

ANALISIS *THERMAL* INSTALASI *CAPACITOR BANK* 575 kVAr MENGUNAKAN METODE *INFRARED THERMOGRAPHY*

Agus Setiawan¹, Suminto², Lili Solihin³

^{1,2,3}*Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang*
^{1,2,3}*Jalan Raya Puspiptek, Buaran, Serpong, Kota Tangerang Selatan, Banten, 15310, Indonesia*

¹*dosen00935@unpam.ac.id*

²*dosen00944@unpam.ac.id*

³*dosen00860@unpam.ac.id*

INFORMASI ARTIKEL

diajukan : 23-05-2024
revisi : 06-06-2024
diterima : 12-06-2024
dipublish : 30-06-2024

ABSTRAK

Kegagalan komponen listrik pada industri dapat menyebabkan gangguan proses produksi, bahkan kecelakaan. *Infrared thermography* merupakan metode yang efektif untuk pemeliharaan prediktif, dengan tujuan mengidentifikasi potensi kerusakan komponen sebelum terjadi kegagalan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi instalasi *capacitor bank* 575 KVAR menggunakan *infrared thermography*. Standar yang digunakan adalah *Standart for Infrared Inspection of Electrical System and Rotating Equipment*. Hasil penelitian menunjukkan sebagian besar kondisi instalasi *capacitor bank* 575 kVAr dalam skala prioritas 3 suhu maximum 44,5°C delta T 18,3 yang berarti kondisi perlu dilakukan tindakan korektif dengan izin penjadwalan. Tindakan korektif yang bisa dilakukan adalah memeriksa instalasi kabel, kekencangan skun kabel, kekencangan terminal koneksi pada kontaktor dan MCCB. Satu bagian yang memiliki skala prioritas 4 adalah pada bagian MCCB dan Kontaktor *capacitor bank* tampak depan bagian bawah dengan nilai *hot point* 35,1°C memiliki delta T 8,9.

Kata kunci: Infrared thermography; pemeliharaan prediktif; capacitor bank; kegagalan komponen; prioritas

ABSTRACT

The failure of electrical components in the industry can cause production process disruptions, and even accidents. Infrared thermography is an effective method for predictive maintenance, aiming to identify potential component damage before failure occurs. This research aims to analyze the condition of a 575 kVAr capacitor bank installation using infrared thermography. The standard used is the Standard for Infrared Inspection of Electrical Systems and Rotating Equipment. The results of the study indicate that the majority of the 575 kVAr capacitor bank installation conditions fall under priority scale 3, with a maximum temperature of 44.5°C and a delta T of 18.3, which means corrective actions need to be taken with scheduling permission. Corrective actions that can be taken include inspecting cable installations, tightening cable lugs, and tightening terminal connections on contactors and MCCBs. One part that has a priority scale 4 is the MCCB and contactor of the capacitor bank on the lower front section, with a hot point value of 35.1°C and a delta T of 8.9.

Keywords: Infrared thermography; predictive maintenance; capacitor bank; component failure; priority

PENDAHULUAN

Infrared thermography termasuk ke dalam pengujian jenis NDT (*Non Destructive Test*) penggunaan kamera inframerah untuk menguji komponen listrik, dan mekanik pada seluruh bangunan dan fasilitas. Oleh karena itu *infrared thermography* menjadi penting untuk mendeteksi sejak dini kegagalan yang mungkin terjadi. Pengujian ini dilakukan untuk sistem tenaga listrik di industri yang berfokus instalasi *capacitor bank* 575 KVAR. Standar yang dipakai adalah *Standart for Infrared Inspection of Electrical System and Rotating Equipment*. Hasil pengujian berupa nilai delta T temperatur dan kategori skala prioritas kondisi komponen yang memerlukan tindak lanjut.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis instalasi *capacitor bank* 575 KVAR menggunakan *infrared thermography*, mengidentifikasi potensi kerusakan komponen sebelum terjadi kegagalan, dan memberikan rekomendasi untuk pemeliharaan prediktif komponen *capacitor bank* 575 KVAR.

