

Analisis Penentuan Titik Hotspot Dengan Metode Thermovisi Pada Gardu Induk 150 kV Ulee Kareng

Ramadhan Halid Siregar¹, Muhammad Riefqi Al-Faizi², Mahdi Syukri³, Rakhmad Syafutra Lubis⁴, Fathurrahman⁵

Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No.7, Darussalam, Banda Aceh, 23111, Aceh, Indonesia

¹ramdhan@usk.ac.id

²m.reifqi@mhs.usk.ac.id

³mahdisyukri@usk.ac.id

⁴rakhmadslubis@usk.ac.id

⁵fathurrahman@usk.ac.id

Abstrak— *Hotspot* pada *switchyard* sering terjadi karena penggunaan terus menerus, sehingga diperlukan pengecekan setiap saat untuk mengetahui batasan usia serta batasan kelebihan suhu yang terjadi pada peralatan gardu induk. Dengan penggunaan *Thermal Imagers* dilakukan evaluasi dengan metode *Thermovisi* sebagai pengukuran untuk mengetahui nilai *Hotspot* pada peralatan gardu induk agar sistem transmisi gardu induk dapat terjaga. Hal ini sangat penting bagi peralatan pada *switchyard* agar tidak ada gangguan dan selalu dalam keadaan baik. Salah satu tindakan pemeliharaan yang penting pada gardu induk adalah keadaan suhu pada peralatan, hal ini sangat mempengaruhi kestabilan dan kontinuitas pada sistem kelistrikan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis nilai emisivitas dan selisih suhu antar klem pada phasa R, S, dan T di salah satu gardu induk 150 kV menggunakan metode *thermovisi*. Emisivitas merupakan kemampuan suatu benda dalam memancarkan panas dibandingkan benda hitam sempurna, dihitung melalui rumus $e = P / (\sigma T^4)$, di mana P adalah daya pancar panas, σ adalah konstanta Stefan-Boltzmann, dan T adalah suhu absolut. Nilai daya pancar panas yang digunakan adalah 273 W/m^2 . Rata-rata nilai emisivitas yang diperoleh sebesar 0,5957. Nilai ini kemudian dibandingkan dengan Standard Reference Material (SRM) aluminium yaitu 0,5. Koefisien variasi (CV) dari data emisivitas sebesar 2,60%, menunjukkan hasil yang presisi. Hasil uji akurasi menunjukkan bahwa nilai emisivitas mendekati standar sebesar 80,86%. Selisih suhu antar klem dihitung dengan rumus $\Delta T = (I_m/I_t)^2 \times (T_{\text{klem}} - T_{\text{konduktor}})$, dan hasilnya digunakan untuk mengevaluasi kondisi operasional pada gardu induk. Ditemukan beberapa titik dengan nilai ΔT yang tinggi, menunjukkan potensi *hotspot* yang harus segera ditindaklanjuti. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan pentingnya *thermovisi* dan perhitungan emisivitas dalam mendeteksi dini kerusakan atau anomali pada sistem kelistrikan gardu induk.

Kata Kunci— *Hotspot, Switchyard, Thermal Imagers, Emisivitas, Koefisien Variasi (CV)*.

I. PENDAHULUAN

Sistem Pembangkit, transmisi tegangan tinggi, distribusi, dan sistem transmisi tenaga listrik adalah bagian dari instalasi tenaga listrik. Gardu Induk (GI) adalah salah satu sistem transmisi tenaga listrik yang sangat penting karena mereka

menghubungkan pembangkit tenaga listrik ke konsumen akhir melalui proses distribusi [1]. Gardu induk adalah bagian yang menjalankan peralatan tegangan tinggi. Gardu induk juga memiliki sambungan yang dapat menghantarkan arus listrik dari satu peralatan ke peralatan lainnya dengan tegangan tinggi, yang menyebabkan konduktor menjadi suhu panas (*hotpoint*). Klem dan konduktor gardu induk memainkan peran penting dalam menghantarkan arus listrik. Untuk mencegah hubung singkat dan masalah lainnya, pengecekan rutin diperlukan [2]. Sistem transmisi terbuka terhadap gangguan dan anomali yang dapat mengganggu keandalan sistem dari penyaluran listrik. Anomali *hotspot* adalah perubahan suhu yang terjadi pada setiap peralatan listrik dengan arus listrik, yang biasanya terjadi di setiap titik sambungan [3]. Suhu yang melebihi panas yang ada pada klem dengan konduktor lainnya akan mempengaruhi kualitas dan kontinuitas listrik. Oleh karena itu, jika peralatan listrik akan menyebabkan kerugian dan kematian peralatan. Peralatan *thermovisi* memudahkan petugas operasional pemeliharaan untuk melakukan observasi lapangan tentang peralatan listrik yang memiliki suhu panas berlebihan [4].

