

Evaluasi Uji *Hotspot* Menggunakan *Thermovisi Flir* Pada Bay Penghantar III Trafo 60 MVA

Rela Fahturozi¹, Rizky Mubarak^{2,*}, Aris Munawar³, Fachruroji⁴^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Elektro, Universitas Peradaban, Indonesia

Article Info**Article history:**

Received: 30 Juli 2024

Received in revised form: 13 Agustus 2024

Accepted: 15 Agustus 2024

Available online: 15 Agustus 2024

Keywords:*Hot Spot,*
Temperature,
Thermovisi Flir,
60 MVA Transformer

Kata Kunci:Titik Panas,
Suhu,
Thermovisi Flir,
Trafo 60 MVA

ABSTRACT

HOTSPOT TEST EVALUATION USING THERMOVISI FLIR ON 60 MVA TRANSFORMER CONDUCTOR BAY III. The operation of the transformer power distribution is the center of the transmission and distribution system. Given the almost continuous hard work of the transformer, its operation needs to be considered to prevent several disturbances that can reduce the optimal work of the transformer. One of the disturbances that can be found in the substation transformer is the hot-spot temperature at the terminal connection between the conductor cable and the equipment at the substation. This temperature is closely related to the protection and reliability of the system in the switchyard. To overcome the problems that occur in the transformer, especially the 150 kV Kalibakal Purwokerto Substation regarding the hot spots that occur at the transformer conductor bay connection. Routine temperature checks are carried out every day at the transformer connection point using a Thermovisi Flir E60 thermal imager measuring instrument that can determine the temperature value at the conductor connection clamp by looking at the infrared light from the tool. The results of the test evaluation carried out in this thermovisi method use the calculation of the temperature difference (ΔT) between the clamp and the conductor, the results obtained are that none of the temperatures exceed $>10^{\circ}\text{C}$. The calculation of the emissivity value using Stefan Boltzman's law obtained an average emissivity of 0.506, which means it is included in the temperature range in accordance with the Standard Reference Material (SRM) (aluminum emissivity 0.5). Precision testing with a precision percentage expressed by the Coefficient of Variation (CV) obtained from 45 test points is 0.23%, this result can be categorized as a good result from the CV value standard of $<2\%$. The calculation of the accuracy test found a result of 99.88%, which means that the points tested are still in good condition.

Operasi penyaluran tenaga listrik transformator merupakan pusat penyaluran sistem transmisi dan distribusi. Mengingat kerja keras transformator yang hampir kontinu maka pengoperasiannya perlu diperhatikan untuk mencegah beberapa gangguan yang dapat mengurangi kerja transformator secara optimal. Salah satu gangguan yang dapat dijumpai pada trafo gardu induk yaitu suhu titik panas (*hot-spot*) pada sambungan terminal antar kabel konduktor dengan peralatan pada gardu induk. Suhu ini berkaitan erat dengan proteksi dan keandalan sistem yang ada di *switchyard*. Untuk mengatasi permasalahan yang terjadi pada trafo khususnya Gardu Induk 150 kV Kalibakal Purwokerto mengenai adanya titik panas yang terjadi pada sambungan bay penghantar trafo. Dilakukan pengecekan suhu secara rutin setiap hari pada titik sambung trafo menggunakan alat ukur thermal imagers Thermovisi Flir E60 yang dapat mengetahui nilai suhu pada klem sambungan konduktor dengan melihat sinar inframerah dari alat. Hasil evaluasi uji yang dilakukan dalam metode thermovisi ini menggunakan perhitungan selisih suhu (ΔT) antara klem terhadap konduktor yang didapat hasil suhu tidak ada yang melebihi $>10^{\circ}\text{C}$. Adapun perhitungan nilai emisivitas menggunakan hukum Stefan Boltzman yang didapat hasil rata-rata emisivitas yaitu 0.506 yang berarti termasuk dalam rentan suhu yang sesuai dengan Standard Reference Material (SRM) (emisivitas aluminium 0.5). Uji presisi dengan presentase presisi dinyatakan dengan Coefficient of Variation (CV) yang didapat hasil dari 45 titik uji adalah sebesar 0.23%, hasil ini dapat dikategorikan sebagai hasil yang baik dari standar nilai CV yaitu sebesar $<2\%$. Perhitungan uji akurasi yang ditemukan hasil 99.88% yang berarti titik yang diuji masih dalam kondisi baik.