Ruang lingkup atau batasan Penelitian ini menggunakan *thermography* inframerah untuk menganalisis kondisi termal komponen *capacitor bank* 575 KVAR, termasuk MCCB dan kontaktor, guna mendeteksi anomali suhu yang menunjukkan potensi masalah. Data suhu digunakan untuk menilai keandalan komponen dan mengembangkan rekomendasi pemeliharaan preventif. Faktor lingkungan seperti suhu sekitar dan kelembaban juga dipertimbangkan. Studi ini akan mematuhi standar industri untuk memastikan keakuratan hasil dan mencakup evaluasi lapangan untuk validasi metode. Penelitian ini menggunakan metode *Infrared thermography* yaitu pengambilan gambar pola temperatur dengan pencitra *thermal* inframerah (kamera inframerah).

TEORI

A. *Infrared Thermography*

Infrared thermography adalah teknologi yang memanfaatkan radiasi inframerah untuk mengukur temperatur

permukaan objek tanpa kontak langsung. Teknologi ini menjadi alat penting dalam berbagai aplikasi industri, terutama dalam pemeliharaan prediktif dan pemantauan kondisi. Keunggulannya terletak pada kemampuannya untuk mendeteksi panas berlebih yang sering kali menjadi indikator awal kerusakan atau keausan pada komponen mekanis dan listrik.

Prinsip kerja *infrared thermography* didasarkan pada hukum Planck tentang radiasi benda hitam, yang menyatakan bahwa setiap objek dengan temperatur di atas nol absolut memancarkan radiasi inframerah. Kamera termal menangkap radiasi ini dan mengubahnya menjadi gambar termal, di mana variasi warna menunjukkan perbedaan temperatur (Balageas et al., 2020).

Aplikasi *Infrared Thermography* dalam Pemeliharaan Prediktif (*predictive maintenance*) adalah pendekatan yang menggunakan data kondisi aktual dari peralatan untuk memprediksi dan mencegah kerusakan sebelum terjadi. *Infrared thermography* adalah salah satu teknik utama yang digunakan dalam pemeliharaan prediktif karena kemampuannya untuk mendeteksi anomali temperatur yang dapat mengindikasikan masalah potensial (Bílý et al., 2021).

Dalam sistem listrik, inframerah dapat mendeteksi koneksi longgar, beban berlebih, dan isolasi yang rusak melalui identifikasi titik panas (*hot spots*). Sebagai contoh, penelitian oleh Wang et al. (2022) menunjukkan penggunaan *infrared thermography* untuk mengidentifikasi masalah pada *switchgear* dan trafo sebelum menyebabkan kegagalan besar.

Infrared thermography juga digunakan untuk memantau kondisi mesin dan peralatan mekanis lainnya. Temperatur tinggi pada bantalan atau motor sering kali

menunjukkan keausan atau pelumasan yang tidak memadai. Menurut penelitian oleh Zhang et al. (2020), pemantauan termal pada mesin dapat mengurangi waktu henti yang tidak direncanakan dan biaya perbaikan.

Aplikasi pada Pembangkit Listrik dan Industri Manufaktur. *Infrared thermography* banyak digunakan di pembangkit listrik dan pabrik manufaktur untuk memantau peralatan kritis. Di industri ini, deteksi dini terhadap anomali temperatur dapat mencegah kerugian produksi yang signifikan dan meningkatkan keselamatan kerja (Venegas et al., 2022).

Studi Kasus dan Aplikasi Praktis di pembangkit listrik, terutama yang menggunakan energi terbarukan seperti solar dan angin, *infrared thermography* digunakan untuk memantau panel surya dan turbin angin. Deteksi hot spots pada panel surya dapat mengindikasikan degradasi modul, sementara pemantauan temperatur pada turbin angin dapat mengidentifikasi masalah mekanis pada tahap awal (Torres-Galván et al., 2019).

