

Optimalisasi Thermovisi Dalam Menentukan Hot Point pada Peralatan Bay Penghantar Cikasungka 1 di Gardu Induk 150 kV Rancaekek

Muhamad Ridwan, Teguh Arfianto

Institut Teknologi Nasional Bandung

Email: ridwanmuhamad2397@gmail.com

Received DD MM YYYY | Revised DD MM YYYY | Accepted DD MM YYYY

ABSTRAK

Peralatan instalasi ketenagalistrikan selalu terpapar faktor yang membuat kondisinya menurun seperti kontak fisik/mekanik, kimia, dan lingkungan. Faktor yang dipakai sebagai acuan pemeriksaan adalah suhu peralatan operasional. Suhu tak wajar akan dihasilkan oleh peralatan ketenagalistrikan karena listrik merupakan energi yang menghasilkan panas dan memperburuk kondisi peralatan, maka kamera infrared berperan memonitor kondisi peralatan ketenagalistrikan dengan suhu peralatan sebagai acuannya. Pengukuran dilakukan dengan mengambil data satu kali dalam satu bulan suhu peralatan bay penghantar Cikasungka 1 sebanyak 36 data pada malam dan siang. Siang hari didapatkan hasil thermovisi yaitu tingkat akurasi thermal image flir 89,93%, tingkat presisi 3,01% dengan 31 sambungan kondisi baik, 3 sambungan ukur 1 bulan lagi, 2 sambungan kondisi rencana perbaikan. Sedangkan malam hari tingkat akurasi 95,6%, presisi 2,8% dengan 31 sambungan kondisi baik yaitu memiliki suhu <10°C dan 5 sambungan kondisi rencana perbaikan yaitu memiliki suhu 25°C - 40°C.

Kata kunci: Peralatan Listrik, Suhu, Thermovisi, Gambar termal, Titik Panas.

ABSTRACT

Electrical installation equipment is always exposed to factors that make its condition decrease such as physical/mechanical contact, chemistry, and environment. Factor references used for monitoring such as temperature equipment, especially operational temperature. Unnatural temperatures will be produced by electrical equipment because electricity produce heat and can worsen the equipment condition, infrared cameras will monitor the equipment condition with equipment temperature as a reference. Measurement was taken by taking data once in a month temperature of Cikasungka 1 bay line 36 equipment data at night and day. During the day, thermovision results: thermal image flir accuracy rate 89.93%, precision 3.01% with 31 good condition connections, 3 measuring connections in a month, 2 connections in repair plan. While at night the accuracy rate 95.6%, precision 2.8% with 31 good condition connections that have temperature <10°C, 5 connections in repair plan that have temperature 25°C - 40°C.

Keywords: Electrical equipment, Temperature, Thermovision, Thermal image, Hot Point.

1. PENDAHULUAN

Seluruh peralatan instalasi ketenagalistrikan dalam pengoperasiannya selalu terpapar oleh faktor – faktor yang menjadikan kondisinya menurun seperti kontak fisik/mekanik, kontak kimia, lingkungan ataupun akibat energi listrik itu sendiri. Untuk menjaga kondisi peralatan instalasi ketenagalistrikan maka kegiatan pemeliharaan perlu dilaksanakan. Kegiatan pemeliharaan secara rutin dapat menjaga kondisi peralatan instalasi ketenagalistrikan tetap optimal dan memperpanjang usia operasional dari suatu peralatan tersebut. Kegiatan monitoring kondisi peralatan tersebut dapat di laksanakan secara *visual* (langsung) ataupun *non-visual* (tidak langsung), dan dapat menggunakan panca indra atau dengan bantuan peralatan lain **(PLN, 2014)**

Suhu akan dihasilkan oleh peralatan instalasi ketenagalistrikan karena adanya arus yang mengalir melaluinya. Hal tersebut karena listrik merupakan suatu energi yang pada dasarnya akan menghasilkan panas. Namun terkadang kondisi dari peralatan instalasi ketenagalistrikan tidak baik sehingga terjadi anomali dalam operasinya, hal ini akan menimbulkan panas yang tak wajar. Panas tak wajar tersebut dapat memperburuk kondisi dari peralatan **(Anwar, 2019)**. Disitulah peran kamera *infrared* (IR) adalah untuk memonitor kondisi peralatan instalasi ketenagalistrikan dengan suhu peralatan sebagai acuannya.

Roni Putra Ramadhani (2018) telah melakukan penelitian tentang “Thermovisi dalam melihat Hot-Point Pada Gardu Induk 150kV Palur” Penelitian ini dilakukan terhadap peralatan listrik *bay* trafo 1 GI 150kV palur. Untuk mengetahui suhu panas pada sambungan dan konduktor, agar mendapatkan nilai selisih suhu sambungan terhadap suhu konduktor, sehingga dapat mendeteksi keadaan apada peralatan switchyard dalam keadaan normal atau tidak normal, serta membahas metode pengukuran nilai emisivitas untuk memperoleh nilai emisivitas yang akurat dan baik, agar menyatakan bahwa nilai pengukuran suhu memiliki tingkat akurasi dan persisi dengan menggunakan thermal image FLUKE Ti110 **(Putra, 2018)**.