Corresponding author:

Rizky Mubarak

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Peradaban, Indonesia

Jalan Raya Pagojengan Kab Brebes, Jawa Tengah, Indonesia

E-mail addresses: barokstematel@gmail.com

1. Pendahuluan

Proses penyaluran energi listrik dari pusat pembangkit ke pusat beban biasanya melewati gardu induk (GI) yang merupakan bagian dari sistem penyaluran (transmisi) tenaga listrik [1], [2]. Fungsinya mentransformasikan tenaga listrik tegangan tinggi yang satu ketegangan yang lainnya atau tegangan menengah, melakukan pengukuran dan pengawasan, operasi dan pengaturan pengamanan dari sistem tenaga listrik, serta pengaturan daya ke gardu-gardu lainnya melalui tegangan tinggi dan gardu distribusi melalui *feeder* tegangan menengah [3], [4]. Dalam sistem operasi gardu induk memiliki trafo yang berfungsi mentransformasi daya listrik dengan merubah besarnya tegangan listrik melalui kabel konduktor dan sambungan terminal trafo [5], [6], [7].

Operasi penyaluran tenaga listrik transformator merupakan pusat penyaluran sistem transmisi dan distribusi. Sehingga pada kondisi ini diharapkan transformator dapat bekerja secara terus menerus. Mengingat kerja keras transformator yang hampir kontinu maka pengoperasiannya perlu diperhatikan untuk mencegah beberapa gangguan yang dapat mengurangi kerja transformator secara optimal. Keandalan tenaga listrik menentukan kontinuitas penyaluran tenaga listrik kepada pelanggan. Terputusnya penyaluran tenaga listrik ini akan berdampak buruk tidak

hanya di sisi penyedia kelistrikan. Bagi konsumen besar seperti industri, tidak dapat tersalurkannya tenaga listrik dengan baik ini akan mengakibatkan terhentinya proses produksi [8], [9]. Kontinuitas pelayanan merupakan unsur dari kualitas pelayanan, dan tergantung pada jenis dan tipe penyalur dan peralatan pengaman yang digunakan. Jaringan distribusi sebagai saran penyalur energi listrik mempunyai tingkat kontinuitas pelayanan berdasarkan jangka waktu dalam pengoprasiannya [10].

Proses mencapai keandalan tersebut tentunya perlu alat seperti transformator dari suatu sistem tenaga listrik yang berfungsi mengonversi daya tanpa harus mengubah frekuensi listrik. Namun, pada gardu induk sendiri transformator biasanya menjadi peralatan listrik yang kurang diperhatikan dan tidak diberikan perawatan yang memadai [11]. Oleh sebab itu, dilakukanlah pengujian suhu titik panas (*hotspot*) dengan menggunakan metode thermovisi pada gardu induk 150 KV Kalibakal Purwokerto. Pengujian pengukuran ini dibantu dengan alat uji thermal imagers yang dapat mengetahui nilai suhu pada klem (sambungan) konduktor dengan melihat sinar inframerah yang dipancarkan oleh thermal imagers yang kemudian ditampilkan pada display/monitor, sehingga dapat mendeteksi keadaan pada peralatan *switchyard* dalam keadaan normal atau dalam kondisi buruk [12], [13].

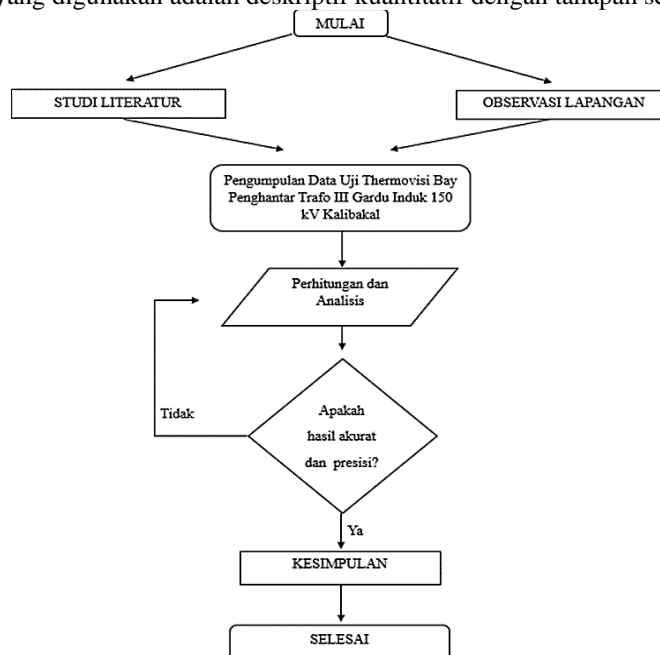
Salah satu gangguan yang dapat mengganggu kualitas dan kontinuitas energi listrik adalah suhu panas yang terjadi pada konduktor atau klem (sambungan) pertemuan antara konduktor dan peralatan listrik. Pemanasan suhu pada titik atau bagian tertentu disebut titik panas (*Hot Point*) [14], [15]. Pada titik sambung bay penghantar dan trafo faktor internal yang umum dijumpai adalah sambungan tidak kencang atau bisa disebut kendor yang membuat tahanan kontak yang besar sehingga menghasilkan panas. Faktor lain yang menyebabkan naiknya suhu pada sambungan trafo adalah pada saat sambungan sedang dilewati oleh arus yang besar pada waktu beban puncak.