Manufaktur dan Logistik di sektor manufaktur, *infrared thermography* membantu dalam pemantauan mesin produksi dan sistem konveyor. Deteksi dini terhadap masalah dapat mencegah kerusakan peralatan yang mahal dan meningkatkan efisiensi operasional. Di logistik, terutama untuk penyimpanan dingin dan pengiriman barang yang memerlukan temperatur tertentu, pemantauan temperatur non-kontak adalah kunci untuk menjaga kualitas produk (Fernández-Ovies et al., 2019).

Capacitor Bank

Kapasitor bank adalah perangkat penting dalam sistem tenaga listrik yang

digunakan untuk memperbaiki faktor daya dan stabilitas sistem. Mereka bekerja dengan menyimpan dan melepaskan energi reaktif, yang membantu mengurangi kerugian energi dan meningkatkan efisiensi keseluruhan dari sistem tenaga listrik. Artikel ini akan membahas aplikasi, manfaat, dan tantangan dalam penggunaan kapasitor bank dalam industri modern, dengan referensi dari jurnal internasional yang diterbitkan antara 2018-2023.

Kapasitor bank digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk sistem distribusi listrik, industri manufaktur, dan fasilitas komersial. Mereka terutama digunakan untuk memperbaiki faktor daya, yang merupakan ukuran efisiensi penggunaan listrik. Dalam sistem distribusi listrik, kapasitor bank membantu mengurangi kerugian daya dengan mengimbangi daya reaktif yang dihasilkan oleh beban induktif seperti motor dan transformator (Jaddivada, dkk., 2018).

Selain itu, dalam industri manufaktur, kapasitor bank membantu dalam menjaga stabilitas tegangan dan mengurangi gangguan pada peralatan listrik. Mereka juga digunakan dalam fasilitas komersial untuk meningkatkan kualitas daya dan mengurangi biaya tagihan listrik melalui penalti faktor daya yang lebih rendah (Ramirez, dkk., 2020).

Manfaat utama dari penggunaan kapasitor bank meliputi peningkatan efisiensi energi, pengurangan biaya operasional, dan peningkatan stabilitas sistem tenaga. Dengan memperbaiki faktor daya, kapasitor bank memungkinkan sistem distribusi listrik untuk mengoperasikan lebih efisien, mengurangi arus total dalam sistem, dan mengurangi kerugian I^2R pada konduktor (Smith, dkk., 2019).

Selain itu, dengan mengurangi beban reaktif pada generator dan transformator,

kapasitor bank membantu memperpanjang umur peralatan dan mengurangi kebutuhan untuk pembaruan infrastruktur (Wang & Li, 2021). Peningkatan stabilitas sistem tenaga juga merupakan manfaat penting, terutama dalam situasi beban puncak, di mana kapasitor bank dapat membantu mempertahankan tegangan sistem dalam batas yang diinginkan (Alam, dkk., 2020).

Selain itu, integrasi kapasitor bank dalam sistem tenaga yang kompleks memerlukan perencanaan yang hati-hati dan pengetahuan teknis untuk memastikan mereka diatur dan dioperasikan dengan benar. Gangguan harmonik yang dihasilkan oleh peralatan elektronik dan perangkat inverter dapat mempengaruhi kinerja kapasitor bank, yang memerlukan solusi seperti penggunaan filter harmonik (Gong, dkk., 2020).

Studi kasus di industri menunjukkan bahwa penggunaan kapasitor bank dapat menghasilkan penghematan energi yang signifikan dan peningkatan efisiensi operasional. Misalnya, dalam sebuah studi di sebuah pabrik manufaktur, instalasi kapasitor bank berhasil mengurangi konsumsi energi reaktif hingga 30%, yang berdampak langsung pada pengurangan biaya listrik (Jaddivada, dkk., 2018).

Penelitian sebelumnya menunjukkan hasil analisis inspeksi *infrared thermography* diketahui dengan nilai delta T tertinggi ACB LVMDP Input dan Control dengan nilai hot point 44,4°C memiliki delta T 18,2 dengan priority 3. Sedangkan untuk bagian lainnya dalam kondisi normal masuk *priority 4*. Rekomendasi tindakan adalah indikasi masalah terdeteksi, rencanakan perbaikan, maka perlu dilakukan rencana perawatan atau perbaikan pada relay ACB LVMDP *Input* dan *Control* (Setiawan & Solihin, 2023).

