

ANALISIS PEMELIHARAAN KINERJA DENGAN METODE THERMOVISI PADA JARINGAN SUTT 70KV GI MANISREJO

Mahadika Putra Dirgantara¹, Ina Sunaryantiningih²

¹Universitas PGRI Madiun, Indonesia, Fakultas Teknik, Prodi Teknik Elektro

e-mail: *¹mpd050602@gmail.com, ²inas@unipma.ac.id

Abstrak

Pemeliharaan kinerja Sistem Utilitas Tenaga Listrik (SUTT) memainkan peran penting dalam memastikan ketersediaan dan keandalan infrastruktur tenaga listrik. Penelitian ini memperkenalkan pendekatan inovatif yang menggabungkan metode termovisi dengan analisis pemeliharaan kinerja untuk mengevaluasi kondisi termal serta kinerja jaringan SUTT. Metode termovisi digunakan untuk mendeteksi hot spot dan anomali termal pada peralatan jaringan, yang dapat mengindikasikan potensi kegagalan sistem. Selain itu, analisis pemeliharaan kinerja mempertimbangkan berbagai faktor yang memengaruhi kinerja jaringan, seperti suhu operasional, beban listrik, dan tingkat keausan peralatan. Hasil pengukuran termovisi pada jaringan SUTT 70 kV GI Manisrejo arah Caruban dilakukan pada dua tower, yaitu tower 176 dan tower 175, dengan hasil sebagai berikut: Tower 176 memiliki rata-rata arus sebesar 54 A, suhu klem berkisar antara 30°C hingga 33°C, serta suhu konduktor rata-rata 26°C. Tower 175 memiliki rata-rata arus 54 A, suhu klem antara 31°C hingga 34°C, dan suhu konduktor rata-rata 27°C. Berdasarkan hasil tersebut, kondisi kedua tower dinyatakan baik karena nilai arus, suhu klem, dan suhu konduktor masih berada dalam batas standar. Tindak lanjut yang dilakukan adalah pengujian rutin setiap enam bulan. Selain itu, perhitungan nilai emisivitas pada jaringan SUTT 70 kV GI Manisrejo arah Caruban juga dilakukan pada kedua tower. Hasilnya, tower 176 memiliki nilai rata-rata emisivitas pada setiap fasa berkisar antara 0,4771 hingga 0,4937. Sementara itu, tower 175 memiliki nilai rata-rata emisivitas pada setiap fasa berkisar antara 0,4655 hingga 0,4937. Hasil perhitungan emisivitas dan selisih suhu menunjukkan bahwa kedua tower berada dalam kondisi yang baik karena masih sesuai dengan standar yang ditetapkan. Tindak lanjut yang dilakukan adalah pengujian rutin setiap enam bulan. Dengan demikian, berdasarkan hasil pengukuran termovisi, perhitungan nilai emisivitas, dan selisih suhu, dapat disimpulkan bahwa kondisi jaringan SUTT yang diuji berada dalam kategori baik serta sesuai dengan standar yang berlaku.

Kata kunci : Analisis Pemeliharaan Kinerja, Jaringan Listrik, Thermovisi.

Abstract

The maintenance of Electrical Utility System (SUTT) plays a crucial role in ensuring the availability and reliability of electrical infrastructure. This study introduces an innovative approach that combines the thermographic method with performance maintenance analysis to evaluate the thermal condition and performance of the SUTT network. The thermographic method is used to detect hot spots and thermal anomalies in network equipment, which may indicate potential system failures. Additionally, performance maintenance analysis considers various factors affecting network performance, including operational temperature, electrical load, and equipment wear levels. The thermographic measurements were conducted on the 70 kV SUTT network at GI Manisrejo towards Caruban, focusing on two towers, namely tower 176 and tower 175, with the following results: Tower 176 recorded an average current of 54 A, clamp temperature ranging from 30°C to 33°C, and an average conductor temperature of 26°C.

Meanwhile, tower 175 had an average current of 54 A, clamp temperature ranging from 31°C to 34°C, and an average conductor temperature of 27°C. Based on these results, both towers were found to be in good condition, as the current values, clamp temperatures, and conductor temperatures were within standard limits. The follow-up action taken was a routine inspection every six months. Additionally, the emissivity values of the 70 kV SUTT network at GI Manisrejo towards Caruban were calculated for both towers. The results showed that tower 176 had an average emissivity value per phase ranging from 0.4771 to 0.4937, while tower 175 had an average emissivity value per phase ranging from 0.4655 to 0.4937. The emissivity calculations and temperature differences indicated that both towers were in good condition as they remained within the established standard limits. The follow-up action taken was a routine inspection every six months. Thus, based on the thermographic measurements, emissivity calculations, and temperature differences, it can be concluded that the tested SUTT network is in good condition and complies with the applicable standards.

