



BRIN
BADAN RISET
DAN INOVASI NASIONAL

BerAKHLAK
Berorientasi Pelayanan Akuntabel Kompeten
Harmonis Loyal Adaptif Kolaboratif

PENGENALAN THERMOGRAFI

Selasa, 29 September 2026

Pelatihan Teknologi Uji Tanpa Rusak Untuk Evaluasi Struktur Sipil

Roziq Himawan



BIODATA

Roziq Himawan



“ Advancing Non-Destructive Testing for Quality, Safety, and Innovation in Nuclear and Industrial Applications ”

EDUCATION

- 2001 Dr. Eng. in Production Science
Saitama University, Japan
- 1997 M.Eng. in Mechanical Engineering
Saitama University, Japan
- 1995 B.Eng. in Mechanical Engineering
Saitama University, Japan

PROFESSIONAL EXPERIENCE

- 20+ Years of experience in NDT and material evaluation in nuclear, industrial, and infrastructure sectors
- Extensive field experience in research reactors, oil refineries, and steam power plants
- Expertise in development, application, and innovation of advanced NDT techniques

EXPERTISE & RESEARCH INTEREST

-  Radiography Testing (RT)
X-ray, Gamma, CT, Digital Radiography
-  Ultrasonic Testing (UT)
Conventional UT, Phased Array, TOFD, Robotic UT
-  Infrared Thermography (IRT)
Thermal inspection and analysis

-  Digital Imaging & AI
AI for NDT image evaluation, machine learning applications
-  Additive Manufacturing (AM)
NDT for AM, quality assurance, new method development
-  NDT for Civil Engineering
UPV, GPR, radiography, and structural health assessment

LATAR BELAKANG

- Kerusakan dan degradasi struktur dapat terjadi di bawah permukaan dan tidak selalu terdeteksi melalui inspeksi visual.
- Metode inspeksi konvensional memiliki keterbatasan dalam memeriksa area yang luas dan sulit dijangkau.
- Diperlukan metode inspeksi yang cepat, tanpa kontak, dan tidak merusak struktur.
- Anomali termal dapat mengindikasikan perbedaan kondisi material dan keberadaan elemen atau kerusakan tersembunyi.
- Deteksi dini mendukung pemeliharaan preventif serta meningkatkan keselamatan dan keandalan struktur.

MANFAAT

- Deteksi Dini Cacat Struktur secara Non-Destruktif (NDT)
- Diagnosis Presisi Kelembaban & Efisiensi Energi
- Pemeliharaan Prediktif & Keselamatan Kerja

TUJUAN PEMBELAJARAN

I. Tujuan Pembelajaran Umum

Setelah menyelesaikan modul/pelatihan ini, peserta mampu **memahami, menganalisis, dan mengaplikasikan** teknik inspeksi termografi inframerah secara *Non-Destructive Testing* (NDT) untuk mendeteksi cacat tersembunyi, mengevaluasi efisiensi energi, serta menyusun rencana pemeliharaan prediktif pada struktur bangunan dan infrastruktur sipil secara tepat dan akurat.

TUJUAN PEMBELAJARAN

II. Rincian Kompetensi Dasar (KD) & Indikator Keberhasilan

KD 1: Memahami Prinsip Dasar Fisika Termografi dan Radiasi Termal

- **Kompetensi Dasar:** Peserta mampu menguraikan konsep dasar perpindahan panas, radiasi inframerah, dan pengaruh emisivitas pada pengukuran temperatur permukaan material sipil.
- **Indikator Keberhasilan (IPK):**
 - **1.1** Menjelaskan 3 mode perpindahan panas (konduksi, konveksi, radiasi) dan keterkaitannya dengan fluks termal pada elemen struktur (seperti beton dan baja).
 - **1.2** Mengidentifikasi perbedaan nilai emisivitas (ε) antara material non-logam (beton, bata, semen) dan logam berpelitur.
 - **1.3** Menerangkan pentingnya pengaturan parameter emisivitas pada kamera termal untuk mencegah kesalahan interpretasi temperatur (thermal anomaly).

TUJUAN PEMBELAJARAN

- **KD 2: Menganalisis Cacat Sub-Permukaan dan Masalah Struktur Menggunakan Termogram**
- **Kompetensi Dasar:** Peserta mampu menganalisis citra termal (termogram) untuk mengidentifikasi keberadaan cacat internal, kebocoran air, dan efisiensi termal gedung.
- **Indikator Keberhasilan (IPK):**
 - **2.1** Mengidentifikasi pola *delamination*, retak internal, dan rongga (*voids*) pada beton berdasarkan kontras/gradien warna pada termogram.
 - **2.2** Membedakan fenomena jembatan termal (*thermal bridging*) dan area serapan air/kelembaban (*cold spots*) pada selubung bangunan.
 - **2.3** Membandingkan keunggulan inspeksi termografi NDT terhadap metode konvensional (seperti *coring* atau pembongkaran fisik) dari segi cakupan area dan kecepatan akuisisi data.

TUJUAN PEMBELAJARAN

- **KD 3: Evaluasi Pemeliharaan Prediktif dan Keselamatan kerja**
- **Kompetensi Dasar:** Peserta mampu mengevaluasi kondisi kesehatan struktur dan menyusun rekomendasi tindakan pemeliharaan prediktif berbasis risiko.
- **Indikator Keberhasilan (IPK):**
 - **3.1** Menyusun laporan evaluasi kejanggalan termal pada instalasi tersembunyi (pipa, kabel listrik, penulang baja) beserta tingkat keparahannya.
 - **3.2** Menilai faktor-faktor lingkungan (seperti kecepatan angin, radiasi sinar matahari langsung, dan fokus optik) yang berpotensi memicu bias hasil analisis di lapangan.
 - **3.3** Merumuskan langkah-langkah pemeliharaan prediktif yang aman dari jarak jauh tanpa mengganggu operasional atau keselamatan bangunan.

POKOK BAHASAN

I. Konsep

II. Perpindahan panas

- Konduksi
- Konveksi
- Radiasi

III. Emitance, transmittance dan reflectance

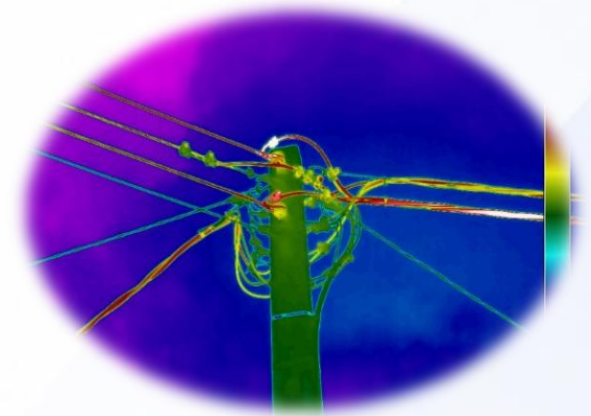
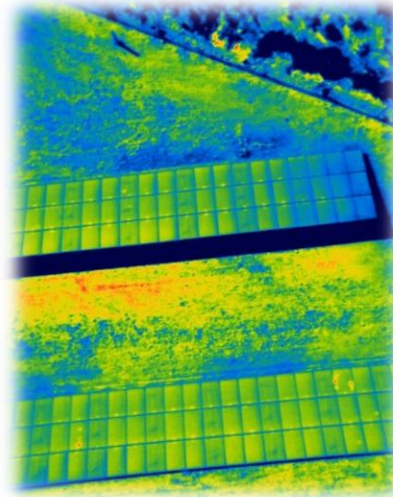
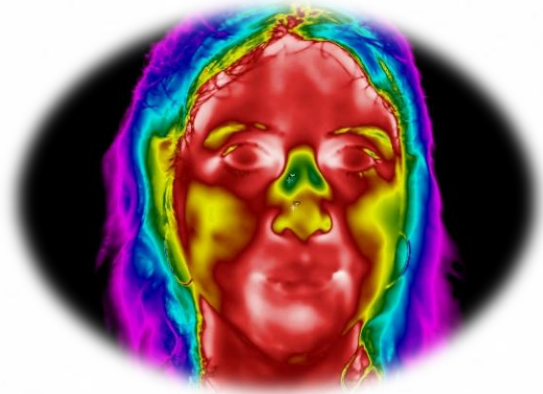
IV. Aplikasi