Faktor eksternal yang dapat menyebabkan naiknya suhu pada titik sambung antar bay penghantar dan trafo adalah antara lain. Pertama, terdapat kotoran pada titik sambungan seperti debu dan lain-lain yang dapat meningkatkan tahanan kontak. Kedua, terjadi korosi pada peralatan di titik sambungan dan kontak. Ketiga, pengaruh suhu lingkungan sekitar gardu induk, semakin tinggi suhu lingkungan sekitar maka suhu titik sambungan akan meningkat [16].

Untuk mengatasi permasalahan yang terjadi pada trafo khususnya Gardu Induk 150 kV Kalibakal Purwokerto mengenai adanya titik panas yang terjadi pada sambungan bay penghantar trafo. Dilakukan pengecekan suhu secara rutin setiap hari pada titik sambung trafo menggunakan alat ukur *thermal imagers* Thermovisi Flir E60 yang dapat mengetahui nilai suhu pada klem sambungan konduktor dengan melihat sinar inframerah yang dipancarkan oleh *thermal imagers* yang kemudian ditampailkan pada layar *display*, sehingga dapat mendeteksi keadaan pada peralatan *switchyard* dalam keadaan normal atau tidak normal. Berdasarkan penjelasan tersebut dilakukanlah penelitian terhadap suhu titik panas yang terjadi pada titik sambungan klem konduktor pada transformator.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif dengan tahapan sesuai gambar 2.1 berikut:



Gambar 2.1 Tahapan Penelitian

Sesuai gambar 2.1 studi literatur mengumpulkan buku, jurnal, dan mengacu pada standar pengukuran thermovisi yang ditetapkan oleh PT.PLN (Persero). Data diambil langsung dari catatan hasil uji *thermovisi* yang telah dilaksanakan pada Gardu Induk 150 kV Kalibakal. Data tersebut meliputi hasil pencitraan *thermovisi* pada sambungan bay penghantar III trafo 60 MVA, adapun data hasil uji *thermovisi* pada titik sambung bay penghantar III trafo 60 MVA Gardu Induk 150 kV Kalibakal. Perhitungan dan analisis uji *thermovisi* perlu dilakukan untuk menjadi acuan tindakan bila ada titik panas (*hot point*) pada sambungan bay trafo. Analisis dan perhitungan yang perlu dilakukan pada uji *thermovisi* meliputi:

- a. Selisih suhu klem terhadap konduktor (ΔT)

Pengukuran suhu pengujian inspeksi menggunakan alat thermovisi dilakukan pada dua titik setiap objek ukur, yaitu suhu pada konduktor ($T_{\text{konduktor}}$) dan suhu pada klem (T_{klem}) [17]. Perhitungan ini menerapkan perhitungan manual dengan menggunakan persamaan T (Delta -T). Rumus 2.1 yang digunakan dalam perbandingan suhu klem dan konduktor adalah sebagai berikut [18].

$$\Delta T = \left(\frac{I_{\text{maks}}}{I_{\text{saat thermovisi}}} \right)^2 \cdot (T_{\text{klem}} - T_{\text{konduktor}}) \quad (2.1)$$

ΔT = Selisih suhu klem terhadap konduktor, I_{maks} = Arus maksimal, $I_{\text{saat thermovisi}}$ = Arus saat thermovisi
 T_{klem} = Suhu klem, $T_{\text{konduktor}}$ = Suhu konduktor

- b. Nilai emisivitas

Energi yang dipancarkan oleh suatu objek disebut sebagai emisivitas permukaan. Energi tersebut adalah energi termal dari suatu objek, baik dalam kondisi apapun (panas atau dingin). Dengan kata lain, emisivitas adalah sebuah kemampuan bahan untuk menyerap dan memancarkan energi inframerah [18]. Hal ini berdasarkan pada jarak penginderaan sistem termal yang menggunakan dasar bahwa segala benda dengan suhu di atas nol mutlak (0°K atau $-273,15^{\circ}\text{C}$) memancarkan radiasi yang berada pada gelombang [19]. Nilai emisivitas akan dicari menggunakan rumus perpindahan radiasi Hukum Stefan Boltzman. Rumus 2.2 yang digunakan perhitungan nilai emisivitas ini sebagai berikut [12].

$$P = e \cdot \sigma \cdot T^4 \rightarrow e = \frac{P}{\sigma \cdot T^4} \quad (2.2)$$

P = Energi *Thermal Conductivity* (Aluminium = 237 W/m.K) e = Emisivitas σ = Konstanta Stefan Boltzman ($5,672 \times 10^{-8}$ Watt/m² K⁻⁴) T = Suhu mutlak (K).