Keywords: Performance Maintenance Analysis, Electrical Network, Thermovision.

I. PENDAHULUAN

Energi listrik adalah tulang punggung dari perkembangan sosial, ekonomi, dan teknologi di masyarakat modern. Namun, dalam proses penyaluran energi listrik, terdapat sejumlah tantangan dan masalah yang dapat mempengaruhi ketersediaan, keandalan, dan efisiensi distribusi energi tersebut. Agar energi listrik memiliki kualitas dan kuantitas yang baik, semua ini harus diperhatikan melalui pemeliharaan dan pemantauan secara teratur dengan tujuan untuk menjaga kondisi peralatan energi listrik agar beroperasi dengan baik.

Gardu Induk (GI) sebagai salah satu komponen yang digunakan pada penyaluran tenaga listrik menjadi peran yang sangat dibutuhkan pada keberlangsungan suplay tenaga listrik pada konsumen, karena tanpa adanya gardu induk untuk tenaga listrik tidak dapat disalurkan dengan baik. Meningkatnya beban listrik yang diperoleh Gardu Induk dapat disebabkan oleh permintaan konsumen listrik sehingga terjadinya beban lebih yang menyebabkan terhenti suplay listrik kepada konsumen. Salah satu upaya dalam menjaga kualitas dan kuantitas energi listrik yang baik adalah dengan cara melakukan pemeliharaan pada jaringan SUTT, melakukan pemeliharaan dan pemantauan SUTT dapat mencegah terjadinya kegagalan jaringan, hal ini berpengaruh pada kualitas serta kontinuitas energi listrik karena adanya kerusakan pada sistem, Suhu yang terlalu panas yang berada pada klem pertemuan antara konduktor (Hot Point) akan mempengaruhi gangguan pada kualitas dan kontinuitas listrik [8].

Titik Panas (*Hot Point*) adalah area dengan suhu tinggi yang terbentuk pada pertemuan antara klem dan konduktor. Beberapa faktor yang dapat menyebabkan titik panas antara lain kotoran pada klem atau konduktor, kendur akibat proses muai dan susut pada konduktor, klem yang tidak terpasang dengan kencang, penggunaan material konduktor atau klem yang tidak sesuai, serta beban lebih (*overload*). Selain mendeteksi lokasi titik panas, perhitungan emisivitas juga merupakan tahap penting dalam pemeliharaan dan pemantauan keandalan jaringan SUTT. Emisivitas adalah kemampuan suatu objek dalam memancarkan energi yang dimilikinya. Nilai

emisivitas dapat diartikan sebagai proporsi total energi yang dipancarkan dari permukaan suatu material.

Penggunaan peralatan termovisi memudahkan petugas operasional dalam pemeliharaan di Gardu Induk. Sebelum adanya termovisi, pemantauan suhu panas masih dilakukan secara manual menggunakan termometer. Termovisi merupakan metode pengukuran yang memanfaatkan sinar inframerah (*infrared*), yang dipancarkan oleh kamera termal (*thermal imager*). Hasil pengukuran tersebut kemudian ditampilkan pada layar kamera termal, sehingga suhu peralatan yang diuji dapat terdeteksi dengan lebih akurat.

II. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian.

Penelitian ini bertempat di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Manisrejo yang beralamat di Jln. Tanjung Raya No. 16, Manisrejo, Kec. Taman, Kota Madiun, Jawa Timur 63138. Waktu penelitian yaitu dimulai dari bulan Maret 2024 - selesai. Langkah awal yaitu dengan dilakukan pembuatan proposal dilanjutkan dengan melaksanakan penelitian dan pengolahan data. Langkah selanjutnya yaitu adalah penyusunan skripsi dan langkah akhir yaitu dilakukan pengujian skripsi. Pengambilan data dilaksanakan pada hari senin 18 maret 2024 pukul 09.00 sampai dengan pukul 10.00 WIB.

B. Analisis Data.

Terkait metode atau tahapan dalam menganalisa data yang dijalankan pada perhitungan ini adalah sebagai berikut :

- 1) Melakukan proses pengukuran menggunakan alat termovisi
- 2) Menghitung selisih nilai suhu klem dan konduktor
- 3) Menghitung nilai emisivitas

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini data yang di ambil adalah data pengujian termovisi pada 2 tower SUTT 70kv Gi Manisrejo, yaitu tower 176 dan tower 175. Berikut adalah contoh sampel yang diambil pada tower 176 dan tower 175 dengan pengujian dan pengambilan gambar dengan alat pada sudut yang berbeda. Penelitian ini memiliki beberapa tahapan dalam pengujian yang dilakukan, antara lain yaitu :

- 1.) Pengukuran nilai arus, nilai suhu klem, dan nilai suhu konduktor.
- 2.) Perhitungan nilai emisivitas.