V. Simpulan

1 KONSEP TERMOGRAFI

Definisi

Suatu teknik yang menghasilkan citra panas radiasi suatu objek yang diambil oleh alat (kamera termografi) tanpa kontak secara langsung.



2 Perpindahan Panas

Perpindahan Panas

Akan terjadi jika dua objek atau material pada temperatur berbeda di mana terdapat gradien temperatur.

Perpindahan panas tidak terjadi jika objek-objek memiliki temperatur sama, dimana pada kondisi kesetimbangan panas.

Perpindahan panas terjadi dari objek panas menuju objek dingin

Kapasitas perpindahan tergantung pada jenis material.

Perbedaan antara kalor dan Temperatur:

Kalor Merupakan total energi dari pergerakan molekul suatu zat atau benda; kalor adalah bentuk energi, dan semakin tinggi temperatur, semakin besar pula pergerakan partikelnya.

Temperatur Merupakan besaran yang dapat diukur menggunakan termometer.

Perbedaan antara kalor dan temperatur.

Dua wadah dengan ukuran berbeda yang memiliki suhu sama juga memiliki jumlah energi yang sama.

Apakah itu benar?



Perbedaan antara kalor dan suhu.

Dua benda dengan suhu berbeda: air mendidih dan gunung es.

Di manakah terdapat energi paling besar?



Proses Perpindahan Panas:

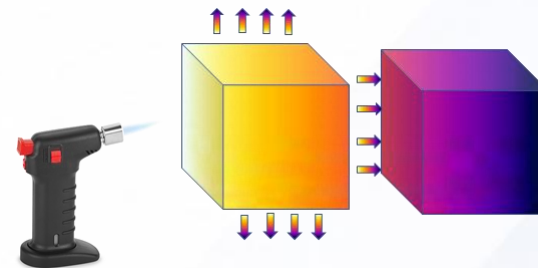
1.- Konduksi



2.- Konveksi



3.- Radiasi



1 KONDUKSI

Konduksi adalah perpindahan panas yang terjadi melalui kontak langsung antara dua material atau di dalam material yang sama.

Ini adalah satu-satunya proses yang terjadi pada benda padat, dengan pengecualian tertentu.

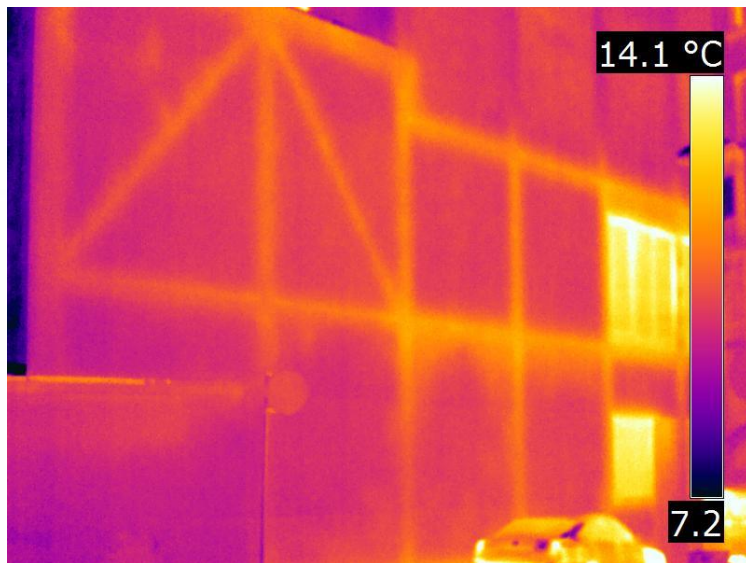
Berdasarkan rumusnya, perpindahan panas melalui suatu material bergantung pada:

$$P = \frac{k \cdot A(T1 - T2)}{L}$$

dimana:

- ***k*** konduktivitas panas material, (W/m·K)
- ***A*** luas penampang, (m²)
- ***T1 – T2*** Perbedaan temperatur, (K)
- ***L*** panjang, (m)

Berdasarkan pada konduktivitas termal dan inersia termal material, hal ini memungkinkan kita untuk memvisualisasikan struktur atau material yang "tersembunyi" dari cahaya tampak melalui termografi.

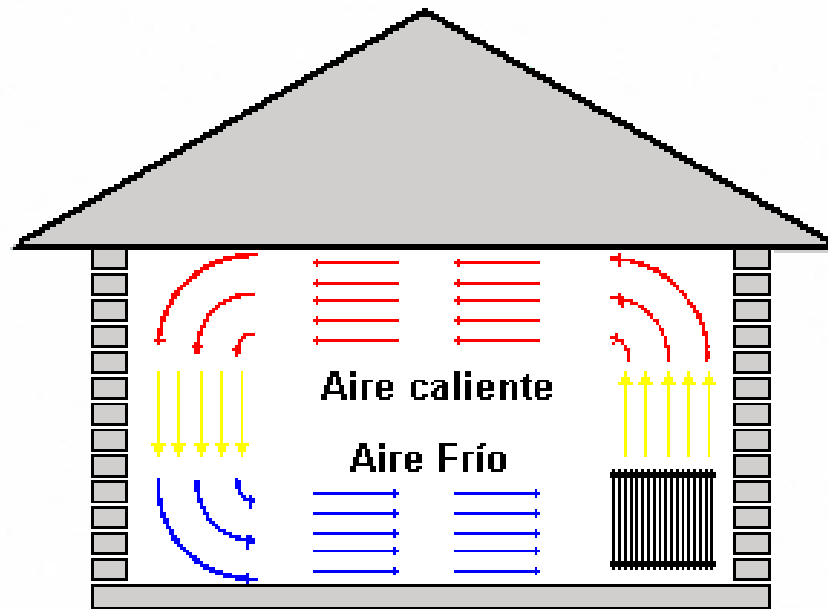


Visualisasi sistem pemanas bawah lantai; suhu dari pipa disalurkan ke permukaan lantai melalui konduksi.