II. DASAR TEORI

A. Gardu Induk

Gardu induk berfungsi sebagai bagian penting dari sistem distribusi tenaga listrik, berfungsi sebagai jembatan yang menghubungkan penyedia tenaga listrik dengan pengguna. Tugas gardu induk adalah untuk menerima dan menyalurkan tegangan pada tegangan tertentu dengan aman dan dapat diandalkan, serta menyalurkan daya ke gardu induk lainnya dan gardu distribusi melalui penyulang tegangan [5]

1) *Komponen Gardu Induk (GI)*: Gardu induk terdiri dari banyak komponen yang bekerja sama untuk berfungsi dengan baik. Komponen-komponen berikut digunakan pada gardu induk [6]:

- Peralatan gardu induk
- Transformator Daya
- NGR (*Neutral Grounding Resistance*)
- Pemutusan Tenaga (PMT) atau *Circuit Breaker* (CB)

- Sakelar Pemisah (PMS) atau *Disconnecting Switch* (DS)
- Transformator Arus atau *Current Transformator* (CT)
- Transformator tegangan atau *Potential Transformator* (PT)
- Rel Busbar
- Panel Hubung

2) *Bay Penghantar*: *Bay penghantar* pada gardu induk 150 kV berfungsi menghubungkan gardu dengan saluran transmisi atau gardu lain dalam jaringan. Setiap bay dilengkapi peralatan penting seperti pemutus tenaga (PMT), pemisah, CT, PT, dan arrester untuk mengontrol, melindungi, dan memantau aliran listrik [6]. PMT terbagi menjadi dua jenis berdasarkan mekanisme penggerakannya:

- PMT Satu Pole – menggerakkan setiap fasa secara terpisah.
- PMT Three Pole – menggerakkan tiga fasa secara bersamaan.

Sistem proteksi pada bay penghantar, seperti relay jarak dan relay arus lebih, digunakan untuk mendeteksi dan mengisolasi gangguan, menjaga keandalan dan kontinuitas pelayanan listrik. Secara keseluruhan, bay penghantar berperan penting dalam menjamin efisiensi dan keandalan distribusi serta transmisi daya listrik [7].

B. Titik Panas (Hotspot)

Hotspot adalah panas terpusat pada peralatan listrik yang dialiri arus, yang dapat dideteksi dengan alat Thermovisi [9]. Ini adalah anomali yang dapat mengganggu sistem penyaluran listrik, terutama pada jaringan transmisi seperti SUTT dan SUTET. Ini terjadi pada sambungan konduktor atau klem karena polusi dapat mempengaruhi tahanan isolasi pada sambungan, dan dapat menjadi panas secara berlebihan ketika arus listrik melewati sambungannya. Penyebab Hotspot [14]:

- Adanya cat pada material: Menghambat aliran listrik, menyebabkan panas berlebih.
- Getaran terus menerus secara periodik : Sambungan longgar menimbulkan loncatan busur api.
- Kotoran beserta zat kimia: Menyebabkan korosi, terutama di area lembab atau dekat pabrik.
- Permukaan pada klem dan konduktor: Celah pada sambungan menyebabkan panas.
- Degradasi material: Usia material dan korosi menurunkan kualitas hantaran.
- Beban tinggi tanpa jeda: Membebani konduktor, berisiko putus jika kondisi material buruk.

C. Thermovisi

Pada saat ini, peralatan digital telah masuk ke berbagai bidang, termasuk peralatan listrik. Peralatan digital ini dapat digunakan untuk memantau dan mendeteksi berbagai keadaan yang terjadi di peralatan listrik, sehingga membantu proses pemeliharaan keadaan sistem. Salah satu contohnya adalah thermovisi, alat yang digunakan sebagai pendeteksi dan memvisualisasikan gambar dalam alat [10].

Thermovisi atau thermal camera digunakan untuk mendeteksi hotspot pada Gardu Induk dalam kegiatan predictive maintenance. Teknologi ini bekerja dengan prinsip thermography, yaitu metode Non-Destructive Testing (NDT) yang mendeteksi panas tanpa kontak langsung. Hasil pencitraan menunjukkan perbedaan suhu melalui skala warna. Jenis-jenis Kamera Infrared [11]:

1. TiSeries (Fluke) – Berkualitas tinggi namun jarang digunakan karena harganya mahal [13].
2. D300 (SATIR) – Sering digunakan pada jaringan SUTT/SUTET [13].
3. Infrared Cameras Flir – Diproduksi oleh Flir Systems, efektif untuk meningkatkan efisiensi pengukuran suhu listrik [13].

Standar Parameter Thermovisi (PLN SK DIR 520 2014) adalah sebagai berikut:

1. 0°C – 10°C → Kondisi Baik
2. 10°C – 25°C → Ukur kembali dalam 1 bulan
3. 25°C – 40°C → Rencanakan perbaikan
4. 40°C – 70°C → Perbaikan segera
5. >70°C → Kondisi darurat

Setelah pengukuran suhu, tindakan pemeliharaan dilakukan sesuai kategori suhu untuk mencegah kerusakan lebih lanjut. Perhitungan hasil pengujian Thermovisi, Suhu konduktor (T1) dan suhu klem (T2) diukur dengan Thermovisi pada dua titik. Untuk mengetahui perbandingan suhu klem dan konduktor, gunakan rumus pendekatan kriteria ΔT (Delta -T) dengan persamaan (1) yaitu untuk kalkulasi suhu klem dan suhu konduktor [3]. I_{maks} adalah arus tertinggi yang pernah dicapai, T_{klem} merupakan nilai suhu pada klem, dan $T_{konduktor}$ merepresentasikan nilai suhu pada konduktor.