Pada umumnya lokasi dan posisi dimana tower berada dapat berpengaruh pada nilai pengukuran yang dihasilkan, posisi tower yang berada di lapangan terbuka ataupun posisi tower yang berada disekitar peralatan gardu induk pasti memiliki perbedaan pada suhu yang dihasilkan. Namun dapat dibuktikan pada penelitian ini, hal yang paling berpengaruh pada nilai pengukuran adalah kualitas dan kondisi tower itu sendiri, seperti seberapa baik kondisi klem pada tower, dan baik atau buruknya kondisi konduktor pada tower.

Tahapan pertama pengujian dalam penelitian ini adalah pengukuran nilai Arus, Suhu klem, dan Suhu konduktor pada tower 176 dan tower 175. Pada tabel dibawah ini, menunjukkan adanya beberapa hasil pengujian nilai arus, suhu klem, dan suhu konduktor dengan hasil yang tidak melebihi standart yang ditentukan, sehingga tidak diperlukan adanya perbaikan, namun hanya ditindak lanjut dengan pengujian rutin 6 Bulanan. Berikut adalah standart warna untuk nilai arus, suhu klem, dan suhu konduktor yang telah ditentukan sesuai warna yang rekomendasi tindak lanjut yang harus dilakukan :

- Hijau = Lanjutkan pengujian rutin 6 bulanan
- Kuning = Dijadwalkan Perbaikan
- Merah = Segera Perbaiki

Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran Thermovisi Tower 176

No	Penghantar	Tanggal Inspeksi	Tegangan (kV)	Tower		P h a s a	Arus Max (A)	Hasil Pengukuran		
				No	Arah			Arus (A)	Suhu Klem °C	Suhu Konduktor °C
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	Caruban-Manisrejo	01 Januari 2024	70 kV	176	177	R	61	54	30,30	26,00
		01 Januari 2024				S		54	30,40	26,00
		01 Januari 2024				T		54	30,70	26,00
2	Manisrejo-Caruban	01 Januari 2024	70 kV	176	175	R	61	54	31,60	26,00
		01 Januari 2024				S		54	32,50	26,00
		01 Januari 2024				T		54	32,90	26,00

Pada Tabel 4.1 ditunjukkan oleh penghantar arah caruban menuju manisrejo dari tower 176 arah tower 177 fasa R terlihat bahwa nilai I_{max} adalah 61 A dengan nilai arus 54 A, suhu klem 30,30°C dan suhu konduktor 26°C. Pada fasa S nilai I_{max} adalah 61 A dengan nilai arus 54 A, suhu klem 30,40°C dan suhu konduktor 26°C. Pada fasa T nilai I_{max} adalah 54 A, suhu klem 30,70°C dan suhu konduktor 26°C.

Pada Tabel 4.1 ditunjukkan oleh penghantar arah manisrejo menuju caruban dari tower 176 arah tower 175 fasa R terlihat bahwa nilai I_{max} adalah 61 A dengan nilai arus 54 A, suhu klem 31,60°C dan suhu konduktor 26°C. Pada fasa S nilai I_{max} adalah 61 A dengan nilai arus 54 A, suhu klem 32,50°C dan suhu konduktor 26°C. Pada fasa T nilai I_{max} adalah 61 A dengan nilai arus 54 A, suhu klem 32,90°C dan suhu konduktor 26°C.

Tabel 4. 2. Hasil Pengukuran Termovisi Tower 175

No	Penghantar	Tanggal Inspeksi	Tegangan (kV)	Tower		P	Arus Max (A)	Hasil Pengukuran		
				No	Arah			Arus (A)	Suhu Klem °C	Suhu Konduktor °C
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
3	Caruban-Manisrejo	01 Januari 2024	70 kV	175	176	R	61	54	31,30	27,90
		01 Januari 2024				S	61	54	32,00	27,90
		01 Januari 2024				T	61	54	32,90	27,90
4	Manisrejo-Caruban	01 Januari 2024	70 kV	175	174	R	61	54	33,00	27,90
		01 Januari 2024				S	61	54	34,80	27,90
		01 Januari 2024				T	61	54	34,80	27,90

Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Nilai ΔT dan Selisih Suhu Tower 176