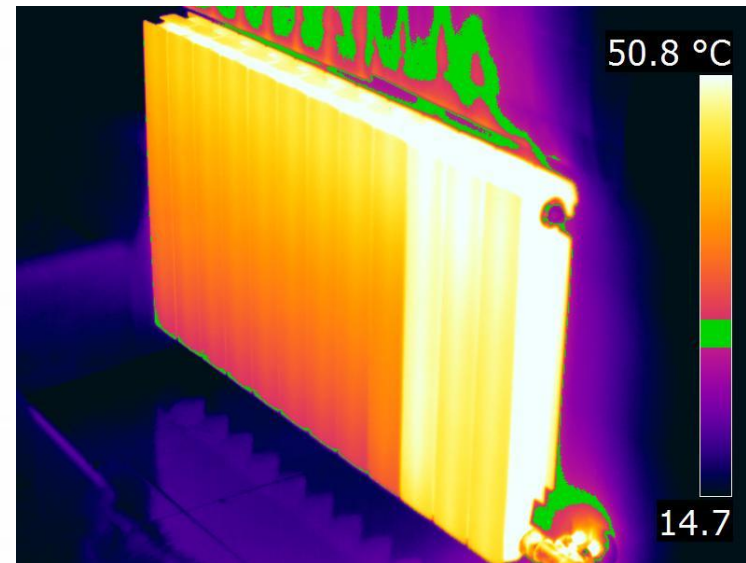


2 KONVEKSI

Perpindahan panas secara konveksi terjadi akibat pergerakan partikel fluida (cair atau gas); perbedaan massa jenis yang timbul pada fluida saat dipanaskan menyebabkan pergerakan partikel tersebut.

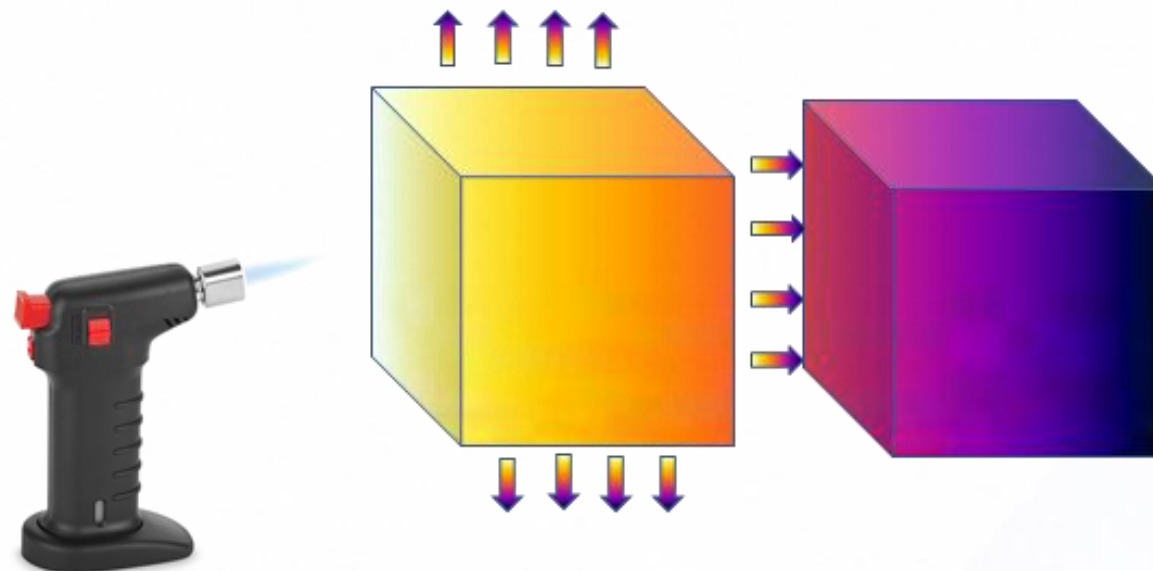


Radiator memindahkan panas melalui konveksi (udara yang lebih dingin masuk dari bagian bawah dan udara panas keluar dari bagian atas) dan melalui radiasi.



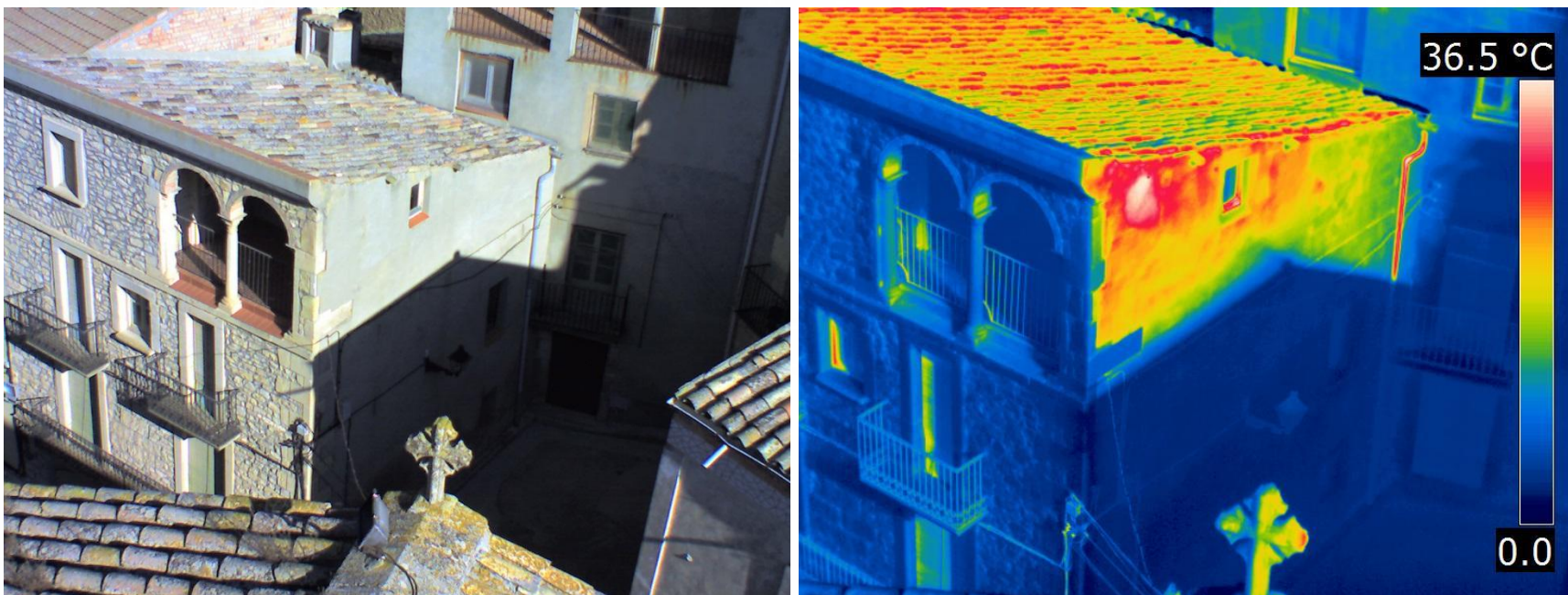
3 RADIASI

Perpindahan panas secara radiasi terjadi tanpa kontak langsung, dari benda bertemperatur lebih tinggi ke benda yang lebih rendah.



3 RADIASI

Perpindahan panas secara radiasi terjadi tanpa kontak langsung, dari benda bersuhu lebih tinggi ke benda bersuhu lebih rendah.