Dalam aplikasi lain, kapasitor bank digunakan dalam sistem distribusi listrik di daerah pedesaan untuk meningkatkan stabilitas tegangan dan mengurangi frekuensi gangguan listrik. Penggunaan kapasitor bank dalam sistem ini membantu dalam mempertahankan tegangan sistem dalam batas yang dapat diterima, yang penting untuk operasi peralatan listrik yang andal (Smith, dkk., 2019).

METODOLOGI

Infrared thermography pada panel *capacitor bank* 575 KVAr mengacu pada *Standart for Infrared Inspection of Electrical System and Rotating Equipment*. Pengujian dilakukan dengan memindai beberapa bagian *capacitor bank* dengan penembakan sinar *infrared* menggunakan alat khusus yaitu Fluke Pti120. Hasil dari penembakan yang tersimpan berupa gambar dengan pola distribusi temperatur yang kemudian diolah dan dianalisis menggunakan *software* khusus yaitu *Flukeconnect*. Pengolahan data menggunakan *software* juga menghasilkan keluaran berupa grafik titik penembakan berdasarkan temperatur. *Picture info* yang merupakan informasi detail penembakan memuat tentang waktu pengujian hingga detail nilai temperatur maksimum, minimum serta temperatur area yang dianalisis juga merupakan salah satu keluaran dari analisis yang dilakukan oleh *Software Flukeconnect*. Pengambilan gambar dengan kamera atau gambar visual diperlukan oleh manajemen sebagai bentuk koreksi saat melakukan perbaikan komponen.

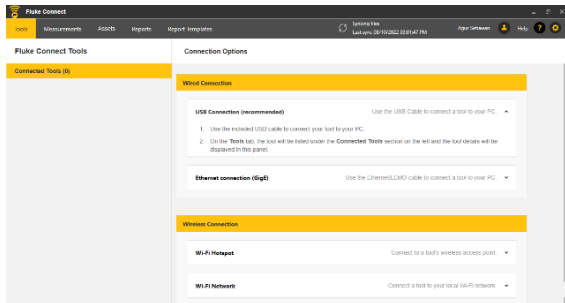
Software yang digunakan untuk melakukan analisis harus terintegrasi dengan alat yang digunakan. Hasil keluaran dari analisis berupa temperatur dari komponen secara detail baik temperatur

maksimum, temperatur minimum dan temperatur rata-rata. Selanjutnya temperatur tersebut dibandingkan dengan temperatur pada *absolute temperature criteria* yang terdapat pada *Standart for Infrared Inspection of Electrical System and Rotating Equipment*. Pada *absolute temperature criteria* terdapat temperatur maksimum, temperatur lingkungan, temperatur kenaikan yang diizinkan pada setiap komponen. Untuk melakukan analisis maka perlu dilakukan perhitungan selisih temperatur antara hasil analisis dengan temperatur maksimum yang diizinkan pada standar. Untuk setiap selisih temperatur memiliki *range* yang berbeda. Setiap *range* memiliki skala prioritas dan langkah rekomendasi yang berbeda. Sehingga manajemen bisa melakukan perencanaan *maintenance* untuk komponen dan sistem kelistrikan pada perusahaan. Analisis data dilakukan pada hasil pengolahan data yang sudah dilakukan menggunakan *software flukeconnect* untuk menentukan kriteria delta T pada setiap hasil pengukuran. Kriteria delta T ini akan menjadi pertimbangan untuk setiap tindaklanjut yang harus dilakukan terhadap setiap ketidaknormalan. Rekomendasi tindaklanjut tersebut berdasarkan kategori prioritas sesuai dengan delta T yang di dapat yang sesuai dengan Tabel 1. Alat pada Gambar 1 memiliki akurasi yang tinggi, cara kerja sederhana dengan metode penyimpanan yang mudah. Teknisi dapat mengatur jarak pemindaian sesuai keinginan. Pemindahan gambar hasil penembakan dapat dipindahkan dengan mudah.