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

Untuk menghitung Emisivitas, maka dilakukan dengan menggunakan persamaan (2), dimana P adalah daya hantar panas, e untuk emisivitas, σ adalah nilai tetap Stefan Boltzman, dan T adalah panas tetap (K) [3].

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

Analisis validasi juga dilakukan, dimana dilakukan perhitungan uji presisi, dan perhitungan tes akurasi. Perhitungan uji presisi dilakukan dengan menggunakan persamaan (3), dimana SD merepresentasikan *standard deviation*, $\sum(x - a)^2$ adalah kumpulan dari nilai emisivitas dikurang dengan rata-rata emisivitas, dan n adalah jumlahnya [3]. Dari nilai simpang baku tersebut, maka dapat dihitung nilai koefisien variasi (CV) seperti pada persamaan (4) dimana α merepresentasikan nilai rata-rata dari emisivitas.

$$SD = \sqrt{\sum(x - a)^2 / (n - 1))} \quad (3)$$

$$CV = \left(\frac{SD}{\alpha} \right) \times 100\% \quad (4)$$

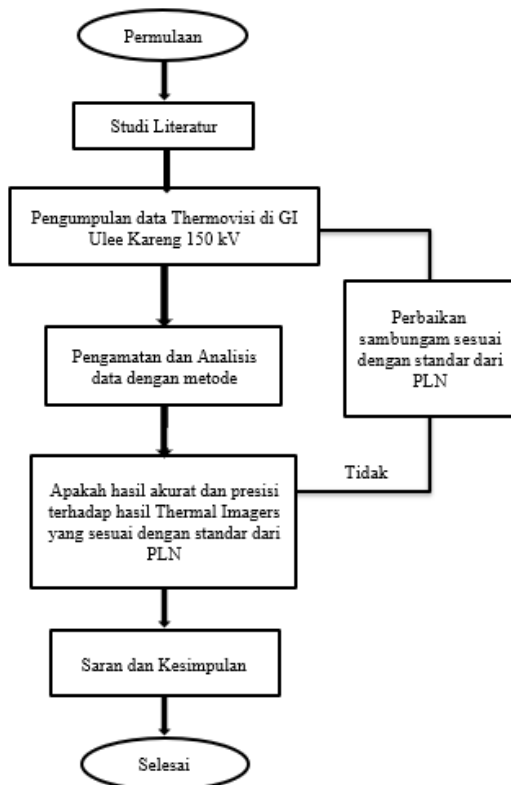
Perhitungan selanjutnya adalah tes akurasi yang dihitung dengan persamaan (5), dengan %recovery menunjukkan persentase nilai perolehan kembali dan x benar adalah nilai yang benar [3].

$$\%recovery = \left(\frac{(\alpha) - x \text{ benar}}{x \text{ benar}} \right) \times 100\% \quad (5)$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan ialah dengan menggunakan Teknik analisis deskriptif persentase. Peneliti mengumpulkan data melalui wawancara dengan karyawan Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk (ULTG) yang merupakan bagian dari Unit Pelaksana Transmisi (UPT) PLN Banda Aceh. Hal ini dilakukan untuk memperoleh data lengkap pengukuran suhu pada setiap klem dan konduktor pada Gardu Induk Ulee Kareng 150 kV Bay Penghantar Banda Aceh 1.

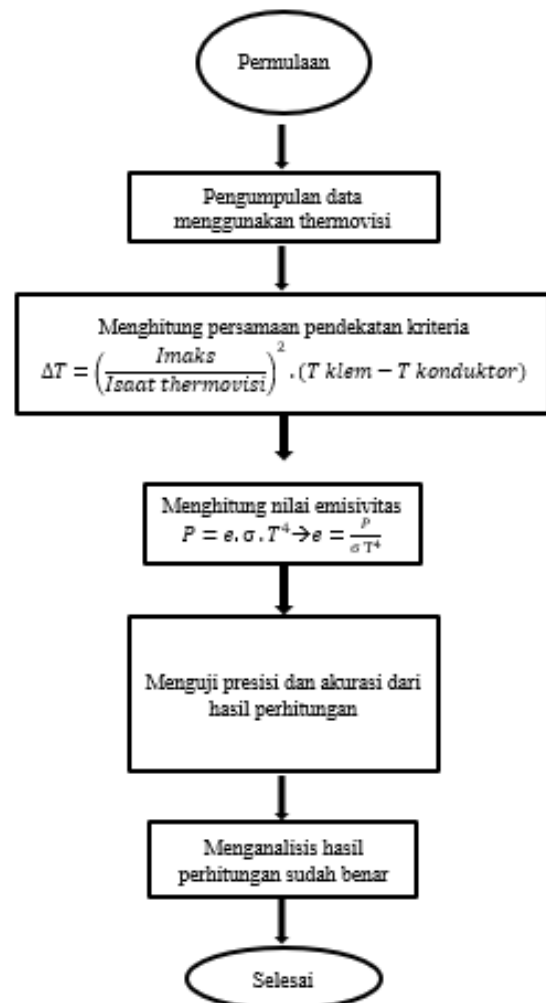
Pada tahapan ini akan dilakukan studi literatur semaksimal mungkin mengenai penelitian yang akan dikerjakan, yaitu terkait Sistem Transmisi Tenaga Listrik, khususnya terkait dengan titik hotspot pada gardu induk. Studi literatur yang dilakukan dapat melalui beberapa sumber seperti jurnal, karya tulis ilmiah, artikel, web, observasi, dan pertimbangan pemikiran mengenai urgensi untuk dilakukan penelitian.