3 RADIASI



3 Emitance, transmittance and reflectance

Persamaan Stefan Boltzmann's formula untuk material ideal atau hitam dengan emisivitas kurang dari 1.

$$E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$$

E , daya radiasi

ε , emisivitas material

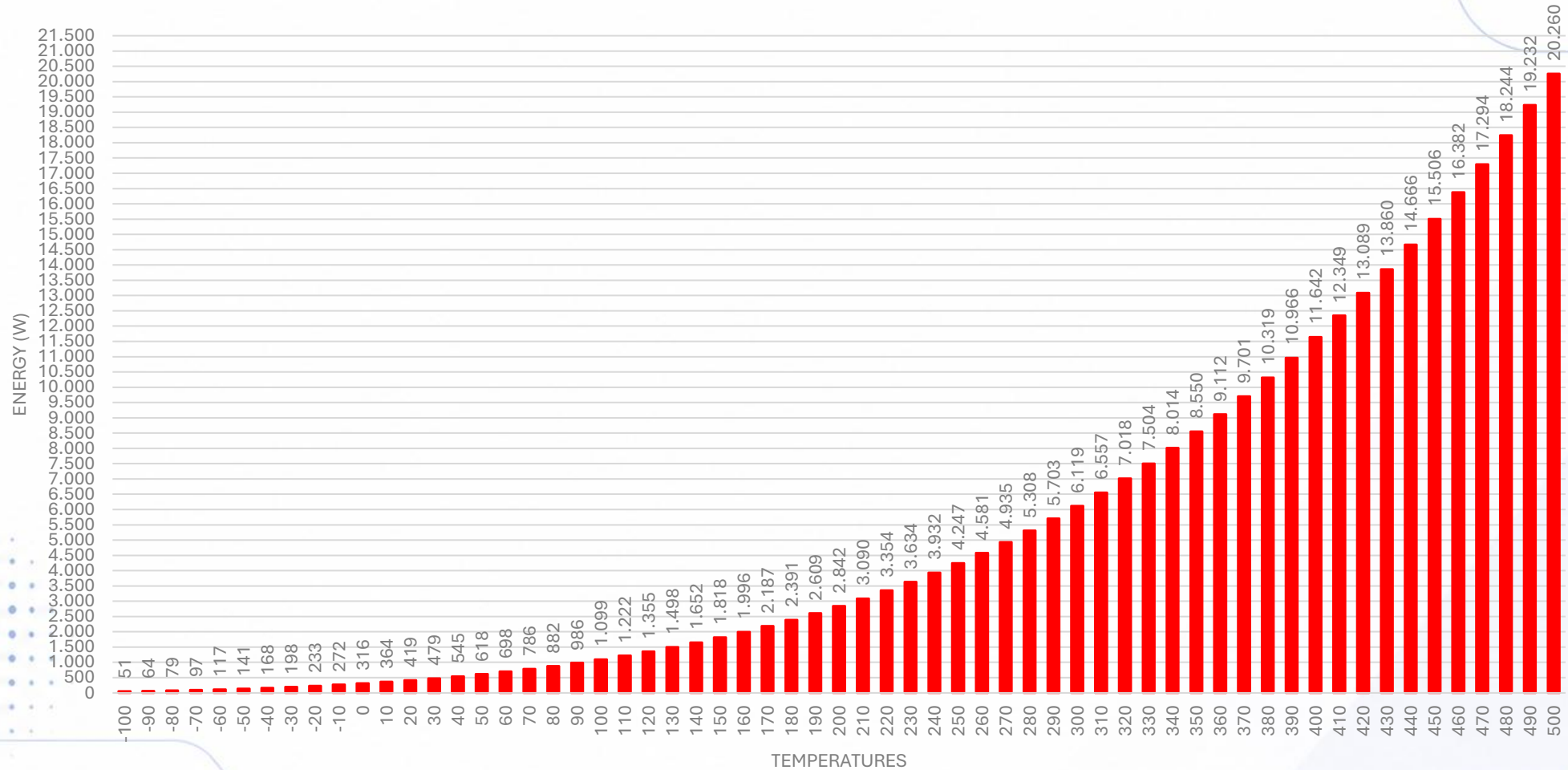
σ , konstanta Stefan-Boltzmann $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$

T , temperatura benda dalam $^{\circ}\text{K}$ (kelvin)

Persamaan Stefan Botzmann's

Nilai Energi benda hitam (black body)

ENERGY / TEMPERATURE RELATION



EMISIVITAS

Ini adalah kemampuan suatu benda untuk memancarkan radiasi termal dibandingkan dengan benda hitam.

$$\varepsilon = E_{CR}/E_{CN}$$

Emisivitas benda nyata akan **SELALU** kurang dari 1; benda hitam adalah perangkat laboratorium dan tidak ada dalam dunia nyata.

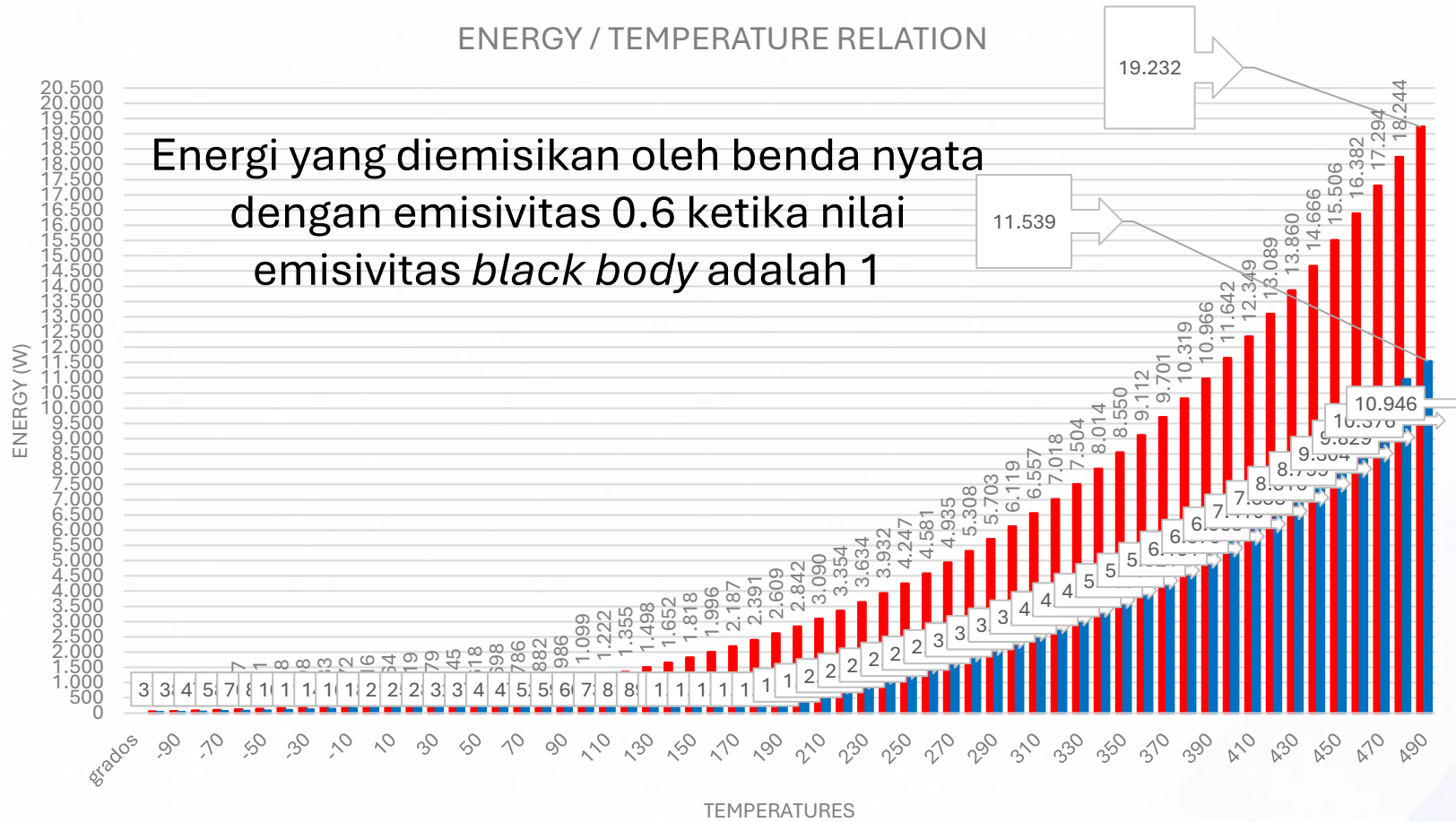
- Untuk material yang tembus inframerah: $\varepsilon + \rho + \tau = 1$
- Untuk material yang tidak tembus inframerah: $\varepsilon + \rho = 1$