Alat dan bahan yang digunakan adalah Kamera inframerah *Merk Fluke type Pti120* dan *Software Flukeconnect* seperti yang di tunjukan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Thermal imager camera



Gambar 2. Tampilan software flukeconnect

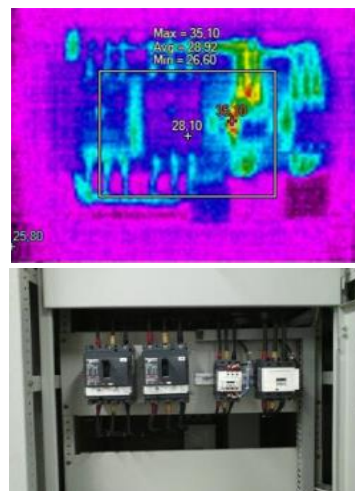
Tabel 1. Spesifikasi Pengujian Pemeliharaan NETA, untuk peralatan listrik (Infraspection Institute, 2008)

Prioritas	Delta T antara komponen yang sama	Delta T terhadap temperatur lingkungan	Rekomendasi Tindakan
4	1 - 3°C	1°C - 10°C	Tindakan korektif harus diambil pada periode pemeliharaan berikutnya
3	4 - 15°C	11°C - 20°C	Tindakan korektif diperlukan dengan izin penjadwalan
2	---	21°C - 40°C	Pantau sampai tindakan korektif dapat dilakukan ahli
1	>15°C	>40°C	Perbedaan besar, segera perbaiki

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan data penelitian menggunakan termografi dengan Fluke PTi120 untuk mengukur suhu pada MCCB, kontaktor, dan capacitor bank, mengidentifikasi dini anomali suhu yang mengindikasikan masalah seperti koneksi longgar atau degradasi. Data suhu digunakan untuk menganalisis kondisi termal dan mengembangkan rekomendasi pemeliharaan. Analisis variabel suhu membantu penilaian keandalan komponen dan perencanaan tindakan preventif. Pengaruh lingkungan dipertimbangkan, dengan rekomendasi pemeliharaan berdasarkan anomali suhu yang signifikan. Evaluasi lapangan memvalidasi metode termografi inframerah. Penelitian memperluas analisis sebelumnya dengan mempertimbangkan evaluasi faktor lingkungan, memberikan wawasan mendalam mengenai kondisi termal capacitor bank dan pemeliharaan yang diperlukan.

1. *Infrared Thermography* MCCB dan Kontaktor capacitor bank tampak depan bagian atas.



Gambar 3. Hasil thermography capacitor bank tampak depan bagian atas

Dari tampilan visual pada Gambar 3 MCCB dan kontaktor *capacitor bank* tampak depan bagian atas dapat diketahui sebagian besar warna ungu yang mengindikasikan temperatur normal, pada Gambar 3 juga ada nilai temperatur maximum atau temperatur yang terpanas pada bagian kontaktor dengan nilai 35,1°C, temperatur rata-rata atau average dinilai 28,92°C dan temperatur minimal dengan nilai 26,6°C. Hasil pengukuran detail ditampilkan pada tabel 2 dengan temperatur *background (BG)* 22°C.

Tabel 2. Hasil pengukuran *infrared thermography* instalasi *capacitor bank* tampak depan bagian atas.

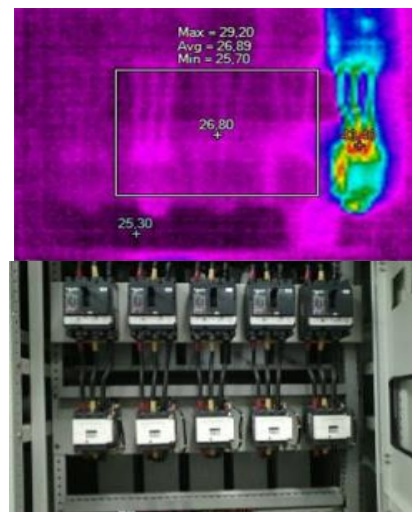
Marker Name	Max	Min	Avg	Ems
Center point	28,1°C	28,1°C	28,1°C	0,95
Center box	35,1°C	26,6°C	28,9°C	0,95
Hot	35,1°C	35,1°C	35,1°C	0,95
Cold	26,6°C	26,6°C	26,6°C	0,95