Gambar 1. Flowchart Metodologi Penelitian

Gambar 2 menunjukkan tahapan perhitungan yang dilakukan pada penelitian ini. Tahapan diawali dengan pengumpulan data menggunakan thermovisi, dan dilanjutkan

dengan perhitungan persamaan pendekatan kriteria dengan menggunakan persamaan (1), dilanjutkan dengan perhitungan nilai emisivitas menggunakan persamaan (2). Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, selanjutnya dilakukan pengujian presisi dan akurasi, dan analisis.



Gambar 2 Flowchart Tahapan Perhitungan

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Selisih Suhu Sambungan Dengan Konduktor

Perhitungan dari suhu klem terhadap suhu konduktor menggunakan persamaan kriteria ΔT pada titik sambungan antara klem dan konduktor, serta titik antara fasa dengan fasa mencakup head equipment, intrrupture chamber, isolator, bushing dan body housing. Maka dari itu untuk menganalisis data thermovisi tersebut penulis menggunakan data suhu sambungan antara klem dan konduktor pada bay penghantar Banda Aceh 1.

Menurut rekomendasi buku PLN SK DIR 520 2014, Thermovisi memiliki parameter kondisi untuk mengukur suhunya sebagai berikut:

1. $0^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C}$ = Kondisi Baik
2. $10^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}$ = Ukur 1 bulan lagi
3. $25^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}$ = Rencanakan Perbaikan
4. $40^{\circ}\text{C} - 70^{\circ}\text{C}$ = Perbaikan Segera
5. 70°C = Kondisi Darurat

TABLE I
STANDAR SELISIH SUHU ANTAR KLEM DAN KONDUKTOR

Kondisi	Rekomendasi Tindakan	Suhu
Kondisi 1	Lanjutkan pengujian rutin sesuai jadwal	$\Delta T \leq 5^{\circ}\text{C}$ (9°F)
Kondisi II	Dijadwalkan perbaikan atau pergantian secepatnya	$5^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 30^{\circ}\text{C}$
Kondisi III	Perbaikan atau pergantian secepatnya	$\Delta T \geq 30^{\circ}\text{C}$ (45°F)

Perhitungan perbandingan dari suhu klem dan konduktor (ΔT), diambil sebanyak 36 titik. Berikut merupakan sampel dari perjabaran perhitungan perbandingan ΔT pada fasa R. Pada Bay Penghantar Banda Aceh 1 dilakukan beberapa perhitungan dengan menggunakan persamaan (1) di atas, dengan perhitungan seperti berikut:

- Suhu Klem Junction Konduktor Atas LA Fasa R:

$$\Delta T = \left(\frac{29,01 \text{ A}}{27,62 \text{ A}} \right)^2 \cdot (24,8^{\circ}\text{C} - 18,2^{\circ}\text{C}) = 7,28^{\circ}\text{C}$$

- Suhu Klem LA Fasa R:

$$\Delta T = \left(\frac{29,01 \text{ A}}{27,62 \text{ A}} \right)^2 \cdot (26,3^{\circ}\text{C} - 25,2^{\circ}\text{C}) = 1,21^{\circ}\text{C}$$

- Suhu Klem in CVT fasa R

$$\Delta T = \left(\frac{29,01 \text{ A}}{27,62 \text{ A}} \right)^2 \cdot (26,4^{\circ}\text{C} - 25,9^{\circ}\text{C}) = 0,55^{\circ}\text{C}$$

- Suhu Klem out CVT fasa R

$$\Delta T = \left(\frac{29,01 \text{ A}}{27,62 \text{ A}} \right)^2 \cdot (26,0^{\circ}\text{C} - 25,0^{\circ}\text{C}) = 1,10^{\circ}\text{C}$$

- Suhu Klem in PMS Line Fasa R

$$\Delta T = \left(\frac{29,01 \text{ A}}{27,62 \text{ A}} \right)^2 \cdot (26,4^{\circ}\text{C} - 27,0^{\circ}\text{C}) = -0,66^{\circ}\text{C}$$

- Suhu Klem Out PMS Line Fasa R

$$\Delta T = \left(\frac{29,01 \text{ A}}{27,62 \text{ A}} \right)^2 \cdot (26,4^{\circ}\text{C} - 25,4^{\circ}\text{C}) = 1,10^{\circ}\text{C}$$

- Suhu Klem in CT Fasa R

$$\Delta T = \left(\frac{29,01 \text{ A}}{27,62 \text{ A}} \right)^2 \cdot (27,5^{\circ}\text{C} - 27,0^{\circ}\text{C}) = 0,55^{\circ}\text{C}$$

- Suhu Klem out CT Fasa R

$$\Delta T = \left(\frac{29,01 \text{ A}}{27,62 \text{ A}} \right)^2 \cdot (27,2^{\circ}\text{C} - 26,2^{\circ}\text{C}) = 1,10^{\circ}\text{C}$$