Penelitian *hot point* pada peralatan gardu induk juga dimuat dalam laporan” *Predictive Maintenance Of Power Substation Equipment by Infrared Thermography Using a Machine-Learning Approach*” Pada jurnal ini menjelaskan bagaimana pencegahan awal mekanisme Gardu Induk dengan *Infrared Thermography* menggunakan metoda *Machine-Learning Approach* (MLA). Pada penelitian ini menggunakan 150 *thermal image* dari berbagai peralatan listrik di 10 gardu berbeda dalam kondisi beroperasi menggunakan 300 *hotspot* yang berbeda. Pendekatan menggunakan MLA dengan *perceptron multi-layer* untuk membedakan cacat dan tidak cacat. Kinerja MLA menunjukkan akurasi klasifikasi sebesar 79,78% **(Ullah, et al., 2017)**.

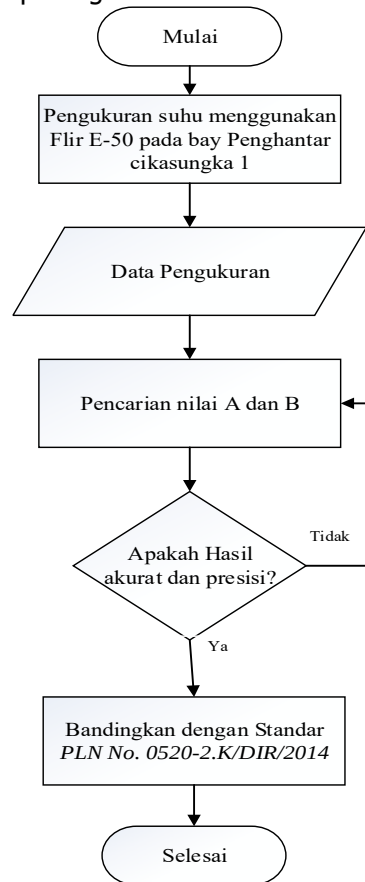
Selain itu, dalam laporan yang berjudul *Detection of Hot Spots by Thermal Imaging to Protect Power Equipments*. Thane: *International Jornal of Students Research in Teknologi & Management*. Pada jurnal ini menjelaskan tentang pengujian *Hot Spot* menggunakan *Optical Camera* yang terpasang pada robot *line follower* secara periodik pada *Power Plant* dan *Transformer* 230kV yang diolah menggunakan matlab **(Harishkumar, Mohammed, & Mujtaba, 2014)**.

Untuk itu penulis ingin mengoptimalkan pemantauan pemeliharaan pada peralatan gardu induk yang berada di area *switchyard* dengan salah satunya memperhatikan suhu, karena dari suhu kita dapat mengetahui apakah peralatan tersebut masih berada dalam kondisi baik atau tidak sekaligus dapat juga mengetahui kapan harus direncanakan perbaikan pada peralatan tersebut dan *switchyard* terdiri dari berbagai peralatan, peralatan tersebut terdiri dari berbagai macam material, seperti *porcelain* pada *insulator*, aluminium dan tembaga pada konduktor, besi galvanis pada struktur serandang, dan lain lain. Material – material tersebut memiliki sifat yang berbeda, dalam hal ini adalah *emissivity* nya.

2. METODOLOGI

2.1. Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir dituliskan pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Gambar 1. cara kerja sistem ini dimulai dengan mengumpulkan studi literatur yang diperlukan untuk penelitian ini kemudian melakukan pengumpulan data dengan cara mengukur suhu seluruh peralatan yang berada di *switchyard* dengan menggunakan flir e-50. Pengukuran dilakukan dengan cara mengambil sampel data 1 kali dalam 1 bulan dengan mengambil suhu peralatan bay penghantar Cikasungka 1 sebanyak 36 sampel data pada malam hari dan siang hari . Selanjutnya data yang diperoleh di olah untuk mengklasifikasikan apakah kondisi peralatan berada dalam kondisi normal <10°C ,ukur satu bulan lagi 10°C- 25°C , rencanakan perbaikan 25°C - 40°C , perbaiki segera 40°C - 70°C atau kondisi darurat >70°C sesuai peraturan *PLN No. 0520-2.K/DIR/2014 (2014)* .

2.2 Pengolahan Data

Pengolahan data ini menggunakan rumus :

1. Menghitung suhu secara perhitungan

$$R = R_{\text{ref}}(1 + \alpha (t - t_{\text{ref}}))$$

$$t = \frac{R_{\text{ref}} (\alpha \cdot T_{\text{ref}} - 1) + R}{R_{\text{ref}} \cdot \alpha} \quad (1)$$

Keterangan :

- R_{ref} = Resistansi Referensi (0,0821Ω/km) **(M-TEC)**
- R = Resistansi perubahan suhu (Ω)
- α = Koefisien suhu hambatan (0,5) **(Flir)**
- T = Suhu (°C)
- T_{ref} = Suhu Referensi (suhu lingkungan)

- Impedansi saluran

$$Z = \frac{V_s - V_R}{I} \quad (2)$$

Keterangan :

- V_s = Tegangan pengirim
- V_R = Tegangan Penerima
- I = Arus

- Faktor daya $Pf = \cos \theta$
- Resistansi saluran

$$R = Z \cdot \cos \theta \quad (3)$$

Keterangan :

- Z = Impedansi saluran
- $\cos \theta$ = Faktor daya ($Pf = 0,8$)

2. Menghitung suhu klem dan suhu konduktor

Melakukan perhitungan manual menggunakan persamaan pendekatan kriteria ΔT (Delta –T). Sampel yang diambil 36 pada Bay Penghantar Cikasungka 1. Rumus perbandingan suhu klem dan konduktor sebagai berikut :

$$\Delta T = \left(\frac{I_{\max}}{I_{\text{saat thermovisi}}} \right)^2 \cdot (T_{\text{klem}} - T_{\text{konduktor}}) \quad (4)$$