Pada Tabel 2 dapat kita ketahui nilai temperatur *center point* 28,1°C dan *center box* maximum adalah 35,1°C, minimum adalah 26,6°C dan *average* adalah 28,9°C dengan *emissivity (Ems)* sebesar 0,95.

2. Infrared Thermography MCCB dan Kontaktor *capacitor bank* tampak depan bagian bawah

Dari tampilan visual pada Gambar 4 MCCB dan Kontaktor *capacitor bank* tampak depan bagian bawah dapat diketahui sebagian besar warna ungu yang mengindikasikan adanya temperatur normal, pada Gambar 4 juga ada nilai temperatur maximum atau temperatur yang terpanas pada bagian

kontaktor paling kanan dengan nilai 43,40°C, temperatur rata-rata atau average dinilai 26,89°C dan temperatur minimal dengan nilai 25,70°C Hasil pengukuran detail ditampilkan pada tabel 3 dengan temperatur *background (BG)* 22°C.



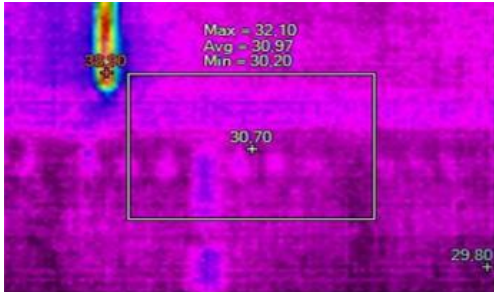
Gambar 4. Hasil *thermography* MCCB *capacitor bank* tampak depan bagian bawah

Tabel 3. Hasil pengukuran *infrared thermography* instalasi *capacitor bank* tampak depan bagian bawah.

Marker Name	Max	Min	Avg	Ems
Center point	26,8°C	26,8°C	26,8°C	0,95
Center box	29,2°C	25,7°C	26,9°C	0,95
Hot	43,4°C	43,4°C	43,4°C	0,95
Cold	25,3°C	25,3°C	25,3°C	0,95

Pada Tabel 3 dapat kita ketahui nilai temperatur *center point* 26,8°C dan *center box* maximum adalah 29,2°C, minimum adalah 25,7°C dan *average* adalah 26,9°C dengan *emissivity (Ems)* sebesar 0,95.

3. *Infrared Thermography capacitor bank* sisi belakang bagian tengah.



Gambar 5. Hasil *thermography* MCCB capacitor bank tampak belakang bagian tengah

Dari tampilan visual pada Gambar 5 capacitor bank tampak belakang bagian tengah dapat diketahui sebagian besar warna ungu yang mengindikasikan adanya temperatur normal, pada Gambar 5 juga ada nilai temperatur maximum atau temperatur yang terpanas pada bagian konduktor bukan pada fisik capacitor bank dengan nilai 38,9°C, sedangkan temperatur maximum secara keseluruhan bagian ini 32,10°C, temperatur rata-rata atau average dinilai 30,97°C dan temperatur minimal dengan nilai 30,20°C. Hasil pengukuran detail ditampilkan pada tabel 4 dengan temperatur background (BG) 22°C.

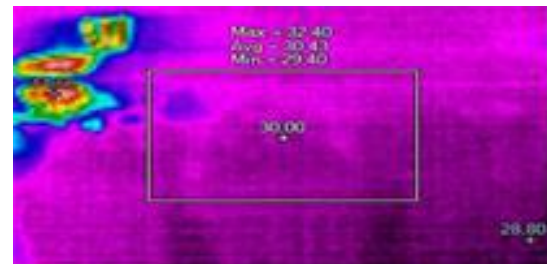
Tabel 4. Hasil pengukuran *infrared thermography* instalasi capacitor bank tampak belakang bagian tengah.