No	Penghantar	Tanggal Inspeksi	Tegangan (kV)	Tower		P	Arus Max (A)	Arus (A)	Hasil Pengukuran		$\Delta t(^{\circ}C)$	Selisih Suhu Saat Arus
				No	Arah				Suhu Klem °C	Suhu Konduktor °C		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
1	Caruban-Manisrejo	01 Januari 2024	70 kV	176	177	R	61	54	30,30	26,00	5,49	4,30
		01 Januari 2024				S	61	54	30,40	26,00	5,61	4,40
		01 Januari 2024				T	61	54	30,70	26,00	6,00	4,70
2	Manisrejo-Caruban	01 Januari 2024	70 kV	176	175	R	61	54	31,60	26,00	7,15	5,60
		01 Januari 2024				S	61	54	32,50	26,00	8,29	6,50
		01 Januari 2024				T	61	54	32,90	26,00	8,80	6,90

Pada Tabel 4.2 ditunjukkan oleh penghantar arah caruban-manisrejo dari tower 175 arah tower 176 fasa R terlihat bahwa nilai I_{max} adalah 61 A dengan nilai arus 54 A, suhu klem 31,30°C dan suhu konduktor 27,90°C. Pada fasa S nilai I_{max} adalah 61 A dengan nilai arus 54 A, suhu klem 32°C dan suhu konduktor 27,90°C. Pada fasa T nilai I_{max} adalah 61 A dengan nilai arus 54 A, suhu klem 32,90°C dan suhu konduktor 27,90°C.

Pada Tabel 4.2 ditunjukkan oleh penghantar arah manisrejo-caruban dari tower 175 arah tower 174 fasa R terlihat bahwa nilai I_{max} adalah 61 A dengan nilai arus 54 A, suhu klem 33°C dan suhu konduktor 27,90°C. Pada fasa S nilai I_{max} adalah 61 A dengan nilai arus 54 A, suhu klem 34,80°C dan suhu konduktor 27,90°C. Pada fasa T nilai I_{max} adalah 61 A dengan nilai arus 54 A, suhu klem 34,80°C dan suhu konduktor 27,90°C. Untuk tahapan yang kedua adalah perhitungan nilai ΔT dan selisih suhu dari kedua tower, yaitu tower 176 dan tower 175.

Pada Tabel 4.3 ditunjukkan oleh penghantar arah caruban-manisrejo dari tower 176 arah 177 fasa R, mendapat nilai Δt_{akhir} 5,49°C dengan selisih suhu 4,30°C. Pada fasa S mendapat nilai Δt_{akhir} 5,61°C dengan selisih suhu 4,40°C. Pada fasa T mendapat nilai Δt_{akhir} 6,00°C dengan selisih suhu 4,70°C.

Pada Tabel 4.3 ditunjukkan oleh penghantar arah manisrejo-caruban dari tower 176 arah 175 fasa R, mendapat nilai Δt_{akhir} 7,15°C dengan selisih suhu 5,60°C. Pada fasa S mendapat nilai Δt_{akhir} 8,29°C dengan selisih suhu 6,50°C. Pada fasa T mendapat nilai Δt_{akhir} 8,80°C dengan selisih suhu 6,90°C.

Berikut adalah perbandingan jika menggunakan perhitungan sesuai dengan Rumus persamaan 1 metode kriteria delta T (ΔT) pada halaman 13. :

Tower 176 penghantar arah Caruban-Manisrejo :

a) Klem Fasa R

$$= (30,3 - 26,0) \left(\frac{61}{54} \right)^2 = 4,3 \times 1,275 = 5,49$$

b) Klem Fasa S

$$= (30,4 - 26,0) \left(\frac{61}{54} \right)^2 = 4,4 \times 1,275 = 5,61$$

c) Klem Fasa T

$$= (30,7 - 26,0) \left(\frac{61}{54} \right)^2 = 4,7 \times 1,275 = 6,0$$

Tower 176 penghantar arah Manisrejo-Caruban :

Klem Fasa R

$$= (31,6 - 26,0) \left(\frac{61}{54} \right)^2 = 5,6 \times 1,275 = 7,15$$

Klem Fasa S

$$= (32,5 - 26,0) \left(\frac{61}{54} \right)^2 = 6,5 \times 1,275 = 8,29$$

Klem Fasa T

$$= (32,9 - 26,0) \left(\frac{61}{54}\right)^2 = 6,9 \times 1,275 = 8,8$$

Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan ΔT dan Selisih Suhu Tower 175