Keterangan:

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

3. Perhitungan Emisivitas

Nilai emisivitas akan dicari menggunakan rumus perpindahan radiasi hukum Stefan Boltzman. Rumus yang digunakan dalam perhitungan nilai emisivitas ini sebagai berikut :

$$P = e \cdot \sigma \cdot T^4 \rightarrow e = \frac{P}{\sigma \cdot T^4} \quad (5)$$

Keterangan:

- P = Energi *Thermal Conductivity* (Alumunium = 237 W/m.k)
- e = Emisivitas
- σ = Konstanta Stefan Boltzman ($5,672 \times 10^{-8} \text{ watt m}^{-2} \text{ k}^{-4}$)
- $T = T_{\text{klem}} + 273,15 \text{ K}$

4. Analisis Validasi

Merupakan suatu pembuktian hitungan terhadap parameter tertentu. Untuk membuktikan bahwa parameter tersebut sudah memiliki presisi dan akurasi yang baik atau tidak.

A. Uji Presisi

Sampel yang digunakan berjumlah 36 pada masing-masing *bay* penghantar Cikasungka 1 , SD dan CV dapat dihitung dari rumus berikut :

$$SD = \sqrt{\frac{\sum(x-a)^2}{n-1}} \quad (6)$$

Keterangan:

SD = *Standard deviation* (simpangan baku)

$\sum(x-a)^2$ = (Jumlah total nilai emisivitas dikurangi rata-rata nilai emisivitas)

n = Jumlah

$$CV = \left(\frac{SD}{\text{Nilai SRM}} \right) \times 100\% \quad (7)$$

Keterangan :

CV = Variasi Koefisien

SD = *Standard deviation* (simpangan baku)

Nilai SRM = Standar Reference Material 0,5

B. Uji Akurasi

Uji akurasi dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\% \text{recovery} = \left(\frac{\alpha - \text{Nilai SRM}}{\text{Nilai SRM}} \right) \times 100\% \quad (8)$$

Keterangan:

% recovery = Presentase nilai bias

α = Nilai rata-rata emisivitas

Nilai SRM = nilai yang benar (Standar Reference Material 0,5)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Data dan Karakteristik Konduktor

Adapun data yang di dapat:

Tabel 1. Karakteristik Konduktor

Jenis Konduktor	Diameter	Luas Penampang	Berat Konduktor	Resistansi 23°C	Rating Arus Pabrik atau SPLN	Temp Operasi Maksimum
Acsr	28,62mm	484,5mm ²	1621 kg/km	0,0821 ohm/km	635 A / 780 A	90°C

3.2. Hasil Perhitungan dan Pembahasan

1. Menghitung suhu konduktor secara perhitungan:

- PMS Line Phasa R

$$R = R_{\text{ref}}(1 + \alpha(t - t_{\text{ref}}))$$

$$t = \frac{R_{\text{ref}}(\alpha \cdot t_{\text{ref}} - 1) + R}{R_{\text{ref}} \cdot \alpha}$$

$$Z = \frac{V_S - V_R}{I}$$

$$Z = \frac{147\text{kV} - 146,6\text{kV}}{251\text{A}} = 1,59 \Omega$$

$$R = Z \cdot \cos \theta = 1,59 \cdot 0,8 = 1,27 \Omega$$

$$t = \frac{(0,0821 \times 9,8)(0,5 \cdot 23 - 1) + 1,27}{(0,0821 \times 9,8) \cdot 0,5} = 24,15^\circ\text{C}$$

- PMT arah PMS Phasa R

$$t = \frac{(0,0821 \times 0,008)(0,5 \cdot 23 - 1) + (42 \times 10^{-9})}{(0,0821 \times 0,008) \cdot 0,5} = 21,0000127^\circ\text{C}$$

- PMT arah CT Phasa R

$$t = \frac{(0,0821 \times 0,002) (0,5.23 - 1) + (42 \times 10^{-9})}{(0,0821 \times 0,002) \cdot 0,5} = 21,00051 \text{ }^{\circ}\text{C}$$
- PMS arah Busbar Phasa R

$$t = \frac{(0,0821 \times 0,0043) (0,5.23 - 1) + (12 \times 10^{-9})}{(0,0821 \times 0,0043) \cdot 0,5} = 21,0000068 \text{ }^{\circ}\text{C}$$
- Kontak PMS Phasa R

$$t = \frac{(0,0821 \times 0,006) (0,5.23 - 1) + (12 \times 10^{-9})}{(0,0821 \times 0,006) \cdot 0,5} = 21,00000487 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Tabel 2. Hasil Perbandingan Pengukuran dan Perhitungan

Obyek/instalasi	Nilai Pengukuran ($^{\circ}\text{C}$)	Nilai Perhitungan ($^{\circ}\text{C}$)	Selisih ($^{\circ}\text{C}$)
PMS Line Phasa R	24,8	24,15	0,65
PMT arah PMS Phasa R	23,1	21,0000127	2,09
PMT arah CT Phasa R	24,6	21,00051	3,59
PMS arah Busbar Phasa R	23,9	21,0000068	2,89
Kontak PMS Phasa R	25	21,00000487	3,9