- Suhu Klem in PMT Fasa R

$$\Delta T = \left(\frac{29,01 \text{ A}}{27,62 \text{ A}} \right)^2 \cdot (27,1^{\circ}\text{C} - 26,3^{\circ}\text{C}) = 0,88^{\circ}\text{C}$$

- Suhu Klem out PMT Fasa R

$$\Delta T = \left(\frac{29,01 \text{ A}}{27,62 \text{ A}} \right)^2 \cdot (26,4^{\circ}\text{C} - 26,5^{\circ}\text{C}) = -0,11^{\circ}\text{C}$$

- Suhu Klem in PMS Bus 1 Fasa R

$$\Delta T = \left(\frac{29,01 \text{ A}}{27,62 \text{ A}} \right)^2 \cdot (26,1^{\circ}\text{C} - 25,0^{\circ}\text{C}) = 1,21^{\circ}\text{C}$$

- Suhu Klem out PMS Bus 1 Fasa R

$$\Delta T = \left(\frac{29,01 \text{ A}}{27,62 \text{ A}} \right)^2 \cdot (26,4^{\circ}\text{C} - 25,5^{\circ}\text{C}) = 0,99^{\circ}\text{C}$$

Perhitungan diatas merupakan hasil perhitungan selisih antar suhu klem dan suhu konduktor. Untuk melihat hasil keseluruhan nilai selisih suhu.

TABLE II
PERHITUNGAN SELISIH SUHU KLEM TERHADAP SUHU KONDUKTOR

No	Objek	Fasa	Arus tertinggi yang pernah dicapai	Arus saat Thermovisi	Suhu Klem saat Thermovisi	Suhu Konduktor saat Thermovisi	Selisih suhu antara Klem dan Konduktor (ΔT)	Tindak Lanjut
			I_m (A)	I_s (A)	T_{klem} ($^{\circ}\text{C}$)	T_{kdr} ($^{\circ}\text{C}$)	$\Delta T = (I_m/I_s)^2 \times (T_{klem} - T_{kdr})$	
			A	B	C	D	E	
1	Klem Junction Konduktor Atas LA	R	29,01	27,62	24,8	18,2	7,28	Kondisi II
		S	29,85	29,57	25,1	18,4	6,83	Kondisi II
		T	32,91	32,08	25,4	17,2	8,63	Kondisi II
2	Klem LA	R	29,01	27,62	26,3	25,2	1,21	Normal
		S	29,85	29,57	26,3	25,6	0,71	Normal
		T	32,91	32,08	26,3	25,8	0,53	Normal
3	Klem in CVT	R	29,01	27,62	26,4	25,9	0,55	Normal
		S	29,85	29,57	26,5	24,2	2,34	Normal
		T	32,91	32,08	26,3	24,7	1,68	Normal
4	Klem out CVT	R	29,01	27,62	26,0	25,0	1,10	Normal
		S	29,85	29,57	26,2	25,0	1,22	Normal
		T	32,91	32,08	26,0	25,2	0,84	Normal

5	Klem in PMS Line	R	29,01	27,62	26,4	27,0	-0,66	Normal
		S	29,85	29,57	26,4	27,2	-0,82	Normal
		T	32,91	32,08	26,5	27,1	-0,63	Normal
6	Klem Out PMS Line	R	29,01	27,62	26,4	25,4	1,10	Normal
		S	29,85	29,57	26,5	26,6	-0,10	Normal
		T	32,91	32,08	26,4	26,3	0,11	Normal
7	Klem in CT	R	29,01	27,62	27,5	27,0	0,55	Normal
		S	29,85	29,57	27,6	27,6	0	Normal
		T	32,91	32,08	27,1	26,3	0,84	Normal
8	Klem out CT	R	29,01	27,62	27,2	26,2	1,10	Normal
		S	29,85	29,57	27,2	26,4	0,82	Normal
		T	32,91	32,08	27,2	26,4	0,84	Normal
9	Klem in PMT	R	29,01	27,62	27,1	26,3	0,88	Normal
		S	29,85	29,57	34,1	26,8	7,44	Kondisi II
		T	32,91	32,08	27,0	26,3	0,74	Normal
10	Klem out PMT	R	29,01	27,62	26,4	26,5	-0,11	Normal
		S	29,85	29,57	25,1	26,6	-1,53	Normal
		T	32,91	32,08	26,3	24,9	1,47	Normal
11	Klem in PMS Bus 1	R	29,01	27,62	26,1	25,0	1,21	Normal
		S	29,85	29,57	26,4	24,8	1,63	Normal
		T	32,91	32,08	26,5	26,6	-0,11	Normal
12	Klem out PMS Bus 1	R	29,01	27,62	26,4	25,5	0,99	Normal
		S	29,85	29,57	26,6	26,4	0,20	Normal
		T	32,91	32,08	26,4	26,0	0,42	Normal