Emisivitas adalah faktor terpenting untuk "mengukur" temperatur suatu material.

Berdasarkan rumus $\epsilon + \rho = 1$ (untuk material opak/tidak tembus), jika kita memiliki objek dengan nilai emisivitas 0,6, maka nilai refleksinya adalah 0,4; artinya, 40% radiasi yang diterima kamera berasal dari objek-objek di sekitar material yang sedang kita analisis. Jika emisivitasnya 0,03, maka 97% radiasi berasal dari luar.

Terdapat material dengan emisivitas tinggi dan material dengan emisivitas rendah.

ENERGY / TEMPERATURE RELATION



Perhitungan nilai dari grafik sebelumnya

Nilai E benda hitam: 19,232

Nilai E benda riil: 11,539

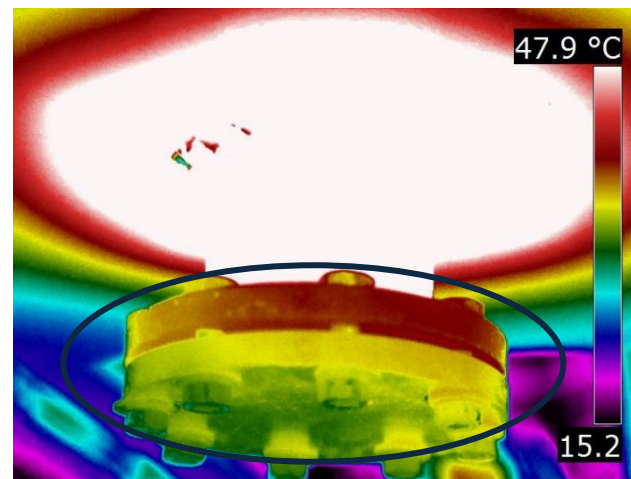
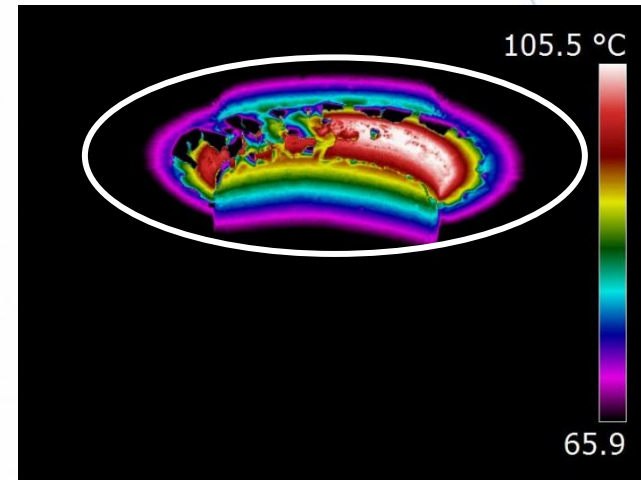
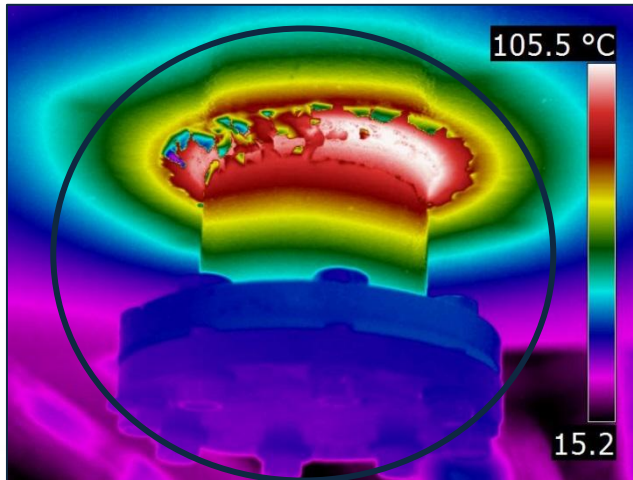
$$\varepsilon = E_{CR}/E_{CN} = 11,539/19,232 = 0,6$$

Benda riil memancarkan radiasi lebih sedikit dibandingkan benda hitam.