Tabel 2. Menunjukkan perbandingan nilai suhu perhitungan dengan pengukuran menggunakan alat *thermal image* Flir E-50 pada konduktor bay penghantar cikasungka 1. PMS Line Phasa R memiliki nilai selisih suhu yang sangat kecil yaitu $0,65^{\circ}\text{C}$, pada PMT arah PMS Phasa R selisih suhunya $2,09^{\circ}\text{C}$, pada PMT arah CT Phasa R selisih suhunya $3,59^{\circ}\text{C}$, pada PMS arah Busbar 1 Phasa R selisih suhunya $2,89^{\circ}\text{C}$, pada Kontak PMS Phasa R selisih suhunya $3,9^{\circ}\text{C}$. Selisih suhu antara perhitungan dan pengukuran ke lima data tersebut masih berada dalam kondisi normal yakni dibawah 10°C menurut peraturan *PLN No. 0520-2.K/DIR/2014*. Sehingga masih dapat digunakan sebagai indikasi pemeliharaan.

2. Menghitung Suhu Klem dan Konduktor secara pengukuran
 Berikut Contoh Perhitungan suhu klem dan Konduktor :

- Terminal LA Phasa R

$$\Delta_T = \left(\frac{281}{251}\right)^2 \cdot (23,7 - 22,8) = 1$$
- Terminal PMS Line arah CT Phasa R

$$\Delta_T = \left(\frac{281}{251}\right)^2 \cdot (24,8 - 24,2) = 1$$
- Terminal CT arah PMS Line Phasa R

$$\Delta_T = \left(\frac{281}{251}\right)^2 \cdot (25 - 23,8) = 2 \text{ } (^{\circ}\text{C})$$
- Terminal CT arah PMT Phasa R

$$\Delta_T = \left(\frac{281}{251}\right)^2 \cdot (26 - 24,7) = 2 \text{ } (^{\circ}\text{C})$$
- Terminal PMT arah CT Phasa R

$$\Delta_T = \left(\frac{281}{251}\right)^2 \cdot (26,1 - 24,6) = 2 \text{ } (^{\circ}\text{C})$$
- Kontak PMS Bus 1 Phasa R

$$\Delta_T = \left(\frac{281}{251}\right)^2 \cdot (30,5 - 25) = 7 \text{ } (^{\circ}\text{C})$$

Optimalisasi Thermovisi Dalam Menentukan Hot Point Pada Peralatan Bay Penghantar Cikarang 1 Di Gardu Induk 150 kV Rancaekek

Tabel 3. Data dan Hasil Perhitungan Suhu dan Klem Thermovisi Malam

	Arus Tertinggi		Suhu	Suhu	Selisih Suhu			
	yang pernah	Arus Saat	Klem	Konduktor	Klem Terhadap	Tindak Lanjut	Tindak Lanjut	Tindak Lanjut
No.	Obyek / instalasi	dicapai	Shooting	Saat Shooting	Konduktor	selisih klem terhadap	Selisih antar fasa	suhu klem saat shooting
					Delta Tm.	Konduktor	<15C	>40
		Im2 (A)	Is2 (A)	Tkls (CO)	Tkds (CO)	(CO)	(CO)	(CO)
		a	b	c	d	e=(a2/b2)x(c-d)	E	F
	<u>Bay Penghantar Cikarang 1</u>							
1	- Terminal LA Phasa R	281	251	23,7	22,8	1	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
2	- Terminal LA Phasa S	281	251	23,7	22,8	1	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
3	- Terminal LA Phasa T	281	251	23,7	22,7	1	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
4	- Terminal PT/CVT Phasa R	281	251	24,6	23,8	1	UKUR 1 BULAN LAGI	KONDISI BAIK
5	- Terminal PT/CVT Phasa S	281	251	25,1	22,6	3	UKUR 1 BULAN LAGI	KONDISI BAIK
6	- Terminal PT/CVT Phasa T	281	251	25	23,6	2	UKUR 1 BULAN LAGI	KONDISI BAIK
7	- Terminal CT arah PMS Line Phasa R	281	251	25	23,7	2	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
8	- Terminal CT arah PMS Line Phasa S	281	251	25,6	23,8	2	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
9	- Terminal CT arah PMS Line Phasa T	281	251	25,9	24,5	2	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
10	- Terminal CT arah PMT Phasa R	281	251	26	24,7	2	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
11	- Terminal CT arah PMT Phasa S	281	251	25,7	24,2	2	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
12	- Terminal CT arah PMT Phasa T	281	251	26,4	24,7	2	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
13	- Terminal PMT arah CT Phasa R	281	251	26,1	24,6	2	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
14	- Terminal PMT arah CT Phasa S	281	251	26,7	25,1	2	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
15	- Terminal PMT arah CT Phasa T	281	251	24,6	24,5	0	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
16	- Terminal PMT arah PMS Phasa R	281	251	24,5	23,1	2	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
17	- Terminal PMT arah PMS Phasa S	281	251	24,7	23,3	2	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
18	- Terminal PMT arah PMS Phasa T	281	251	25,5	22,2	4	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
19	- Terminal PMS Bus I arah PMT Phasa R	281	251	25	24,6	1	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
20	- Terminal PMS Bus I arah PMT Phasa S	281	251	24,9	24,6	0	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
21	- Terminal PMS Bus I arah PMT Phasa T	281	251	25,7	25,1	1	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
22	- Terminal PMS Bus I arah Busbar Phasa R	281	251	25,1	23,4	2	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
23	- Terminal PMS Bus I arah Busbar Phasa S	281	251	25,9	25,3	1	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
24	- Terminal PMS Bus I arah Busbar Phasa T	281	251	25,1	24,6	1	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
25	- Kontak PMS Bus I Phasa R	281	251	30,5	25	7	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
26	- Kontak PMS Bus I Phasa S	281	251	38,9	24,9	18	RENCANAKAN PERBAIKAN	KONDISI BAIK
27	- Kontak PMS Bus I Phasa T	281	251	45,2	25,7	24	RENCANAKAN PERBAIKAN	PERBAIKAN SEGERA
28	- Terminal PMS Line arah CT Phasa R	281	251	24,8	24,2	1	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
29	- Terminal PMS Line arah CT Phasa S	281	251	24,6	23,9	1	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
30	- Terminal PMS Line arah CT Phasa T	281	251	25,1	24	1	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
31	- Terminal PMS Line arah PT/CVT Phasa R	281	251	24,2	24,2	0	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
32	- Terminal PMS Line arah PT/CVT Phasa S	281	251	24,1	22,9	2	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
33	- Terminal PMS Line arah PT/CVT Phasa T	281	251	24,9	24	1	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
34	- Kontak PMS Line Phasa R	281	251	24,3	24,8	-1	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
35	- Kontak PMS Line Phasa S	281	251	23,9	24,6	-1	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
36	- Kontak PMS Line Phasa T	281	251	24,3	25,1	-1	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK

Tabel 3. merupakan tabel perhitungan thermovisi malam untuk menentukan kondisi peralatan dengan merujuk kepada standar PLN no. 0520-2.K/DIR/2014.

Tabel 4. Data dan Hasil Perhitungan Suhu dan Klem Thermovisi Siang

No.	Obyek / instalasi	Arus Tertinggi		Suhu	Suhu	Selisih Suhu			
		yang pernah dicapai	Arus Saat Shooting	Klem Saat Shooting	Konduktor Saat Shooting	Klem Terhadap Konduktor Delta Tm.	Tindak Lanjut selisih klem terhadap Konduktor	Tindak Lanjut Selisih antar fasa	Tindak Lanjut suhu klem saat shooting
		Im2 (A)	Is2 (A)	Tkls (CO)	Tkds (CO)	(CO)	(CO)	<15C	>40
		a	b	c	d	e=(a/2/b/2)x(c-d)	E	F	C
Bay Penghantar Cikarangka 1									
1	- Terminal LA Fasa R	281	251	35,5	32,2	4	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
2	- Terminal LA Fasa S	281	251	35,8	32,4	4	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
3	- Terminal LA Fasa T	281	251	35,5	32,5	4	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
4	- Terminal PT/CVT Fasa R	281	251	36	36,9	-1	RENCANAKAN PERBAIKAN	RENCANAKAN PERBAIKAN	KONDISI BAIK
5	- Terminal PT/CVT Fasa S	281	251	36,7	38,8	-3	RENCANAKAN PERBAIKAN	RENCANAKAN PERBAIKAN	KONDISI BAIK
6	- Terminal PT/CVT Fasa T	281	251	36,8	38,8	-3	RENCANAKAN PERBAIKAN	RENCANAKAN PERBAIKAN	KONDISI BAIK
7	- Terminal CT arah PMS Line Fasa R	281	251	36,3	38,3	-3	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
8	- Terminal CT arah PMS Line Fasa S	281	251	35,2	38,7	-4	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
9	- Terminal CT arah PMS Line Fasa T	281	251	37,2	38,8	-2	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
10	- Terminal CT arah PMT Fasa R	281	251	39,5	37,2	3	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
11	- Terminal CT arah PMT Fasa S	281	251	36,2	38,2	-3	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
12	- Terminal CT arah PMT Fasa T	281	251	37,8	36,6	2	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
13	- Terminal PMT arah CT Fasa R	281	251	37,5	35,8	2	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
14	- Terminal PMT arah CT Fasa S	281	251	37	36,2	1	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
15	- Terminal PMT arah CT Fasa T	281	251	36,9	33,7	4	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
16	- Terminal PMT arah PMS Fasa R	281	251	36,2	38,1	-2	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
17	- Terminal PMT arah PMS Fasa S	281	251	38,6	38	1	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
18	- Terminal PMT arah PMS Fasa T	281	251	37	38,4	-2	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
19	- Terminal PMS Bus I arah PMT Fasa R	281	251	37	38,2	-2	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
20	- Terminal PMS Bus I arah PMT Fasa S	281	251	37,3	38,7	-2	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
21	- Terminal PMS Bus I arah PMT Fasa T	281	251	37,3	39,5	-3	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
22	- Terminal PMS Bus I arah Busbar Fasa R	281	251	36,7	32,4		KONDISI BAIK	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
23	- Terminal PMS Bus I arah Busbar Fasa S	281	251	35,9	32	5	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
24	- Terminal PMS Bus I arah Busbar Fasa T	281	251	35,4	32,8	3	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
25	- Kontak PMS Bus I Fasa R	281	251	42,7	32	13	RENCANAKAN PERBAIKAN	KONDISI BAIK	PERBAIKAN SEGERA
26	- Kontak PMS Bus I Fasa S	281	251	37,3	32,4	6	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
27	- Kontak PMS Bus I Fasa T	281	251	52,1	32,8	24	RENCANAKAN PERBAIKAN	KONDISI BAIK	PERBAIKAN SEGERA
28	- Terminal PMS Line arah CT Fasa R	281	251	36,5	38,8	-3	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
29	- Terminal PMS Line arah CT Fasa S	281	251	36,2	39,2	-4	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
30	- Terminal PMS Line arah CT Fasa T	281	251	37,2	38,6	-2	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
31	- Terminal PMS Line arah PT/CVT Fasa R	281	251	36,9	37,8	-1	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
32	- Terminal PMS Line arah PT/CVT Fasa S	281	251	36,7	39,1	-3	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
33	- Terminal PMS Line arah PT/CVT Fasa T	281	251	37,1	40,1	-4	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
34	- Kontak PMS Line Fasa R	281	251	37,1	38,8	-2	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
35	- Kontak PMS Line Fasa S	281	251	37,1	39,5	-3	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK
36	- Kontak PMS Line Fasa T	281	251	37,4	38,6	-2	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK	KONDISI BAIK