- c. Uji Presisi

Uji presisi adalah parameter yang menunjukkan derajat antara hasil uji, yang dihitung berdasarkan nilai Standard Reference Material (SRM). SRM yang digunakan adalah emisivitas ACSR Aluminium yang bernilai 0,5 yang dikeluarkan oleh *Infrared Training Center of Flir System Inc* [17], [20], [21]. Untuk menguji tingkat presisi dari pengukuran, maka diperlukan Coeffisien Variation (CV) dan Relative Standard Deviation (RSD). SD dan CV dapat dihitung dari rumus 2.3 dan 2.4 berikut [12], [22], [23].

$$SD = \sqrt{\frac{\sum(x-\alpha)^2}{n-1}} \quad (2.3)$$

$$CV = \left(\frac{SD}{\alpha} \right) \cdot 100\% \quad (2.4)$$

- d. Uji akurasi

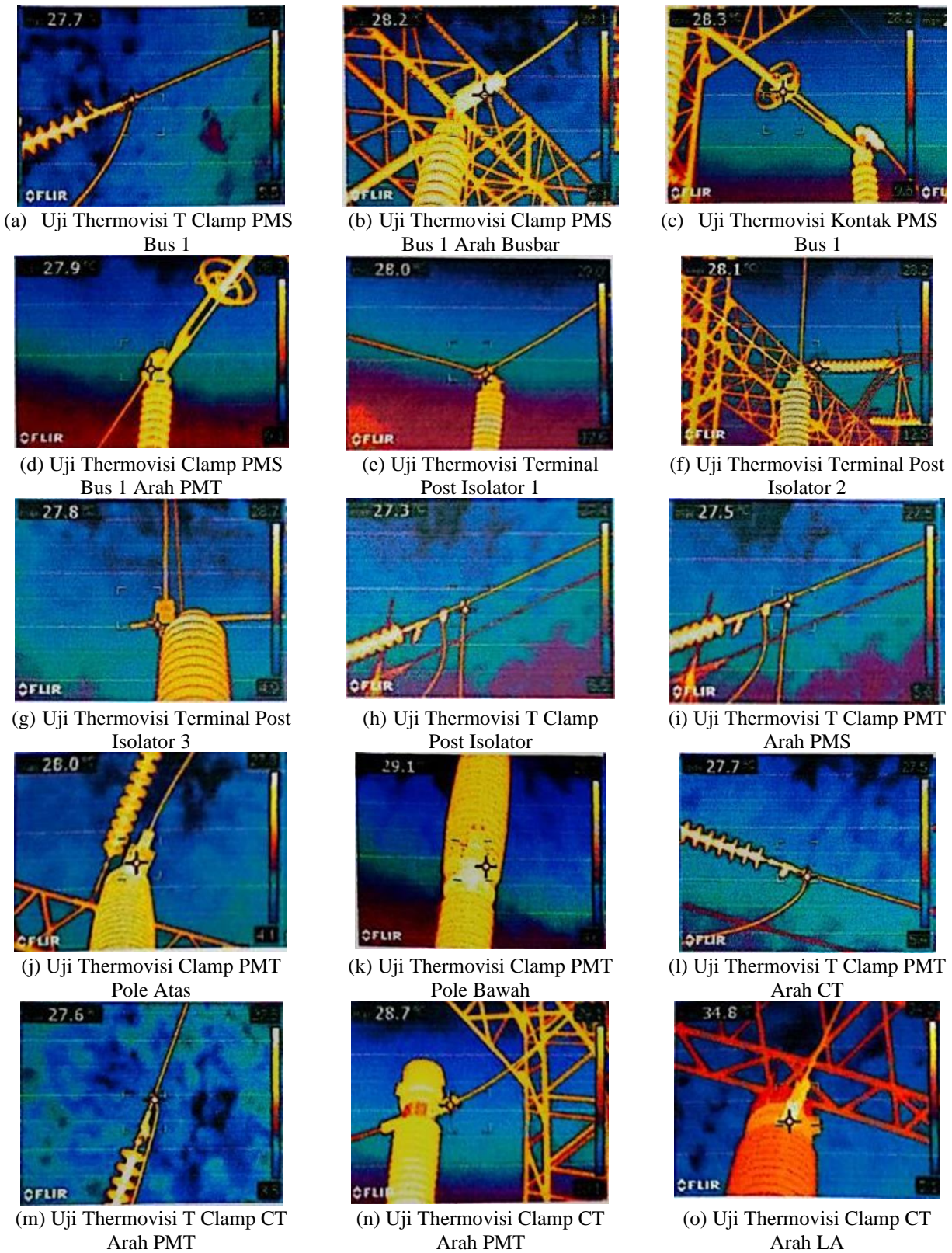
Uji akurasi merupakan sebuah kedekatan hasil analisis terhadap *standard reference material* (SRM) yang sesungguhnya. Hasil hitung dari metode validasi terhadap nilai sebenarnya menggambarkan seberapa tinggi akurasi uji tersebut. Uji menggunakan persamaan 2.5 berikut [12], [24], [25].

$$\% \text{ recovery} = \frac{\alpha - x_{\text{benar}}}{x_{\text{benar}}} \times 100\% \quad (2.5)$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengujian Sensor Proximity