No	Penghantar	Tanggal Inspeksi	Tegangan (kV)	Tower		P	Arus Max (A)	Hasil Pengukuran				Selisih Suhu Saat Arus
				No	Arah			Arus (A)	Suhu Klem (°C)	Suhu Konduktor (°C)	$\Delta t(^{\circ}C)$	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
												$e=a^2/b^2 \times (c-d)$
3	Caruban-Manisrejo	01 Januari 2024	70 kV	175	176	R	61	54	31,30	27,90	4,34	3,40
		01 Januari 2024				S	61	54	32,00	27,90	5,23	4,10
		01 Januari 2024				T	61	54	32,90	27,90	6,38	5,00
4	Manisrejo-Caruban	01 Januari 2024	70 kV	175	174	R	61	54	33,00	27,90	6,51	5,10
		01 Januari 2024				S	61	54	34,80	27,90	8,80	6,90
		01 Januari 2024				T	61	54	34,80	27,90	8,80	6,90

Pada Tabel 4.4 ditunjukkan oleh penghantar arah caruban-manisrejo dari tower 175 arah 176 fasa R, mendapat Δt akhir 4,34°C dengan selisih suhu 3,40°C. Pada fasa S mendapat nilai Δt akhir 5,23°C dengan selisih suhu 4,10°C. Pada fasa T mendapat nilai Δt akhir 6,38°C dengan selisih suhu 5,00°C.

Pada Tabel 4.4 ditunjukkan oleh penghantar arah manisrejo-caruban dari tower 175 arah 174 fasa R, mendapat nilai Δt akhir 6,51°C dengan selisih suhu 5,10°C. Pada fasa S mendapat nilai Δt akhir 8,80°C dengan selisih suhu 6,90°C. Pada fasa T mendapat nilai Δt akhir 8,80°C dengan selisih suhu 6,90°C.

Berikut adalah perbandingan jika menggunakan perhitungan sesuai dengan Rumus persamaan 1 metode kriteria delta T (ΔT) pada halaman 13. :

Tower 175 penghantar arah Caruban-Manisrejo :

Klem Fasa R

$$= (31,3 - 27,9) \left(\frac{61}{54}\right)^2 = 3,4 \times 1,275 = 4,34$$

Klem Fasa S

$$= (32,0 - 27,9) \left(\frac{61}{54}\right)^2 = 4,1 \times 1,275 = 5,23$$

Klem Fasa T

$$= (32,9 - 27,9) \left(\frac{61}{54}\right)^2 = 5,0 \times 1,275 = 6,38$$

Tower 175 penghantar arah Manisrejo-Caruban :

Klem Phasa R

$$= (33,0 - 27,9) \left(\frac{61}{54}\right)^2 = 5,1 \times 1,275 = 6,5$$

Klem Phasa S

$$= (34,8 - 27,9) \left(\frac{61}{54}\right)^2 = 6,9 \times 1,275 = 8,8$$

Klem Phasa T

$$= (34,8 - 27,9) \left(\frac{61}{54}\right)^2 = 6,9 \times 1,275 = 8,8$$

Untuk tahapan ketiga adalah perhitungan nilai emisivitas dengan menggunakan rumus dari Stefan Boltzman. Dibawah ini merupakan tabel hasil pengukuran thermovisi GI Manisrejo :

Tabel 4. 5 Data Suhu Klem Saat Shooting Tower 176

No	Tower	Arah	Bagian	Phasa	Suhu Saat Shooting
1	176	Caruban-Manisrejo	Klem	R	30,3°C
2			Klem	S	30,4°C
3			Klem	T	30,7°C
4		Manisrejo-Caruban	Klem	R	31,6°C
5			Klem	S	32,5°C
6			Klem	T	32,9°C

Tower 176 Arah Caruban-Manisrejo

Klem Phasa R

$$= \frac{237 \text{ W/m.K}}{(5,672 \times 10^{-8} \text{ W/m}^{-2}\text{K}^{-4}) \cdot 303,3^{\circ}\text{K}^4} = 0,4937$$

Klem Phasa S

$$= \frac{237 \text{ W/m.K}}{(5,672 \times 10^{-8} \text{ W/m}^{-2}\text{K}^{-4}) \cdot 303,4^{\circ}\text{K}^4} = 0,4931$$

Klem Phasa T

$$= \frac{237 \text{ W/m.K}}{(5,672 \times 10^{-8} \text{ W/m}^{-2}\text{K}^{-4}) \cdot 303,7^{\circ}\text{K}^4} = 0,4911$$

Tower 176 Arah Manisrejo-Caruban

Klem Phasa R

$$= \frac{237 \text{ W/m.K}}{(5,672 \times 10^{-8} \text{ W/m}^{-2}\text{K}^{-4}) \cdot 304,6^{\circ}\text{K}^4} = 0,4853$$