Marker Name	Max	Min	Avg	Ems
Center point	30,7°C	30,7°C	30,7°C	0,95
Center box	32,1°C	30,2°C	31,0°C	0,95
Hot	38,9°C	38,9°C	38,9°C	0,95
Cold	29,8°C	29,8°C	29,8°C	0,95

Pada Tabel 4 dapat kita ketahui nilai temperatur center point 30,7°C dan center box maximum adalah 32,1°C, minimum

adalah 30,2°C dan average adalah 31,0°C dengan emissivity (Ems) sebesar 0,95.

4. *Infrared Thermography capacitor bank* tampak belakang bagian atas



Gambar 6. Hasil *thermography* MCCB capacitor bank tampak belakang bagian atas.

Dari tampilan visual pada Gambar 6 capacitor bank tampak belakang bagian tengah dapat diketahui sebagian besar warna ungu yang mengindikasikan adanya temperatur normal, pada Gambar 6 juga ada nilai temperatur maximum atau temperatur yang terpanas pada bagian konduktor bukan pada fisik capacitor bank dengan nilai 44,5°C, sedangkan temperatur maximum secara keseluruhan bagian ini 32,4°C, temperatur rata-rata atau average dinilai 30,4°C dan temperatur minimal dengan nilai 29,4°C. Hasil pengukuran detail ditampilkan pada tabel 5 dengan temperatur background (BG) 22°C.

Tabel 5. Hasil pengukuran *infrared thermography* instalasi capacitor bank tampak belakang bagian atas.

Marker Name	Max	Min	Avg	Ems
Center point	30,0°C	30,0°C	30,0°C	0,95
Center box	32,4°C	29,4°C	30,4°C	0,95
Hot	44,5°C	44,5°C	44,5°C	0,95
Cold	28,8°C	28,8°C	28,8°C	0,95

Pada Tabel 5 dapat kita ketahui nilai temperatur *center point* 30,0°C dan *center box* maximum adalah 32,4°C, minimum adalah 29,4°C dan *average* adalah 30,4°C dengan *emissivity* (Ems) sebesar 0,95.

Analisa Data

Analisa data hasil penelitian adalah tahap yang akan membahas tentang

menentukan nilai delta T yang di dasarkan pada hasil pengolahan data yang sebelumnya sudah di peroleh. Nilai delta T yang di dapat nantinya akan menjadi dasar untuk menentukan rekomendasi tindakan selanjutnya yang harus di lakukan oleh perusahaan. Berikut ini di ditampilkan hasil analisa data seperti ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Analisa Data

Capacitor Bank	Suhu Max °C	Ambient °C	Delta T °C	Priority	Rekomendasi
MCCB dan Kontaktor <i>capacitor bank</i> tampak depan bagian bawah	35,1	26,2	8,9	4	Tindakan korektif harus diambil pada periode pemeliharaan berikutnya
<i>Capacitor bank</i> tampak belakang bagian atas	43,4	26,2	17,2	3	Tindakan korektif diperlukan dengan izin penjadwalan
<i>Capacitor bank</i> tampak belakang bagian tengah	38,9	26,2	12,7	3	Tindakan korektif diperlukan dengan izin penjadwalan
<i>Capacitor bank</i> tampak belakang bagian atas	44,5	26,2	18,3	3	Tindakan korektif diperlukan dengan izin penjadwalan

Untuk merespons temuan dari hasil pengukuran, tindakan korektif dapat diambil. Ini termasuk pemeriksaan menyeluruh terhadap instalasi kabel, pengecekan kekencangan skun kabel, dan pemeriksaan dengan teliti kekencangan terminal koneksi pada kontaktor dan MCCB, sesuai dengan tabel data yang disediakan. Langkah-langkah ini penting untuk memastikan kinerja optimal dan mencegah potensi gangguan atau kegagalan. "*Infrared thermography* telah banyak digunakan sebagai alat diagnostik non-invasif untuk mendeteksi anomali dalam peralatan listrik. Studi ini menyajikan analisis teoritis beserta validasi eksperimental tentang efektivitas termografi inframerah dalam mendeteksi koneksi longgar dalam switchgear listrik. Hasilnya menunjukkan potensi metode ini untuk deteksi dini cacat, sehingga meningkatkan keandalan dan keamanan sistem listrik (Masoum et al., 2005)."