Pengaturan / Lebar atau Skala



Pengaturan / Lebar atau Skala

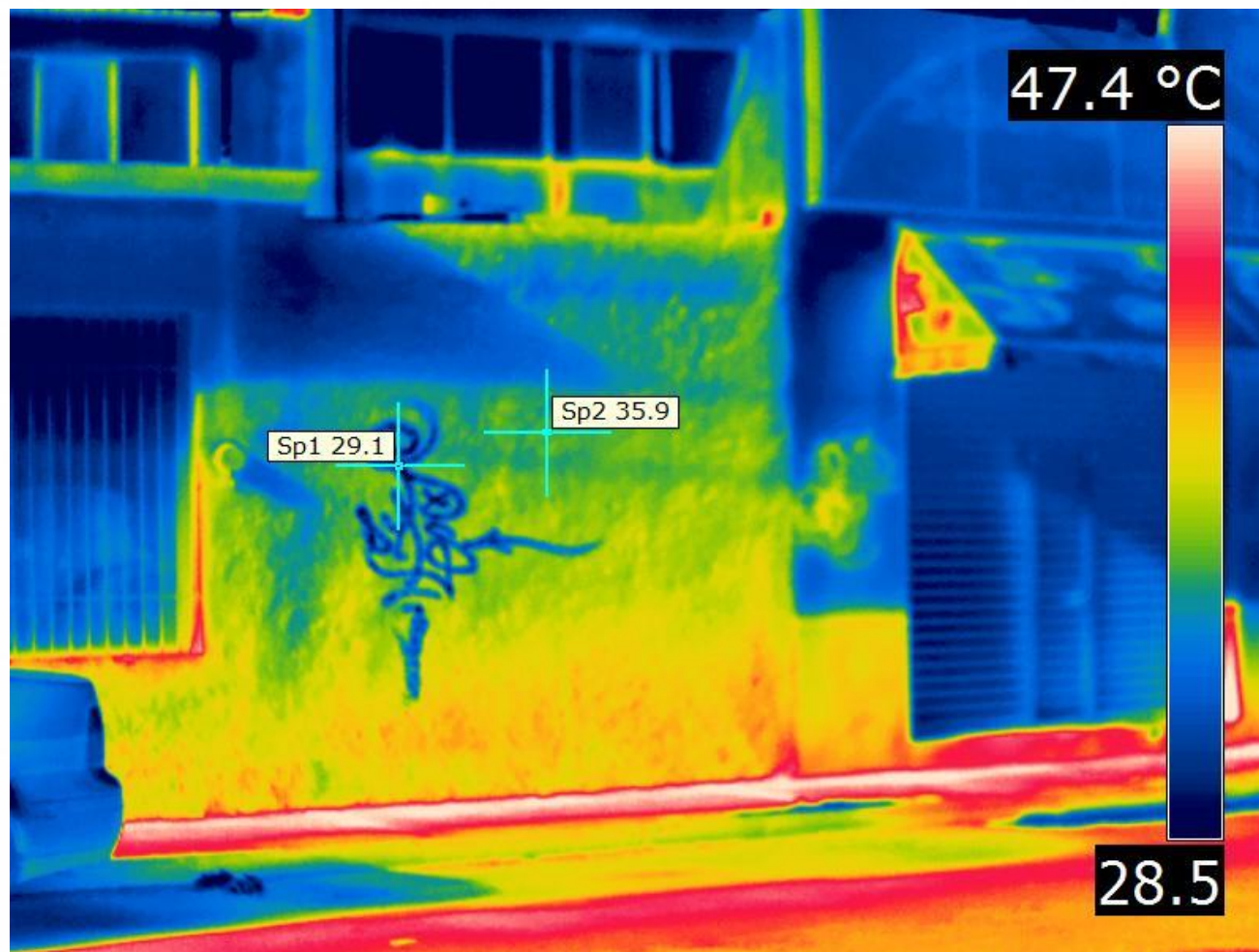


Beberapa Kesalahan Umum

Beberapa kesalahan yang paling umum:

- Perubahan emisivitas
- Material yang tidak tembus inframerah
- Pemilihan rentang yang kurang tepat
- Fokus gambar yang buruk
- Pantulan
- Kesalahan manusia
- ✓ Kartu memori
- ✓ Daya baterai
- ✓ Dll.

Perubahan Emisivitas



Material tidak tembus

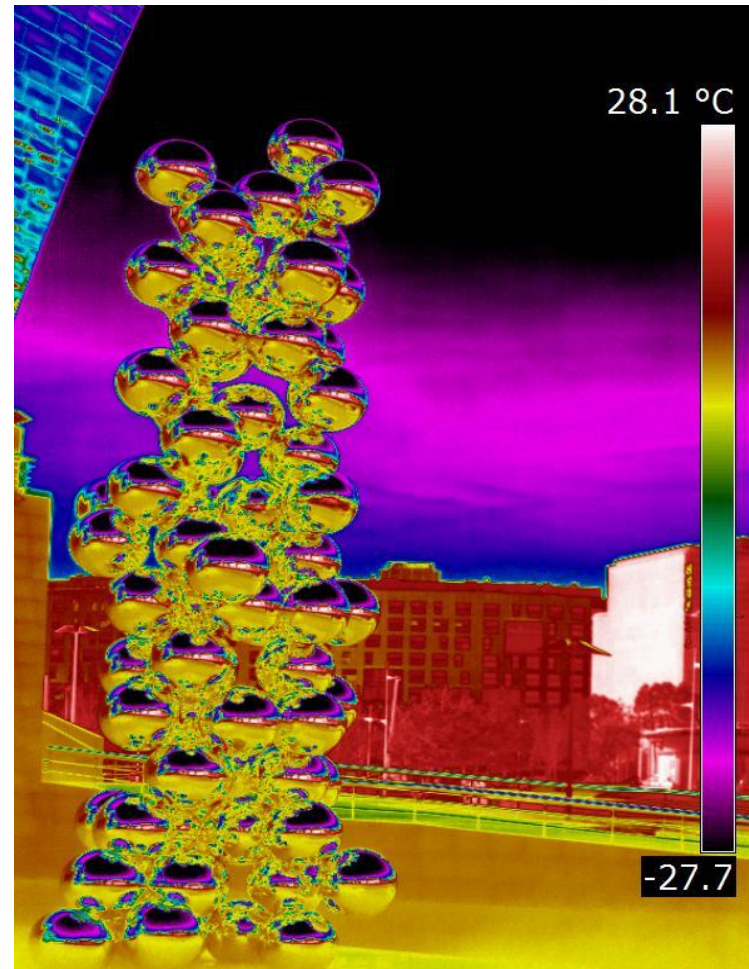


26.1°C



17.0°C

Pantulan



4 Aplikasi

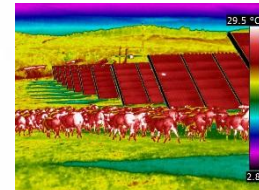
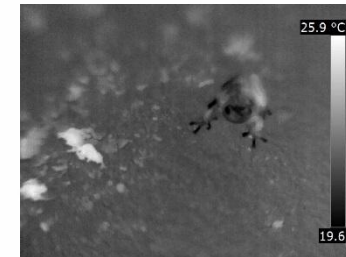
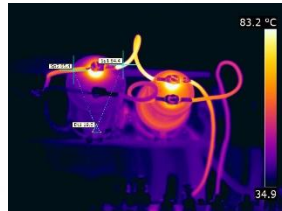
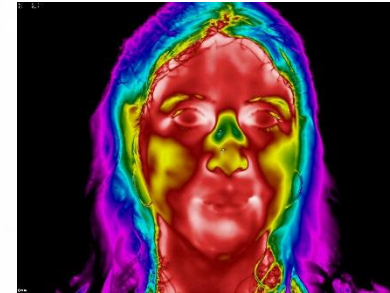
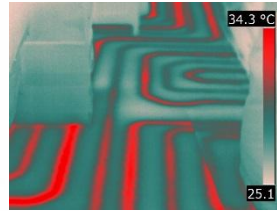
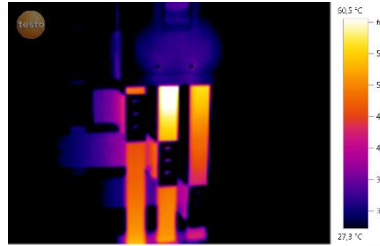
Aplikasi Secara Umum

- Sistem Kelistrikan
 - Faulty connections
 - Conductor overheating
 - Imbalance between phases
 - Transformers
 - Windings
 - Resistors
 - Equipment not working

Sistem Mekanik
Bearings
Engines
Transmission belts
Facilities
Bangunan
Isolasi
Kelembaban
Lokasi Fasilitas