Tabel 4. merupakan tabel perhitungan thermovisi siang untuk menentukan kondisi peralatan dengan merujuk kepada standar PLN no. 0520-2.K/DIR/2014.

3.Perhitungan Emisivitas

Berikut ini contoh perhitungan emisivitas :

$$e = \frac{237 \text{ W/m.k}}{5,672 \times 10^{-8} \text{ W/m}^{-2} \cdot \text{k}^{-4} \cdot (296,85)^4 \text{ k}} = 0,5381$$

$$T = 23,7 + 273,15 = 296,85 \text{ K}$$

Perhitungan dilakukan terhadap 36 sampel data thermovisi siang dan malam, Hasil perhitungan emisivitas pada kondisi siang hari 0,449 sedangkan untuk perhitungan emisivitas malam 0,521. hasil perhitungan emisivitas kedua kondisi tersebut sesuai dengan standar *flir corporation inc* yaitu 0,5.

4.Analisis Validasi

CV dan SD akan diperoleh melalui persamaan yang akan dijelaskan dalam tabel berikut:

Tabel 5.Data Perhitungan Uji presisi Thermovisi malam

No.	Obyek / instalasi	Nilai emisivitas	Rata-rata emisivitas		
		X	A	X- A	(X - A) ²
Bay Penghantar Cikasungka 1					
1	- Terminal LA Fasa R	0.5381	0.521961111	0.016138889	0.000260464
2	- Terminal LA Fasa S	0.5381	0.521961111	0.016138889	0.000260464
3	- Terminal LA Fasa T	0.5381	0.521961111	0.016138889	0.000260464
4	- Terminal PT/CVT Fasa R	0.5316	0.521961111	0.009638889	0.000092908
5	- Terminal PT/CVT Fasa S	0.528	0.521961111	0.006038889	0.000036468
6	- Terminal PT/CVT Fasa T	0.5287	0.521961111	0.006738889	0.000045413
7	- Terminal CT arah PMS Line Fasa R	0.5287	0.521961111	0.006738889	0.000045413
8	- Terminal CT arah PMS Line Fasa S	0.5245	0.521961111	0.002538889	0.000006446
9	- Terminal CT arah PMS Line Fasa T	0.5224	0.521961111	0.000438889	0.00000193
10	- Terminal CT arah PMT Fasa R	0.5217	0.521961111	-0.000261111	0.000000068
11	- Terminal CT arah PMT Fasa S	0.5238	0.521961111	0.001838889	0.000003382
12	- Terminal CT arah PMT Fasa T	0.5189	0.521961111	-0.003061111	0.000009370
13	- Terminal PMT arah CT Fasa R	0.521	0.521961111	-0.000961111	0.000000924
14	- Terminal PMT arah CT Fasa S	0.5168	0.521961111	-0.005161111	0.000026637
15	- Terminal PMT arah CT Fasa T	0.5316	0.521961111	0.009638889	0.000092908
16	- Terminal PMT arah PMS Fasa R	0.5323	0.521961111	0.010338889	0.000106893
17	- Terminal PMT arah PMS Fasa S	0.5309	0.521961111	0.008938889	0.000079904
18	- Terminal PMT arah PMS Fasa T	0.5252	0.521961111	0.003238889	0.000010490
19	- Terminal PMS Bus I arah PMT Fasa R	0.5287	0.521961111	0.006738889	0.000045413
20	- Terminal PMS Bus I arah PMT Fasa S	0.5294	0.521961111	0.007438889	0.000055337
21	- Terminal PMS Bus I arah PMT Fasa T	0.5238	0.521961111	0.001838889	0.000003382
22	- Terminal PMS Bus I arah Busbar Fasa R	0.528	0.521961111	0.006038889	0.000036468
23	- Terminal PMS Bus I arah Busbar Fasa S	0.5224	0.521961111	0.000438889	0.00000193
24	- Terminal PMS Bus I arah Busbar Fasa T	0.528	0.521961111	0.006038889	0.000036468
25	- Kontak PMS Bus I Fasa R	0.4914	0.521961111	-0.030561111	0.000933982
26	- Kontak PMS Bus I Fasa S	0.4406	0.521961111	-0.081361111	0.006619630
27	- Kontak PMS Bus I Fasa T	0.4052	0.521961111	-0.116761111	0.013633157
28	- Terminal PMS Line arah CT Fasa R	0.5301	0.521961111	0.008138889	0.000066242
29	- Terminal PMS Line arah CT Fasa S	0.5316	0.521961111	0.009638889	0.000092908
30	- Terminal PMS Line arah CT Fasa T	0.528	0.521961111	0.006038889	0.000036468
31	- Terminal PMS Line arah PT/CVT Fasa R	0.5344	0.521961111	0.012438889	0.000154726
32	- Terminal PMS Line arah PT/CVT Fasa S	0.5352	0.521961111	0.013238889	0.000175268
33	- Terminal PMS Line arah PT/CVT Fasa T	0.5294	0.521961111	0.007438889	0.000055337
34	- Kontak PMS Line Fasa R	0.5337	0.521961111	0.011738889	0.000137802
35	- Kontak PMS Line Fasa S	0.5366	0.521961111	0.014638889	0.000214297
36	- Kontak PMS Line Fasa T	0.5337	0.521961111	0.011738889	0.000137802
Total =					0.023773686

Tabel 5. Merupakan tabel perhitungan uji presisi malam yang nanti digunakan untuk menghitung simpangan baku (SD) thermovisi malam.