Pelaksanaan thermovisi telah melakukan pengambilan data pengujian temperatur dari beberapa titik sambungan dan konduktor dari bay trafo III di gardu induk Kalibakal 150 kV sebagai sampel penelitian, setelah itu untuk memberikan kesimpulan atas hasil uji yang bervariasi dan dalam beban yang berbeda-beda dimasukkan ke persamaan 1 pendekatan kriteria ΔT (Delta - T). Pelaksanaan uji thermovisi menggunakan alat thermal imagers FLIR E60 tentunya kita menginginkan data yang akurat dan mudah untuk dipahami. Maka dari itu, berikut adalah hasil citra dari uji thermovisi pada sambungan bay penghantar III trafo 60 MVA Gardu Induk 150 KV Kalibakal Purwokerto.



Gambar 3.1 Uji Thermovisi

Titik uji thermovisi yang dilakukan pada bay penghantar III trafo 60 MVA Gardu Induk Kalibakal Purwokerto yang berfokus pada titik sambung antara bay penghantar dan transformator. Dapat dilihat bahwa nilai dari arus

nominal setiap titik adalah 600 *Ampere* (A), Arus tertinggi yang di dapat pada setiap titik adalah 90 *Ampere* (A), pada proses pengukuran arus nominal dan arus tertinggi yang didapat memiliki nilai sesungguhnya yang telah disederhanakan sampai diperoleh hasil data nilai masing- masing tersebut. Untuk nilai yang diamati pada saat inspeksi arus saat pengujian diperoleh hasil 69,72, dan 74 dengan satuan *Ampere*, Hasil dari uji thermovisi menggunakan *thermal imagers* FLIR E60 diperoleh suhu klem adalah berkisar dari nilai suhu terendah adalah 27.2°C dan suhu tertinggi yang tercatat pada uji thermovisi pada titik klem yaitu 34.8°C, dan untuk hasil uji thermovisi pada area konduktor ialah berkisar pada nilai suhu terendah diperoleh temperatur suhu 27°C sedangkan temperatur tertinggi yang dicapai pada uji thermovisi pada area konduktor adalah 34.4°C. Berikut rakap tabel hasil pengujian:

Tabel 3.1. Hasil Pengujian Thermovisi

Objek/Instalasi	Suhu Klem (°C)	Suhu Konduktor (°C)	Selisih suhu klem terhadap konduktor ΔT (°C)	Emisivitas (x)	(x- α)	(x- α) ²
T Clamp PMS Bus 1 Fasa R	28	27,8	0,295	0,508	0,0020	0,0000040
T Clamp PMS Bus 1 Fasa S	27,7	27,6	0,156	0,510	0,0040	0,0000160
T Clamp PMS Bus 1 Fasa T	27,5	27,4	0,170	0,511	0,0050	0,0000250
Clamp PMS Bus 1 Arah Busbar Fasa R	28,1	27,9	0,295	0,507	0,0010	0,0000010
Clamp PMS Bus 1 Arah Busbar Fasa S	28,2	28,1	0,156	0,506	0,0000	0,0000000
Clamp PMS Bus 1 Arah Busbar Fasa T	28,6	28,3	0,510	0,504	-0,0020	0,0000040
Kontak PMS Bus 1 Fasa R	28,3	28,2	0,147	0,506	0,0000	0,0000000
Kontak PMS Bus 1 Fasa S	29,1	29	0,156	0,500	-0,0060	0,0000360
Kontak PMS Bus 1 Fasa T	30,8	30,7	0,170	0,489	-0,0170	0,0002890
Clamp PMS Bus 1 Arah PMT Fasa R	28,6	28,4	0,295	0,504	-0,0020	0,0000040
Clamp PMS Bus 1 Arah PMT Fasa S	27,9	27,5	0,625	0,508	0,0020	0,0000040
Clamp PMS Bus 1 Arah PMT Fasa T	27,9	27,4	0,851	0,508	0,0020	0,0000040
Terminal Post Isolator R1	28	27,7	0,444	0,508	0,0020	0,0000040
Terminal Post Isolator R2	27,8	27,6	0,296	0,509	0,0030	0,0000090
Terminal Post Isolator R3	28	27,7	0,444	0,508	0,0020	0,0000040
Terminal Post Isolator S1	28,1	27,9	0,313	0,507	0,0010	0,0000010
Terminal Post Isolator S2	27,8	27,7	0,156	0,509	0,0030	0,0000090
Terminal Post Isolator S3	27,9	27,8	0,156	0,508	0,0020	0,0000040
Terminal Post Isolator T1	28	27,8	0,340	0,508	0,0020	0,0000040
Terminal Post Isolator T2	27,9	27,7	0,340	0,508	0,0020	0,0000040
Terminal Post Isolator T3	28	27,8	0,340	0,508	0,0020	0,0000040
T Clamp Post Isolator Fasa R	27,9	27,5	0,592	0,508	0,0020	0,0000040
T Clamp Post Isolator Fasa S	28	27,4	0,938	0,508	0,0020	0,0000040
T Clamp Post Isolator Fasa T	27,7	27,1	1,021	0,510	0,0040	0,0000160
T Clamp PMT Arah PMS Fasa R	27,5	27,3	0,296	0,511	0,0050	0,0000250
T Clamp PMT Arah PMS Fasa S	27,6	27,3	0,469	0,510	0,0040	0,0000160
T Clamp PMT Arah PMS Fasa T	27,9	27,1	1,361	0,508	0,0020	0,0000040
Clamp PMT Pole Atas Fasa R	27,6	26,3	1,923	0,510	0,0040	0,0000160
Clamp PMT Pole Atas Fasa S	27,3	26,4	1,406	0,512	0,0060	0,0000360
Clamp PMT Pole Atas Fasa T	28,8	27,8	1,701	0,502	-0,0040	0,0000160
Clamp PMT Pole Bawah Fasa R	28	27,7	0,444	0,508	0,0020	0,0000040
Clamp PMT Pole Bawah Fasa S	28	27,6	0,625	0,508	0,0020	0,0000040
Clamp PMT Pole Bawah Fasa T	28,9	28,6	0,510	0,508	0,0020	0,0000040
T Clamp PMT Arah CT Fasa R	27,7	27,5	0,296	0,510	0,0040	0,0000160
T Clamp PMT Arah CT Fasa S	27,5	27,4	0,156	0,511	0,0050	0,0000250
T Clamp PMT Arah CT Fasa T	27,2	27	0,340	0,513	0,0070	0,0000490
T Clamp CT Arah PMT Fasa R	27,9	27,8	0,148	0,508	0,0020	0,0000040
T Clamp CT Arah PMT Fasa S	27,6	27,5	0,156	0,510	0,0040	0,0000160
T Clamp CT Arah PMT Fasa T	27,3	27,2	0,170	0,512	0,0060	0,0000360
Clamp CT Arah PMT Fasa R	29,7	29,5	0,296	0,496	-0,0100	0,0001000
Clamp CT Arah PMT Fasa S	29,9	29,8	0,156	0,495	-0,0110	0,0001210
Clamp CT Arah PMT Fasa T	28,7	28,6	0,170	0,503	-0,0030	0,0000090
Clamp CT Arah LA Fasa R	29,9	29,7	0,296	0,495	-0,0110	0,0001210