Klem Phasa S

$$= \frac{237 \text{ W/m.K}}{(5,672 \times 10^{-8} \text{ W/m}^{-2}\text{K}^{-4}) \cdot 305,5^{\circ}\text{K}^4} = 0,4796$$

Klem Phasa T

$$= \frac{237 \text{ W/m.K}}{(5,672 \times 10^{-8} \text{ W/m}^{-2}\text{K}^{-4}) \cdot 305,9^{\circ}\text{K}^4} = 0,4771$$

Tabel 4. 6 Data Suhu Klem Saat Shooting Tower 175

No	Tower	Arah	Bagian	Phasa	Suhu Saat Shooting
1	175	Caruban-Manisrejo	Klem	R	31,3°C
2			Klem	S	32,0°C
3			Klem	T	32,9°C
4		Manisrejo-Caruban	Klem	R	33,0°C
5			Klem	S	34,8°C
6			Klem	T	34,8°C

Tower 175 Arah Caruban-Manisrejo

Klem Phasa R

$$= \frac{237 \text{ W/m.K}}{(5,672 \times 10^{-8} \text{ W/m}^{-2}\text{K}^{-4}) \cdot 303,3^{\circ}\text{K}^4} = 0,4937$$

Klem Phasa S

$$= \frac{237 \text{ W/m.K}}{(5,672 \times 10^{-8} \text{ W/m}^{-2}\text{K}^{-4}) \cdot 305^{\circ}\text{K}^4} = 0,4828$$

Klem Phasa T

$$= \frac{237 \text{ W/m.K}}{(5,672 \times 10^{-8} \text{ W/m}^{-2}\text{K}^{-4}) \cdot 305,9^{\circ}\text{K}^4} = 0,4771$$

Tower 175 Arah Manisrejo-Caruban

Klem Phasa R

$$= \frac{237 \text{ W/m.K}}{(5,672 \times 10^{-8} \text{ W/m}^{-2}\text{K}^{-4}) \cdot 306^{\circ}\text{K}^4} = 0,4765$$

Klem Phasa S

$$= \frac{237 \text{ W/m.K}}{(5,672 \times 10^{-8} \text{ W/m}^{-2}\text{K}^{-4}) \cdot 307,8^{\circ}\text{K}^4} = 0,4655$$

Klem Phasa T

$$= \frac{237 \text{ W/m.K}}{(5,672 \times 10^{-8} \text{ W/m}^{-2}\text{K}^{-4}) \cdot 307,8^{\circ}\text{K}^4} = 0,4655$$

Untuk tahapan yang keempat adalah menentukan Rekomendasi tindak lanjut dilihat berdasarkan seluruh hasil pengukuran yang diperoleh sebelumnya. Rekomendasi tindak lanjut dapat menjadi acuan sebagai tindak lanjut yang harus dilakukan setelah pengukuran.

Sebagai contoh jika seluruh pengujian nilai arus, suhu klem, suhu konduktor dan nilai emisivitas mendapat nilai yang baik, maka Rekomendasi tindak lanjut mendapat indikator warna hijau yang berarti baik dan ditindak lanjut dengan pengujian rutin 6 bulanan. Dan sebaliknya, jika seluruh pengujian arus, suhu klem, suhu konduktor dan nilai emisivitas mendapat nilai yang kurang baik ataupun buruk, maka Rekomendasi tindak lanjut mendapat indikator berwarna kuning hingga berwarna merah.

Berikut adalah standart warna dari hasil Rekomendasi tindak lanjut yang telah ditentukan sesuai warna yang rekomendasi tindak lanjut yang harus dilakukan:

- Hijau = Lanjutkan pengujian rutin 6 bulanan
- Kuning = Dijadwalkan Perbaikan
- Merah = Segera Perbaiki

Tabel 4. 7 Rekomendasi Tindak Lanjut Tower 176

No	Penghantar	Tanggal Inspeksi	Tegangan (kV)	Tower		P	Arus Max (A)	Hasil Pengukuran		$\Delta t(^{\circ}C)$	Selisih Suhu Saat Arus f=c-d	Rekomendasi Tindak Lanjut	
				No	Arah			Arus (A)	Suhu Klem ($^{\circ}C$)				Suhu Konduktor ($^{\circ}C$)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
1	Caruban-Manisrejo	01 Januari 2024	70 kV	176	177	R	61	54	30,30	26,00	5,49	4,30	Lanjutkan Pengujian Rutin 6 Bulanan
		01 Januari 2024				S	61	54	30,40	26,00	5,61	4,40	Lanjutkan Pengujian Rutin 6 Bulanan
		01 Januari 2024				T	61	54	30,70	26,00	6,00	4,70	Lanjutkan Pengujian Rutin 6 Bulanan
2	Manisrejo-Caruban	01 Januari 2024	70 kV	176	175	R	61	54	31,60	26,00	7,15	5,60	Lanjutkan Pengujian Rutin 6 Bulanan
		01 Januari 2024				S	61	54	32,50	26,00	8,29	6,50	Lanjutkan Pengujian Rutin 6 Bulanan
		01 Januari 2024				T	61	54	32,90	26,00	8,80	6,90	Lanjutkan Pengujian Rutin 6 Bulanan