KESIMPULAN

Kesimpulan yang di dapat dari hasil penelitian ini adalah Analisis dilakukan sesuai standar dari *Standart for Infrared Inspection of Electrical System and Rotating Equipment*. Sebagian besar kondisi instalasi *capacitor bank* 575 kVAr dalam skala prioritas 3 suhu maximum 44,5°C delta T 18,3 yang berarti kondisi perlu dilakukan tindakan korektif dengan izin penjadwalan. Tindakan korektif yang bisa dilakukan adalah memeriksa instalasi kabel, kekencangan skun kabel, kekencangan terminal koneksi pada kontaktor dan MCCB. Satu bagian yang memiliki skala prioritas 4 adalah pada bagian MCCB dan Kontaktor *capacitor bank* tampak depan bagian bawah

dengan nilai hot point 35,1°C memiliki delta T 8,9.

DAFTAR PUSTAKA

- Setiawan, A., & Solihin, L. (2023). Analisis hot point panel LVMDP kapasitas 1250 kVA dengan metode infrared thermography. *EPIC (Journal of Electrical Power, Instrumentation and Control)*, 6(1), 9–17. <http://openjournal.unpam.ac.id/index.php/jit>.
<https://doi.org/10.32493/epic.v6i1.28581>
- Alam, M., Rahman, M., & Hasan, R. (2020). Voltage Stability Improvement in Rural Electrification using Capacitor Banks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 119, 109562.
- Balageas, D., Fritsch, D., & Wu, D. (2020). Infrared Thermography and Its Applications. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*.
- Bílý, T., et al. (2021). Non-destructive Testing Methods in the Industrial Applications. *Sensors*, 21(4), 1187.
- Fernández-Ovies, F. J., et al. (2019). Detection of Breast Cancer Using Infrared Thermography and Deep Neural Networks. *International Work-Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering*, Springer.
- Gong, X., Hu, J., & Zhang, W. (2020). Harmonic Filtering Techniques for Capacitor Banks in Industrial Power Systems. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 35(3), 1541-1549.
- Infraspection Institute (2008). Standart for Infrared Inspection of Electrical System and Rotating Equipment.
- Jaddivada, V., Ravi, K., & Suresh, V. (2018). Improvement of Power Factor and Energy Efficiency using Capacitor Banks in Industrial Applications. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 54(3), 2898-2905.
- Masoum, M. A. S., Dehbonei, H., Fuchs, E. F., & Mehraban, A. S. (2005). Analisis Teoritis dan Eksperimental Metode Termografi Inframerah untuk Mendeteksi Koneksi Longgar dalam Switchgear Listrik. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 20(2), 1356-1365.
- Ramirez, J., Velasco, J., & Moreno, A. (2020). Capacitor Banks for Commercial Facilities: Energy Savings and Cost Reduction. *Journal of Power and Energy Engineering*, 8(4), 112-123.
- Smith, P., Johnson, R., & Kumar, S. (2019). Enhancing Power System Stability with Capacitor Banks: A Case Study. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 104, 743-750.
- Torres-Galván, J. C., et al. (2019). Pre-screening of Breast Cancer Thermograms Using Deep Learning. *Photonics North*, IEEE.
- Venegas, P., et al. (2022). AI-based Thermal Inspection for Predictive Maintenance. *IEEE Access*, 10, 12345-12355.
- Wang, X., et al. (2022). Predictive Maintenance Using Infrared Thermography: A Review. *Applied Thermal Engineering*, 198, 117665.
- Zhang, H., et al. (2020). Machine Condition Monitoring Using Infrared Thermography. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 140, 106601.