Clamp CT Arah LA Phasa S	34,8	34,4	0,625	0,464	-0,0420	0,0017640
Clamp CT Arah LA Phasa T	28,6	28,3	0,510	0,503	-0,0030	0,0000090
Rata-rata (α)				0,506		
Jumlah				0,0000633		
SD				0,0112		
CV				0,23%		

Berdasarkan tabel 3.1 terdapat 45 titik uji thermovisi yang dilakukan pada bay penghantar III trafo 60 MVA Gardu Induk Kalibakal Purwokerto yang berfokus pada titik sambung antara bay penghantar dan transformator. Dapat dilihat bahwa nilai dari arus nominal setiap titik adalah 600 Ampere (A), Arus tertinggi yang di dapat pada setiap titik adalah 90 Ampere (A), pada proses pengukuran arus nominal dan arus tertinggi yang didapat memiliki nilai sesungguhnya yang telah disederhanakan sampai diperoleh hasil data nilai masing- masing tersebut. Untuk nilai yang diamati pada saat inspeksi arus saat pengujian diperoleh hasil 69,72, dan 74 dengan satuan Ampere, Hasil dari uji thermovisi menggunakan thermal imagers FLIR E60 diperoleh suhu klem adalah berkisar dari nilai suhu terendah adalah 27.2°C dan suhu tertinggi yang tercatat pada uji thermovisi pada titik klem yaitu 34.8°C, dan untuk hasil uji thermovisi pada area konduktor ialah berkisar pada nilai suhu terendah diperoleh temperatur suhu 27°C sedangkan temperatur tertinggi yang dicapai pada uji thermovisi pada area konduktor adalah 34.4°C.

Data selisih suhu klem terhadap konduktor juga dapat dilihat bahwa kondisi dari titik terminal, sambungan, dan kontakannya tidak ada yang melebihi >10°C. Sesuai dengan Buku Pedoman Pemeliharaan PLN No. 0520-2.K/DIR/2014 yang berarti sambungan dalam kondisi baik. Kondisi ini dapat menjadi acuan untuk menindak lanjuti keadaan sambungan pada Bay Trafo III 60 MVA sehingga dapat meminimalisir kerusakan dan gangguan fatal yang tidak diinginkan. Hasil rata-rata emisivitas yaitu 0.506 yang berarti termasuk dalam rentan suhu yang sesuai dengan *Standard Reference Material* (SRM) (emisivitas aluminium 0.5) [4].