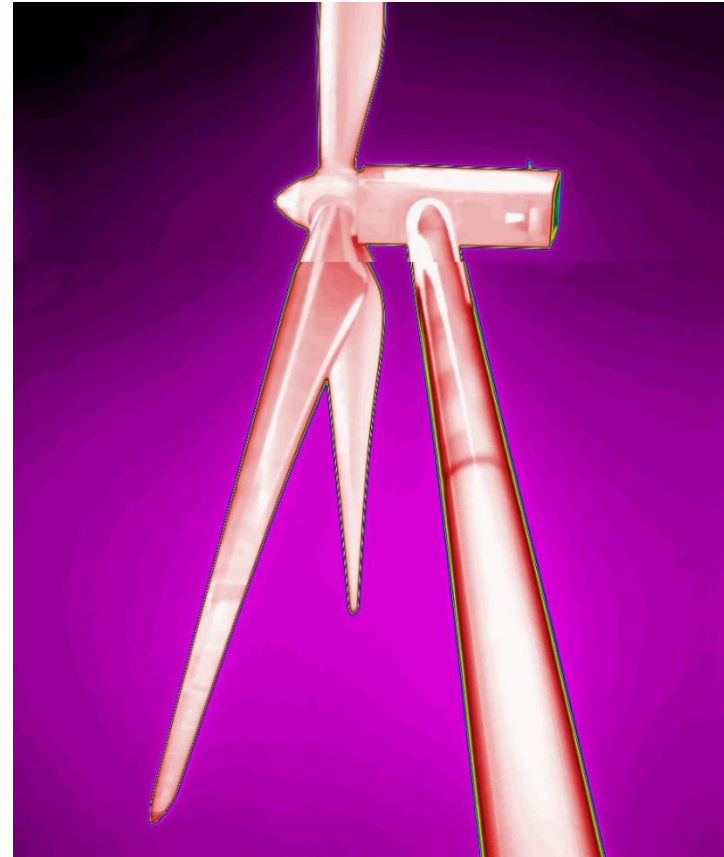
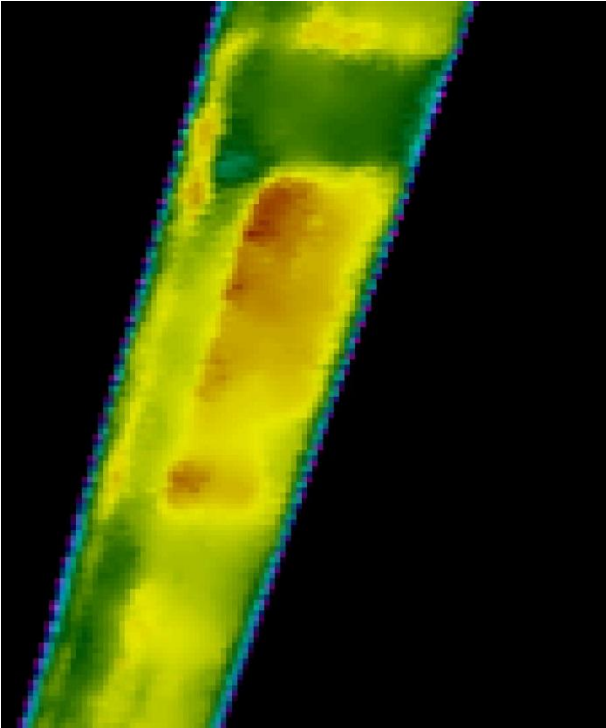
- Kesehatan
 - muscle injuries
 - Tumors
- Proses Produksi
 - Materials testing
 - QA
- Industri
 - Process control
 - Lasan
 - QA
- Otomasi proses