Tabel 6. Data Perhitungan Uji Presisi Thermovisi Siang

No.	Obyek / instalasi	Nilai emisivitas	Rata-rata emisivitas		
		X	A	X- A	$(X - A)^2$
	Bay Penghantar Cikasungka I				
1	- Terminal LA Phasa R	0.4604	0.44969	0.01071	0.000114704
2	- Terminal LA Phasa S	0.4586	0.44969	0.00891	0.000079388
3	- Terminal LA Phasa T	0.4604	0.44969	0.01071	0.000114704
4	- Terminal PT/CVT Phasa R	0.4574	0.44969	0.00771	0.000059444
5	- Terminal PT/CVT Phasa S	0.4533	0.44969	0.00361	0.000013032
6	- Terminal PT/CVT Phasa T	0.4527	0.44969	0.00301	0.000009060
7	- Terminal CT arah PMS Line Phasa R	0.4557	0.44969	0.00601	0.000036120
8	- Terminal CT arah PMS Line Phasa S	0.4622	0.44969	0.01251	0.000156500
9	- Terminal CT arah PMS Line Phasa T	0.4504	0.44969	0.00071	0.000000504
10	- Terminal CT arah PMT Phasa R	0.4372	0.44969	-0.01249	0.000156000
11	- Terminal CT arah PMT Phasa S	0.4562	0.44969	0.00651	0.000042380
12	- Terminal CT arah PMT Phasa T	0.4469	0.44969	-0.00279	0.000007784
13	- Terminal PMT arah CT Phasa R	0.4486	0.44969	-0.00109	0.000001188
14	- Terminal PMT arah CT Phasa S	0.4516	0.44969	0.00191	0.000003648
15	- Terminal PMT arah CT Phasa T	0.4521	0.44969	0.00241	0.000005808
16	- Terminal PMT arah PMS Phasa R	0.4562	0.44969	0.00651	0.000042380
17	- Terminal PMT arah PMS Phasa S	0.4423	0.44969	-0.00739	0.000054612
18	- Terminal PMT arah PMS Phasa T	0.4516	0.44969	0.00191	0.000003648
19	- Terminal PMS Bus I arah PMT Phasa R	0.4516	0.44969	0.00191	0.000003648
20	- Terminal PMS Bus I arah PMT Phasa S	0.4498	0.44969	0.00011	0.000000012
21	- Terminal PMS Bus I arah PMT Phasa T	0.4498	0.44969	0.00011	0.000000012
22	- Terminal PMS Bus I arah Busbar Phasa R	0.4533	0.44969	0.00361	0.000013032
23	- Terminal PMS Bus I arah Busbar Phasa S	0.458	0.44969	0.00831	0.000069056
24	- Terminal PMS Bus I arah Busbar Phasa T	0.461	0.44969	0.01131	0.000127916
25	- Kontak PMS Bus I Phasa R	0.4198	0.44969	-0.02989	0.000893412
26	- Kontak PMS Bus I Phasa S	0.4498	0.44969	0.00011	0.000000012
27	- Kontak PMS Bus I Phasa T	0.3733	0.44969	-0.07639	0.005835432
28	- Terminal PMS Line arah CT Phasa R	0.4545	0.44969	0.00481	0.000023136
29	- Terminal PMS Line arah CT Phasa S	0.4562	0.44969	0.00651	0.000042380
30	- Terminal PMS Line arah CT Phasa T	0.4504	0.44969	0.00071	0.000000504
31	- Terminal PMS Line arah PT/CVT Phasa R	0.4521	0.44969	0.00241	0.000005808
32	- Terminal PMS Line arah PT/CVT Phasa S	0.4533	0.44969	0.00361	0.000013032
33	- Terminal PMS Line arah PT/CVT Phasa T	0.45098	0.44969	0.00129	0.000001664
34	- Kontak PMS Line Phasa R	0.45098	0.44969	0.00129	0.000001664
35	- Kontak PMS Line Phasa S	0.45098	0.44969	0.00129	0.000001664
36	- Kontak PMS Line Phasa T	0.4492	0.44969	-0.00049	0.000000240
				Total =	0.007933532

Tabel 6. merupakan tabel perhitungan uji presisi malam yang nanti digunakan untuk menghitung simpangan baku (SD) thermovisi siang.

A. Uji Presisi

Uji presisi ini dilakukan untuk memvalidasi ketepatan hasil pengukuran dengan hasil sesungguhnya.