Tabel 4. 8. Rekomendasi Tindak Lanjut Tower 175

No	Penghantar	Tanggal Inspeksi	Tegangan (kV)	Tower		P	Arus Max (A)	Hasil Pengukuran		$\Delta t(^{\circ}C)$	Selisih Suhu Saat Arus f=c-d	Rekomendasi Tindak Lanjut	
				No	Arah			Arus (A)	Suhu Klem ($^{\circ}C$)				Suhu Konduktor ($^{\circ}C$)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
3	Caruban-Manisrejo	01 Januari 2024	70 kV	175	176	R	61	54	31,30	27,90	4,34	3,40	Lanjutkan Pengujian Rutin 6 Bulanan
		01 Januari 2024				S	61	54	32,00	27,90	5,23	4,10	Lanjutkan Pengujian Rutin 6 Bulanan
		01 Januari 2024				T	61	54	32,90	27,90	6,38	5,00	Lanjutkan Pengujian Rutin 6 Bulanan
4	Manisrejo-Caruban	01 Januari 2024	70 kV	175	174	R	61	54	33,00	27,90	6,51	5,10	Lanjutkan Pengujian Rutin 6 Bulanan
		01 Januari 2024				S	61	54	34,80	27,90	8,80	6,90	Lanjutkan Pengujian Rutin 6 Bulanan
		01 Januari 2024				T	61	54	34,80	27,90	8,80	6,90	Lanjutkan Pengujian Rutin 6 Bulanan

Pada Tabel 4.7 ditunjukkan oleh penghantar arah caruban menuju manisrejo dari tower 176 arah 177 fasa R,S,T untuk seluruhnya mendapat hasil rekomendasi tindak lanjut berwarna hijau yaitu lanjutkan pengujian rutin 6 bulanan.

Pada Tabel 4.7 ditunjukkan oleh penghantar arah manisrejo menuju caruban dari tower 176 arah 175 fasa R,S,T untuk keseluruhan juga mendapat hasil rekomendasi tindak lanjut berwarna hijau dengan melanjutkan pengujian rutin 6 bulanan. Dapat disimpulkan bahwa pada penghantar tower 176 arah 177 dan penghantar tower 176 arah 175 bisa dikatakan dalam kondisi baik.

Pada Tabel 4.8 ditunjukkan oleh penghantar arah caruban menuju manisrejo, dari tower 175 arah 176 fasa R,S,T untuk seluruhnya mendapat hasil rekomendasi tindak lanjut untuk melanjutkan pengujian rutin 6 bulanan.

Pada Tabel 4.8 ditunjukkan oleh penghantar arah manisrejo menuju caruban, dari tower 175 arah 174 fasa R,S,T untuk keseluruhan mendapat hasil rekomendasi tindak lanjut melanjutkan pengujian rutin 6 bulanan

IV. KESIMPULAN

Pada penelitian ini memiliki beberapa kesimpulan yaitu sebagai berikut :