B. Perhitungan Nilai Emisivitas

Emisivitas merupakan kemampuan memancarkan energi inframerah oleh *black body* pada kondisi suhu dan Panjang gelombang yang sama, nilai emisivitas dari suatu bahan pada dasarnya memiliki nilainya, akan tetapi nilai emisivitas dapat berubah sesuai dengan kondisi bahan dan kondisi lingkungan. Untuk mencari suhu yang akurat dari sebuah pengukuran perlu diketahui nilai emisivitasnya, nilai tersebut dapat dicari dengan menggunakan rumus perpindahan kalor radiasi. Perhitungan emisivitas pada Bay Penghantar Banda Aceh 1, diuraikan melalui perhitungan-perhitungan dibawah ini dengan menggunakan persamaan (6) yang diturunkan dari persamaan (2).

$$e = \frac{P}{\sigma T^4} \quad (6)$$

- Terminal Klem Junction Konduktor Atas LA Fasa R (24,8 °C)

$$e = \frac{273 \text{ W/m}^2}{(5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4) \times (24.8 + 273.15 \text{ K})^4} = 0,6134$$

- Terminal Klem LA Fasa R (26,3 °C)

$$e = \frac{273 \text{ W/m}^2}{(5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4) \times (26.3 + 273.15 \text{ K})^4} = 0,5988$$

- Terminal Klem in CVT Fasa R (26,4 °C)

$$e = \frac{273 \text{ W/m}^2}{(5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4) \times (26.4 + 273.15 \text{ K})^4} = 0,5980$$

- Terminal Klem out CVT Fasa R (26,0 °C)

$$e = \frac{273 \text{ W/m}^2}{(5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4) \times (26.0 + 273.15 \text{ K})^4} = 0,6012$$

- Terminal Klem in PMS Line Fasa R (26,4 °C)

$$e = \frac{273 \text{ W/m}^2}{(5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4) \times (26.4 + 273.15 \text{ K})^4} = 0,5980$$

- Terminal Klem out PMS Line Fasa R (26,4 °C)

$$e = \frac{273 \text{ W/m}^2}{(5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4) \times (26.4 + 273.15 \text{ K})^4} = 0,5980$$

- Terminal Klem in CT Fasa R (27,5 °C)

$$e = \frac{273 \text{ W/m}^2}{(5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4) \times (27.5 + 273.15 \text{ K})^4} = 0,5893$$

- Terminal Klem out CT Fasa R (27,2 °C)

$$e = \frac{273 \text{ W/m}^2}{(5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4) \times (27.2 + 273.15 \text{ K})^4} = 0,5917$$

- Terminal Klem in PMT Fasa R (27,1 °C)

$$e = \frac{273 \text{ W/m}^2}{(5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4) \times (27.1 + 273.15 \text{ K})^4} = 0,5924$$

- Terminal Klem out PMT Fasa R (27,1 °C)

$$e = \frac{273 \text{ W/m}^2}{(5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4) \times (27.1 + 273.15 \text{ K})^4} = 0,5924$$

- Terminal Klem in PMS Bus 1 Fasa R (26,1 °C)

$$e = \frac{273 \text{ W/m}^2}{(5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4) \times (26.1 + 273.15 \text{ K})^4} = 0,6004$$

- Terminal Klem out PMS Bus 1 Fasa R (26,4 °C)

$$e = \frac{273 \text{ W/m}^2}{(5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4) \times (26.4 + 273.15 \text{ K})^4} = 0,5980$$

C. Uji Presisi

Uji Presisi merupakan Analisa perhitungan yang hasilnya menunjukkan derajat keakuratan terhadap hasil pengukuran. Dihitung berdasarkan nilai *Standar Reference Material* (SRM). Pada Analisa ini, SRM yang digunakan adalah nilai emisivitas dari material Alumunium yang memiliki nilai emisivitas sebesar 0,5. Nilai ini merupakan nilai emisivitas standard yang dikeluarkan oleh *infrared Training Center of Flir System Inc.* Persentase presisi recovery dinyatakan oleh *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.

Pada Analisa perhitungan CV, nilai keseluruhan data dari bay Penghantar Banda Aceh 1 akan memperoleh nilai CV melalui persamaan pada tabel dibawah ini IV. Dapat dilihat bahwa nilai validasi Thermovisi untuk bay Penghantar Banda Aceh 1 dapat dilihat nilai rata-rata emisivitasnya sebesar 0,5957 dan nilai tersebut sudah mende kati SRM nilai emisivitas alumunium yaitu 0,5. Dari Hasil perhitungan nilai CV pada Analisa perhitungan bay Penghantar Banda Aceh 1, diperoleh nilai CV pada perhitungan kurang dari 5% yaitu sebesar 2,60%. Nilai CV yang diperoleh dapat dinyatakan baik dan menunjukkan pengukuran yang dilakukan pada bay

Penghantar Banda Aceh 1 memiliki tingkat presisi yang baik. Sehingga dapat dinyatakan bahwa kualitas dari peralatan yang diukur pada bay Penghantar Banda Aceh 1 juga masih dalam kondisi baik secara seluruh keseluruhan.