Perhitungan Presisi Thermovisi malam

$$SD = \sqrt{\frac{0,023773686}{36 - 1}} = 0,026062389$$

Nilai SD yaitu 0,026062389

$$CV = \left(\frac{0,026062389}{0,5} \right) \times 100\% = 5,21\%$$

Perhitungan presisi thermovisi siang

$$SD = \sqrt{\frac{0,007933532}{36 - 1}} = 0,01505564156$$

Nilai SD yaitu 0,01505564156

$$CV = \left(\frac{0,01505564156}{0,5} \right) \times 100\% = 3,01\%$$

Nilai variasi koefisien (CV) pada saat thermovisi malam diperoleh nilai 5,21% sedangkan untuk thermovisi siang diperoleh nilai 3,01% dan dapat dikategorikan baik sesuai dengan standar klasifikasi CV dari statistik eksperimental yaitu <2% dapat dikategorikan sangat baik, 2%<CV<10% dikategorikan baik, 10%<CV<13% dikategorikan kurang baik, dan >13% dikategorikan kurang baik. Sehingga perhitungan uji presisi ini dapat dijadikan sebagai tindak lanjut mengenai analisis uji presisi pada peralatan gardu induk 150 kV Rancaekek.

B. Uji Akurasi

a) Thermovisi Malam

$$\% \text{recovery} = \left(\frac{0,521961111 - 0,5}{0,5} \right) \times 100\% \\ = 4,392222 \%$$

$$\text{Ditemukan Akurasinya} = 100\% - 4,392222\% = 95,607\%$$

b) Thermovisi Siang

$$\% \text{recovery} = \left(\frac{0,44969 - 0,5}{0,5} \right) \times 100\% \\ = 10,062\%$$

$$\text{Ditemukan Akurasinya} = 100\% - 10,062\% = 89,938\%$$

Nilai perhitungan akurasi thermovisi malam memiliki nilai 95,60% sedangkan untuk thermovisi siang memiliki nilai 89,93%. dari hasil tersebut perbedaan akurasinya jauh karena pada peralatan gardu induk thermovisi siang suhunya di pengaruhi oleh suhu lingkungan / suhu matahari, sedangkan termovisi malam suhu yang di dikeluarkan oleh peralatan gardu induk adalah suhu murni . Jadi thermovisi malam memiliki nilai yang baik 95,60% yang artinya mendekati akurasi dari 100%.

4. KESIMPULAN

Setelah melaksanakan pengukuran dan pengambilan data Thermovisi Pada Bay Penghantar Cikasungka unit 1 Di Gardu Induk 150kV Rancaekek, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Hasil perhitungan dan pengukuran suhu PMS Line Fasa R memiliki nilai selisih suhu yang sangat kecil yaitu 0,65°C, pada PMT arah PMS Fasa R selisih suhunya 2,09°C, pada PMT arah CT Fasa R selisih suhunya 3,59°C, pada PMS arah Busbar 1 Fasa R selisih suhunya 2,89°C, pada Kontak PMS Fasa R selisih suhunya 3,9°C Selisih suhu antara perhitungan dan pengukuran ke lima data tersebut masih berada dalam kondisi normal yakni dibawah 10°C menurut peraturan PLN No. 0520-2.K/DIR/2014 Sehingga masih dapat digunakan sebagai indikasi pemeliharaan.
2. Tingkat akurasi thermovisi malam memiliki nilai akurasi yang lebih besar jika dibandingkan dengan thermovisi siang, karena pada saat thermovisi malam memiliki kenaikan akurasi sebesar 5,67% dari hasil akurasi thermovisi siang.

3. Perhitungan selisih suhu klem terhadap konduktor dapat menunjukkan beberapa kondisi tindakan dalam menentukan hot point apakah temperatur titik sambungan tersebut masih berada dalam kondisi aman atau berbahaya yaitu, pada thermovisi malam 31 sambungan dalam kondisi baik, 3 sambungan dalam kondisi ukur satu bulan lagi dan 2 sambungan kondisi rencanakan perbaikan sedangkan untuk thermovisi siang 31 sambungan dalam kondisi baik, 5 sambungan dalam kondisi rencanakan perbaikan, kondisi-kondisi tersebut sesuai dengan peraturan PLN No. 0520-2.K/DIR/2014 sehingga dapat digunakan untuk menindak lanjuti keadaan pada sambungan peralatan yang ada di gardu induk 150 kV Rancaekek.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terimakasih kepada PT.PLN (Persero) ULTG Bandung Timur Gardu Induk 150 kV Rancaekek yang telah mengizinkan untuk melakukan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Anwar, B. (2019). *Penentuan Hot Point Dengan Menggunakan Metode Thermovisi Pada Gardu Induk 150 kV Purwodadi*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah.

Flir. (n.d.). *FLIR Systems FLIR E50 Infrared Camera Datasheet*.

Harishkumar, S., Mohammed, V. R., & Mujtaba, B. M. (2014). *Detection Of Hot Spots By Thermal Imaging To Protect Power Equipments* (Vol. 2). India: International Journal of Students Research in Technology & Management .

M-TEC. (n.d.). *Aluminium Conductor Steel Reinforced*. Retrieved from www.m-tec.co.ca

PLN. (2014). *Buku Pedoman Pemeliharaan Serandang dan Pentanahan GI* (PDM/PGI/13:2014 ed.). Jakarta: PT PLN (PERSERO).

Putra, R. R. (2018). *Thermovisi Dalam Melihat Hot Point Pada Gardu Induk 150 kV Palur*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Ullah, I., Yang, F., Khan, R., Liu, L., Yang , H., Gao, B., & Sun, K. (2017). *Predictive Maintenance of Power Substation Equipment by Infrared Thermography Using a Machine-Learning Approach*. China: MDPI.