1. Hasil dari pengukuran Thermovisi pada jaringan SUTT 70kv GI Manisrejo arah Caruban pada 2 tower yaitu tower 176 dan tower 175 untuk keseluruhan fasa mendapat hasil sebagai berikut, Pada tower 176 mendapat nilai rata-rata Arus 54 A, nilai rata-rata suhu klem 30°C sampai 33°C dan nilai rata-rata suhu konduktor adalah 26°C. Sedangkan pada tower 175 mendapat nilai rata-rata Arus 54 A, nilai rata-rata suhu klem 31°C sampai 34°C dan nilai rata-rata suhu konduktor adalah 27°C. Dengan hasil pengukuran thermovisi kedua tower tersebut dapat dikatakan baik karena nilai arus, suhu klem dan suhu konduktor masih sesuai dengan standart dengan hasil tindak lanjut dilakukan pengujian rutin 6 bulanan.
2. Hasil dari perhitungan nilai Emisivitas pada jaringan SUTT 70kv GI Manisrejo arah Caruban pada 2 tower yaitu tower 176 dan tower 175 untuk keseluruhan fasa mendapat hasil sebagai berikut. Pada tower 176 mendapat nilai rata-rata emisivitas dari setiap fasa 0,4771°K sampai 0,4937°K. Sedangkan pada tower 175 mendapat nilai rata-rata emisivitas dari setiap fasa 0,4655°K sampai 0,4937°K. Dengan hasil nilai emisivitas dan selisih suhu kedua tower tersebut dapat dikatakan baik karena nilai emisivitas dan selisih suhu masih sesuai dengan standart yang ditentukan dengan hasil tindak lanjut dilakukannya pengujian rutin 6 bulanan.
3. Berdasarkan hasil pengukuran delta T (ΔT) seluruh pengukuran suhu klem dan suhu konduktor tidak melebihi batas maksimal yang telah ditentukan. Ditunjukkan dengan hasil pengujian keseluruhan fasa berkisar antara 4,34°C hingga 8,80°C.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Jainudin, R. Hidayat, R. Rahmadewi, U. H. Singaperbangsa Karawang Jl Ronggo Waluyo, T. Timur, and J. Barat, □ANALISIS PEMELIHARAAN KINERJA DENGAN METODE THERMOVISI PADA PERALATAN GARDU INDUK 500kv TAMBUN, □ *Media Elektrika*, vol. 15, no. 2, 2022, [Online]. Available: <http://jurnal.unimus.ac.id>
- [2] A. Siswanto, R. Alfian, and E. Subyanta, □ANALISIS KINERJA PMS REL 2 BAY TRAFO 6 MENGGUNAKAN THERMOVISION METHODE DI GARDU INDUK SUNYARAGI, □ *Foristek*, vol. 11, no. 2, Dec. 2021, doi: 10.54757/fs.v11i2.113.
- [3] R. Andari, S. Amalia, and E. Azhari, □Analisa Pengecekan Peralatan Arrester Menggunakan Thermovisi pada Bay Indarung 1 Gardu Induk Pauh Limo, □ *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 19, no. 1, p. 101, Oct. 2020, doi: 10.24843/mite.2020.v19i01.p15.
- [4] W. A. Oktaviani, T. Barlian, and dan M. Agus Salim, □Uji Akurasi Dan Uji Presisi Pengukuran Suhu Penghantar Dengan Metode Thermovisi (STUDI KASUS : PENGHANTAR PRABUMULIH 1 GARDU INDUK 150 KV GUNUNG MEGANG).”
- [5] M. Ridwan and T. Arfianto, “Optimalisasi Thermovisi Dalam Menentukan Hot Point pada Peralatan Bay Penghantar Cikasungka 1 di Gardu Induk 150 kV Rancaekek. □
- [6] Solihat, R. (2022). Analisis Penentuan Titik Panas pada Bay Penghantar dengan Metode Thermovisi di Gardu Induk 150 kV Ujung Berung. 1 □15.
- [7] Putra, R. R. (2018). Thermovisi Dalam Melihat Hot Point Pada Gardu Induk 150 kV Palur. Fakultas Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Surakarta, 1 □19.
- [8] Anwar, B. (2018). Penentuan Hot Point Dengan Menggunakan Metode Thermovisi Pada Gardu Induk 150 Kv Purwodadi. *Jurnal Abdimas Dewantara*, 53(9), 1689 □1699.
- [9] Maulana, Alief, H., Aribowo, D., Inawati, (2015), Analisa Kondisi Generator Transformer Menggunakan Metode Thermography, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- [10] M. Siburian, J., Siahaan, T., & Sinaga, J., 2020, ANALISIS PENINGKATAN KINERJA JARINGAN DISTRIBUSI 20kv DENGAN METODE THERMOVISI JARINGAN PT. PLN (PERSERO) ULP MEDAN BARU, *JURNAL TEKNOLOGI ENERGI UDA: Jurnal Teknik Elektro Volume 9*, Nomor 1, Maret 2020, 8-19.
- [11] Pasaribu, F. I., & Fazawi, M. L., 2021, *HotPoint Determination And Monitoring Equipment Using Thermal Imagers Fluke With Thermovision Method. JESCE* (Journal of Electrical and System Control Engineering), 114-128.
- [12] PLN, 2000, Buku Prosedur Pelaksanaan Pekerjaan Pada Instalasi Listrik

Tegangan Tinggi. PT PLN (Persero).

[13] PLN, 2014, *Buku Pedoman Pemeliharaan*, No. 0520-2.K/DIR. PT PLN (Persero).

[14] Prasetya, H., Sunaryantiningsih, I., & Yuniahastuti, I. T. (2024). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Gedung Lab Terpadu Universitas Pgri Madiun (Vol. 4, Issue 2).