yaitu <2%, dan nilai akurasi 94,4%
3. Rekomendasi hasil thermovisi antar fasa dan fasa dari 93 sampel didapatkan 57 titik thermovisi dalam keadaan normal (< 1°C), 28 titik dalam keadaan perlu investigasi lebih lanjut (1°C – 3°C), dan 8 titik dalam keadaan perlu dijadwalkan perbaikan (4°C – 15°C). Dan rekomendasi hasil thermovisi satu fasa dari 46 sampel sambungan klem terhadap konduktor, 29 sambungan pada terminal dalam kondisi baik (0°C – 10°C), 17 sambungan pada terminal dalam kondisi periksa 1 bulan lagi (> 10°C – 25°C).

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim PLN, (2014). Pedoman Pemeliharaan, No. 0520-2.K/DIR. PT PLN (PERSERO).
- Anwar, Baharuddin. (2019). Penentuan Hot Point dengan menggunakan metode thermovisi pada gardu induk 150 kV Purwodadi, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Atawani Ahmad, Ibrahim. (2018). Analisis Thermovisi untuk menemukan Hot Point pada Gardu Induk 150 kV Bantul, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

- Buku Pemeliharaan Peralatan Utama Gardu Induk (PMT, PMS dan IA), PT PLN (Persero) Pusdiklat, 2009.
- Harishkumar. S, dkk. (2014). Detection of Hot Spots by Thermal Imaging to Protect Power Equipments. International Journal of Students ReseACh in Technology & Management Vol. 2 (02), March-April 2014.
- International Electrical Testing Association (NETA)–NETA MTS1997, Maintenance Testing Specification, 1997.
- Lutfhi, Muhammad Fazawi. (2020). Analisa Penentuan Hot Point dan Monitoring Peralatan dengan Metode Thermovisi pada GI 150 kV, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Medan.
- Maulana, Alief, H., Aribowo, D., Inawati, (2015). Analisa Kondisi Generator Transformer Menggunakan Metode Thermography.
- Roni Putra, Ramadhani. (2018). Thermovisi dalam melihat Hot Point pada Gardu Induk 150 kV palur, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Syahputra Ramadoni. (2010). Aplikasi Deteksi Tepi Citra Termografi untuk Pendeteksian Keretakan Permukaan Material. Forum Teknik Vol. 33, No. 1 Januari 2010.