Sesuai tabel 3.1 Validasi Uji Thermovisi Bay Penghantar III trafo 60 MVA Gardu Induk 150 kV Kalibakal didapat hasil dari perhitungan Relative Standard Deviation (RSD) dengan menggunakan persamaan (3.3) didapat hasil perhitungan yaitu 0.0112, adapun nilai dari tabel di atas mengenai perhitungan CV menggunakan persamaan (3.4) mengenai perhitungan Coefficient Variation (CV) yaitu sebesar 0.23%, hasil ini dapat dikategorikan sebagai hasil yang baik dari standar nilai CV yaitu sebesar <2%. Jadi hasil ini dapat dijadikan sebagai acuan tindak lanjut mengenai analisis uji presisi pada peralatan di Gardu Induk 150 kV Kalibakal. Kemudian perhitungan akurasi pada uji thermovisi di bay penghantar III trafo 60 MVA Gardu Induk 150 kV Kalibaka:

$$\begin{aligned} \% \text{ recovery} &= \frac{\alpha - \text{nilai RSM}}{\text{nilai RSM}} \times 100\% \\ &= \frac{0.506 - 0.5}{0.5} \times 100\% \\ &= 0.12\% \end{aligned}$$

Ditemukan akurasi = 100% - 0.12% = 99.88%, bay penghantar III trafo 60 MVA memiliki tingkat akurasi sebesar 99.88%. Artinya thermal imagers Flir E60 akurat dalam mengukur suhu hotspot, bisa disimpulkan bahwa suhu dari peralatan yang dilakukan pengujian thermovisi pada bay penghantar tersebut masih dalam keadaan normal dan baik.

4. Kesimpulan

Kesimpulan hasil evaluasi uji yang dilakukan dalam metode thermovisi ini menggunakan perhitungan selisih suhu (ΔT) antara klem terhadap konduktor yang didapat hasil suhu tidak ada yang melebihi >10°C. Adapun perhitungan nilai emisivitas menggunakan hukum Stefan Boltzman yang didapat hasil rata-rata emisivitas yaitu 0.506 yang berarti termasuk dalam rentan suhu yang sesuai dengan Standard Reference Material (SRM) (emisivitas aluminium 0.5). Uji presisi dengan presentase presisi dinyatakan dengan Coeficient of Variation (CV) yang didapat hasil dari 45 titik uji adalah sebesar 0.23%, hasil ini dapat dikategorikan sebagai hasil yang baik dari standar nilai CV yaitu sebesar <2%. Perhitungan uji akurasi yang ditemukan hasil 99.88% yang berarti titik yang diuji masih dalam kondisi baik. Dalam penentuan hot point dan prediksi tindak lanjut peralatan, diterapkan Buku Pedoman Pemeliharaan PLN No. 0520-2.K/DIR/2014 sebagai standar pedomannya. Evaluasi uji thermovisi yang telah dilakukan dengan metode perhitungan, dapat dinyatakan bahwa semua peralatan pada bay penghantar trafo III 60 MVA Gardu Induk 150 kV Kalibakal dalam kondisi baik dan dapat ditarik kesimpulan bahwa belum perlu adanya tindak lanjut terhadap peralatan.

Daftar Pustaka

- [1] Azis, Abdul, and Irine Katika Febrianti. "Analisis Sistem Proteksi Arus Lebih Pada Penyulang Cendana Gardu Induk Bungaran Palembang." *Jurnal Ampere* 4.2 (2019): 332-344.
- [2] Dermawan, Erwin, and Dimas Nugroho. "Analisa koordinasi over current relay dan ground fault relay di sistem proteksi feeder gardu induk 20 kV Jababeka." *eLEKTUM* 14.2 (2017): 43-48.
- [3] Jainudin, Jidan, Rahmat Hidayat, and Reni Rahmadewi. "Analisis Pemeliharaan Kinerja Dengan Metode Thermovisi Pada Peralatan Gardu Induk 500 kV Tambun." *Media ElektriKa* 15.2 (2022).
- [4] Amir, Alfin Akram Dwi. *Analisis Penerapan Fungsi Dua Tahap Pada Relai Proteksi Standby Earth Fault (SBEF) Transformator 30 MVA Gardu Induk Maros 150 kV*. Diss. Politeknik negeri Ujung Pandang, 2022.