TABLE III
DATA NILAI EMISIVITAS BAY PENGHANTAR BANDA ACEH 1

No	Objek	Phasa	Suhu saat Thermovisi (°C)	Nilai Emisivitas
1	Terminal Klem Junction Konduktor Atas LA	R	24.8	0,6134
		S	25.1	0,6099
		T	25.4	0,6074
2	Terminal Klem LA	R	26.3	0,5988
		S	26.3	0,5988
		T	26.3	0,5988
3	Terminal Klem in CVT	R	26.4	0,5980
		S	26.5	0,5971
		T	26.3	0,5988
4	Terminal Klem out CVT	R	26.0	0,6012
		S	26.2	0,5997
		T	26.0	0,6012
5	Terminal Klem in PMS Line	R	26.4	0,5980
		S	26.5	0,5971
		T	26.5	0,5971
6	Terminal Klem out PMS Line	R	26.4	0,5980
		S	26.5	0,5971
		T	26.4	0,5980
7	Terminal Klem in CT	R	27.5	0,5893
		S	27.6	0,5885
		T	27.1	0,5924
8	Terminal Klem out CT	R	27.2	0,5917
		S	27.2	0,5917
		T	27.2	0,5917
9	Terminal Klem in PMT	R	27.1	0,5924
		S	34.1	0,5111
		T	27.0	0,5932
10	Terminal Klem out PMT	R	26.4	0,5980
		S	25.1	0,6099
		T	26.3	0,5988
11	Terminal Klem in PMS Bus 1	R	26.1	0,6004
		S	26.4	0,5980
		T	26.5	0,5971
12	Terminal Klem out PMS Bus 1	R	26.4	0,5980
		S	26.6	0,5963
		T	26.4	0,5980
RATA – RATA (a)				0,5957

D. Uji Akurasi

Uji akurasi adalah parameter yang menunjukkan derajat kedekatan antara hasil analisa perhitungan yang telah dilakukan perhitungannya dengan nilai *standard reference material (SRM)* material yang sesungguhnya. Nilai emisivitas aluminium yang sesuai SRM yaitu 0,5, sedangkan nilai rata-rata perhitungan emisivitas sebesar 0,5957. Akurasi dinyatakan dalam perolehan kembali (recovery) Analisa yang ditambahkan. Berikut perhitungan akurasi pada nilai Thermovisi bay Penghantar Banda Aceh 1 Gardu Induk 150 kV Ulee Kareng. Dengan perhitungan dibawah ini, maka didapatkan nilai akurasi sebesar $100\% - 19,14\% = 80,86\%$.

$$\begin{aligned}
 \%recovery &= \left(\frac{(\alpha) - x_{\text{benar}}}{x_{\text{benar}}} \right) \times 100\% \\
 &= \left(\frac{(0,5957) - 0,5}{0,5} \right) \times 100\% \\
 &= 19,14\%
 \end{aligned}$$

TABLE IV
DATA NILAI VALIDASI THERMOVISI BAY PENGHANTAR BANDA ACEH 1

No	Objek	Phasa	x	a	(x-a) ²
1	Terminal Klem Junction Konduktor Atas LA	R	0,6134	0,5957	0,00031
		S	0,6099	0,5957	0,00020
		T	0,6074	0,5957	0,00014
2	Terminal Klem LA	R	0,5988	0,5957	0,00001
		S	0,5988	0,5957	0,00001
		T	0,5988	0,5957	0,00001
3	Terminal Klem in CVT	R	0,5980	0,5957	0,00001
		S	0,5971	0,5957	0,00000
		T	0,5988	0,5957	0,00001
4	Terminal Klem out CVT	R	0,6012	0,5957	0,00003
		S	0,5997	0,5957	0,00002
		T	0,6012	0,5957	0,00003
5	Terminal Klem in PMS Line	R	0,5980	0,5957	0,00001
		S	0,5971	0,5957	0,00000
		T	0,5971	0,5957	0,00000
6	Terminal Klem out PMS Line	R	0,5980	0,5957	0,00001
		S	0,5971	0,5957	0,00000
		T	0,5980	0,5957	0,00001
7	Terminal Klem in CT	R	0,5893	0,5957	0,00004
		S	0,5885	0,5957	0,00005
		T	0,5924	0,5957	0,00001
8	Terminal Klem out CT	R	0,5917	0,5957	0,00002
		S	0,5917	0,5957	0,00002
		T	0,5917	0,5957	0,00002
9	Terminal Klem in PMT	R	0,5924	0,5957	0,00001
		S	0,5111	0,5957	0,00710
		T	0,5932	0,5957	0,00001
10	Terminal Klem out PMT	R	0,5980	0,5957	0,00001
		S	0,6099	0,5957	0,00020
		T	0,5988	0,5957	0,00001
11	Terminal Klem in PMS Bus 1	R	0,6004	0,5957	0,00002
		S	0,5980	0,5957	0,00001
		T	0,5971	0,5957	0,00000
12	Terminal Klem out PMS Bus 1	R	0,5980	0,5957	0,00001
		S	0,5963	0,5957	0,00000
		T	0,5980	0,5957	0,00001
$\sum (x-a)^2$					0,008379
$SD = \sqrt{\frac{\sum (x-a)^2}{(n-1)}}$					0,015473
$CV = \left(\frac{SD}{a}\right) \times 100\%$					2,60 %