- [5] Elnizar, Hendri, Herri Gusmedi, and Osea Zebua. "Analisis Rugi-Rugi (Losses) Transformator Daya 150/20 KV di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Sutami ULTG Tarahan." *Electrician: Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro* 15.2 (2021): 116-126.
- [6] Manihuruk, Jonner, Toga Simorangkir, and Novrin L. Sitanggang. "Studi Kemampuan Arrester Untuk Pengaman Transformator Pada Gardu Induk Tanjung Morawa 150 KV." *Jurnal ELPOTECS* 4.1 (2021): 16-25.
- [7] Siswanto, Agus, et al. "Analisis Karakteristik Minyak Transformator Menggunakan Pengujian Dissolved Gas Analysis (DGA) pada IBT 1 Gardu Induk." *Foristek* 12.1 (2022): 30-42.
- [8] Yulianti, Wulan, et al. "Respon Krisis Twitter PLN saat Listrik Mati Massal Tahun 2019 untuk Mempertahankan Reputasi Perusahaan." *Warta Ikatan Sarjana Komunikasi Indonesia* 5.1 (2022): 10-21.
- [9] Nurulhuda, Istikhana, M. Wulandari, and B. Prasetyo. "Crisis communication strategy pt. pln (persero) in responding to electric blackout in jakarta in 2019." *International Journal of Science and Society* 4.2 (2022): 291-298.
- [10] Aulia, Ligia, and Agus Rahmat Hermawanto. "Analisis Risiko Keselamatan Kerja Pada Bagian Pelayanan Distribusi Listrik Dengan Metode Hirarc (Studi Kasus Di Pt. Haleyora Power)." *Sistemik: Jurnal Ilmiah Nasional Bidang Ilmu Teknik* 8.1 (2020): 20-27.
- [11] Prayogo, Jimmy Arimas, and Choirul Mufit. "Analisis Perawatan Berkala Trafo Distribusi 800 kVA pada Rumah Sakit X Kota Tangerang." *Elektrika* 15.1 (2023): 45-48.
- [12] Pasaribu, Faisal Irsan. "Penentuan Hot Point dan Monitoring Peralatan Menggunakan Thermal Imagers Fluke dengan Metode Thermovisi." *Journal of Electrical and System Control Engineering* 4.2 (2021): 113-128.
- [13] Anwar, Baharuddin, and S. T. Agus Supardi. *Penentuan Hot Point dengan menggunakan metode thermovisi pada gardu induk 150 kV Purwodadi*. Diss. Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2019.
- [14] Lestari, Dyah Ayu. *Analisis Pengaruh Suhu Terhadap Rugi-Rugi Daya Pada Penghantar 70 kV Gardu Induk Bukit Siguntang*. Diss. 021008 Universitas Tridnanti Palembang, 2020.
- [15] Fartika, Desti, and Andi Makkulau. "Menentukan Titik Hotspot pada Tower 150kv di Pskb-Psklm dengan Menggunakan Kamera Thermovisi." *SNEKTI2023* 4 (2023).
- [16] Maruf, A., & Primadiyono, Y. (2021). Analisis Pengaruh Pembebanan Dan Temperatur Terhadap Susut Umur Transformator Tenaga 60 Mva Unit 1 Dan 2 Di Gi 150 Kv Kalisari. *Edu Elektrika Journal*.
- [17] Anwar, B. (2018). Penentuan Hot Point Dengan Menggunakan Metode Thermovisi Pada Gardu Induk 150 Kv Purwodadi. *Jurnal Abdimas Dewantara*.
- [18] Palolongan, Gunardi, Matius Sau, and Hestikah Eirene Patoding. "Analisa Thermovisi Suhu Lebih Pada Gardu Induk Daya Baru." *Prosiding Seminar Nasional Sinergitas Multidisiplin Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*. Vol. 7. 2024.
- [19] Wiwin A Oktaviani, Taufik Barlian, & M Agus Salim. (2020). Uji Akurasi Dan Uji Presisi Pengukuran Suhu Penghantar Dengan Metode Thermovisi (STUDI KASUS : PENGHANTAR PRABUMULIH 1 GARDU INDUK 150 KV GUNUNG MEGANG). *Jurnal Rekayasa Elektro Sriwijaya*.
- [20] Machado, Álvaro S., et al. "Influence of infrared camera model and evaluator reproducibility in the assessment of skin temperature responses to physical exercise." *Journal of Thermal Biology* 98 (2021): 102913.
- [21] Perpetuini, David, et al. "An overview of thermal infrared imaging-based screenings during pandemic emergencies." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18.6 (2021): 3286.
- [22] Umar, Wakhid Khoirul, Helen Arwendah, and Etik Sustiyani. "Nitrogen Determination in Leaves Palm Oil using The San++ Scalar Continuous Flow Analyzer Following Wet Digestion with 50ml Dilution Sulfuric Acid: Testing and Validation." *Chimica et Natura Acta* 11.3 (2023): 125-135.
- [23] Pélabon, Christophe, et al. "On the use of the coefficient of variation to quantify and compare trait variation." *Evolution letters* 4.3 (2020): 180-188.
- [24] Black, David R., et al. "Certification of Standard Reference Material 660c for powder diffraction." *Powder diffraction* 35.1 (2020): 17-22.
- [25] Black, David R., et al. "Certification of SRM 640f line position and line shape standard for powder diffraction." *Powder diffraction* 35.3 (2020): 156-159.