Dari hasil perhitungan akurasi bay Penghantar Banda Aceh 1 150 kV Gardu Induk Ulee Kareng memiliki tingkat akurasi yang cukup baik sebesar 80,86%. Dari perhitungan pada tabel 4, dapat diketahui nilai emisivitas rata-rata bay Penghantar Banda Aceh 1 sebesar 0,5957. Maka telah didapatkan nilai dari uji presisi dan uji akurasi pada bay Penghantar Banda Aceh 1 dengan nilai uji presisi sebesar 2,60% dan uji akurasi sebesar 80,86% seperti diatas.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan suhu klem dan konduktor pada Gardu Induk 150 kV Ulee Kareng dapat diketahui hasil pengukuran *hotspot* pada bay Penghantar Banda Aceh 1 kondisi sambungan pada 32 titik berada pada kondisi baik, dan sambungan pada 4 titik berada pada “Kondisi II” dimana dibutuhkan rencana perbaikan yaitu pada titik Klem Junction Konduktor Atas LA pada fasa R, S, dan T. Dan juga pada Klem in PMT pada fasa S.

Berdasarkan hasil perhitungan nilai emisivitas dan validasi (uji presisi dan uji akurasi) diketahui pada bay Penghantar Banda Aceh 1 didapatkan nilai hasil uji presisi sebesar 2,60% jika dibandingkan dengan standar emisivitas aluminium sebesar 0,5 dimana hasil tersebut dalam kondisi cukup baik serta untuk nilai hasil uji akurasi sebesar 80,86% dengan hasil yang cukup baik pula.

B. Saran

Pada sambungan klem dengan konduktor sebaiknya menggunakan kualitas material sesuai dengan standar PLN untuk keandalan dan kontinuitas penyaluran tenaga listrik. Selain kualitas material, waktu saat pengambilan data (*shooting*) sebaiknya dilakukan pada malam hari atau disaat beban puncak agar meningkatkan keandalan sistem transmisi PT PLN, hal ini dikarenakan untuk menghindari pengaruh suhu dari lingkungan serta beban penggunaan daya listrik lebih besar ketika malam hari.

REFERENSI

- [1] R. Syahputra, "Transmisi Dan Distribusi Tenaga Listrik," Yogyakarta: *lp3m umy* Yogyakarta, 2017.
- [2] M. Akib, E. Ihsanto, "Analisis Perbaikan Hotspot Pada SUTT 150kV NewRancakasumba – UjungBerung T.13 Penghantar I Fasa S Metode PDKB" *Jurnal Teknologi Elektro*, 2023.
- [3] B. Anwar, "Penentuan Hot Point Dengan Menggunakan Metode Thermovisi Pada Gardu Induk 150 kV Purwodedi", *Universitas Muhammadiyah Surakarta*, Nomor 9, Vol – 53, 2019
- [4] M. Bakti, "Analisis Hot Poing Dengan Menggunakan Thermovisi Pada Gardu Induk 150 kV Kenten", *Universitas Tridianti Palembang*, 2022
- [5] S. M. Gunawan, J. Santosa, "Analisa Perancangan Gardu Induk Sistem Outdoor 150 kV di Tallasa, Kabupaten Takalar, Sulawesi Selatan" *Dimensi Teknik Elektro*, 2013.
- [6] A. A. Pratomo, L. Partras, H. Tumaliang, "Analisa Perancangan Gardu Induk 150 kV di Kabupaten Muna", *Universitas Sam Ratulangi*, 2022.
- [7] D. Aribowo, E. Permata, R. Ekawati et al, "Analisis Hasil Uji PMT 150kV Pada Gardu Induk Cilegon Baru BAY KS 1", *Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional*, 2019
- [8] A. Romadhan "Analisis Pengaruh Penambahan Gardu Induk 150 kV Kalasan Terhadap Perubahan *Setting* Relay Jarak Pada Bay Penghantar Kalasan Di Gardu Induk 150 kV Bantul" *Universitas Gadjah Mada*, 2024
- [9] S. F. Gurning, Sumpena, "Analisa Perbaikan Hotspot Dalam Keadaan Bertegangan Dan Tidak Bertegangan di PT. PLN (Persero) UPT Cawang", *Universitas Dirgantara Marsekal Suryadama*, Nomor 1, Vol – 13, 2024
- [10] R. R. Putra, "Thermovisi Dalam Melihat *Hot Point* Pada Gardu Induk 150 kV Palur", *Universitas Muhammadiyah Surakarta*, 2018.
- [11] F. I. Pasaribu, M. L. Fazawi, "Penentuan Hotpoint dan Monitoring Peralatan Menggunakan Thermal Imagers Fluke Dengan Metode Thermovisi", *Journal of Electrical and System Control Engineering*, Vol – 4, 2021.
- [12] R. Fahturozi, R. Mubarak, A. Munawar, Fachruroji, "Evaluasi Uji *Hotspot* Menggunakan *Thermovisi Flir* Pada Bay Penghantar III Trafo 60 MVA", *Journal of electronic and Electrical Power Application*, 2024.
- [13] M. L. Fazawi, "Analisa Penentuan *Hot Point* dan Monitoring Peralatan dengan Metode Thermovisi Pada GI 150 kV Glugur", *Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*, 2020.
- [14] R. A. Saputra, "Analisis Titik Panas (*Hotpoint*) pada Hasil Pengukuran Thermovisi Pada Gardu Induk 150 kV Mranggen", *Universitas Semarang*, 2022.