Aplikasi Secara Umum

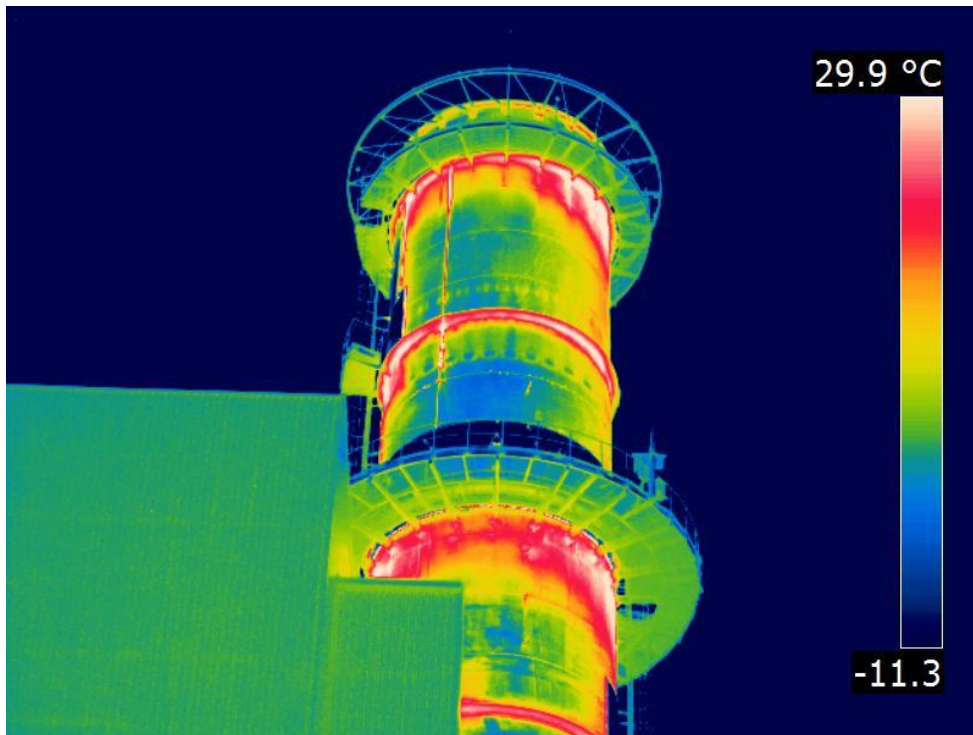


Energi Terbarukan

Predictive maintenance



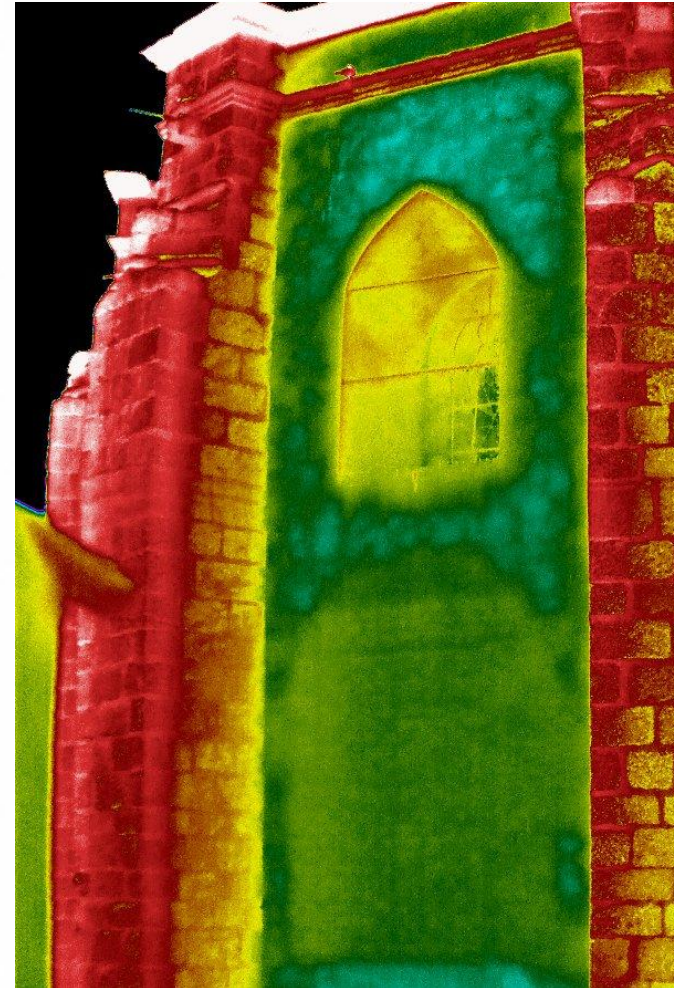
Insulator



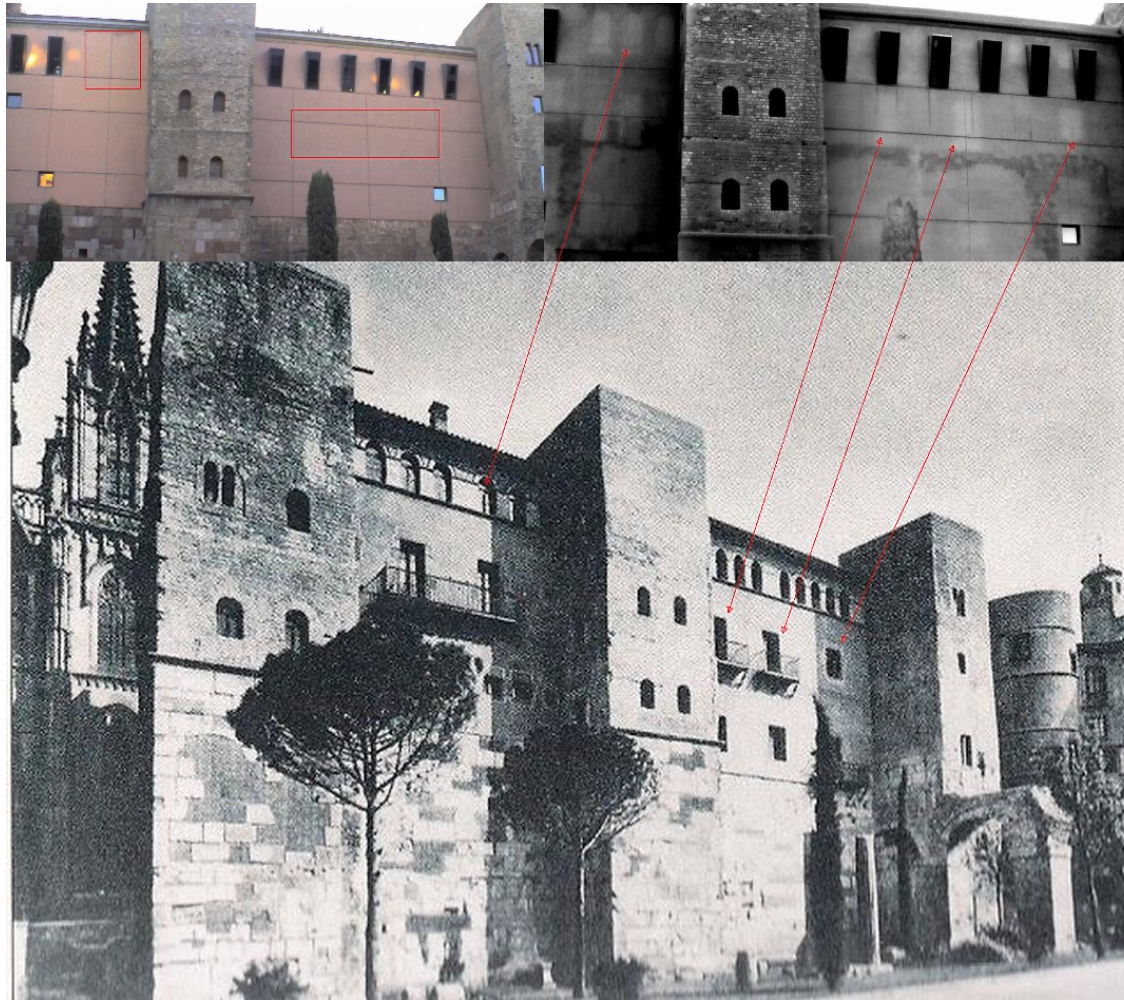
Isolasi (Kebocoran)



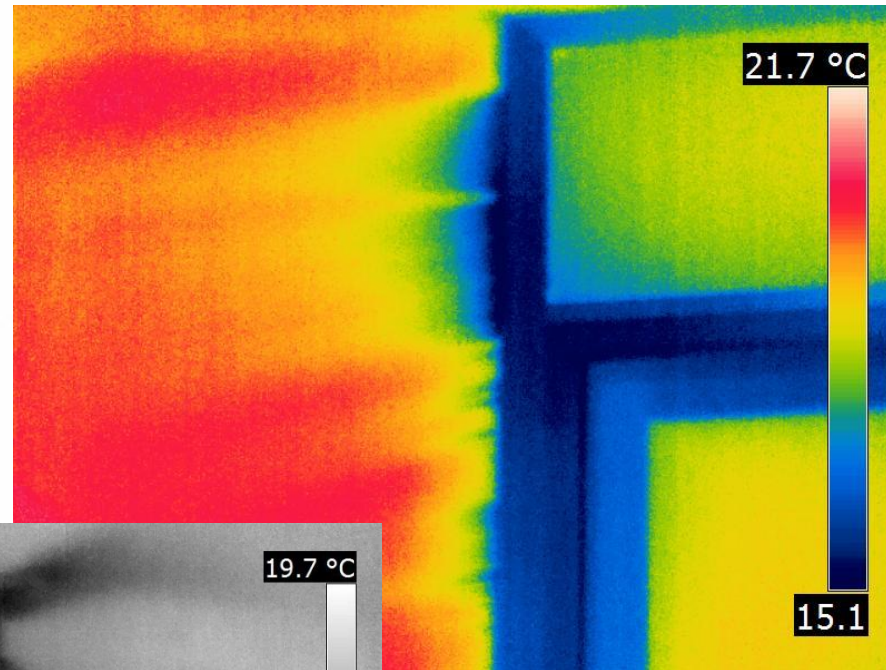
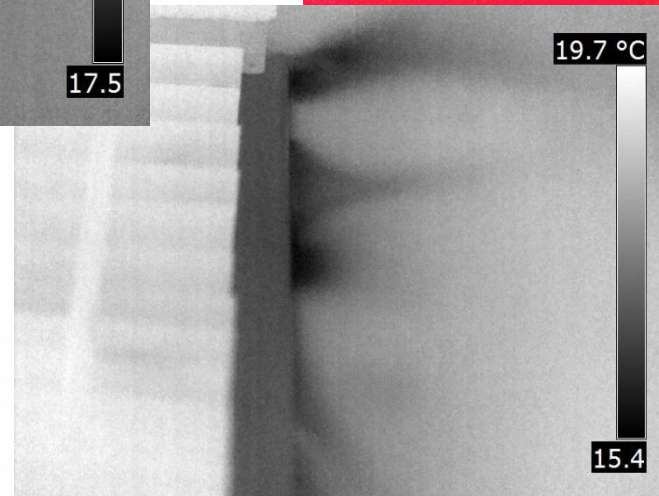
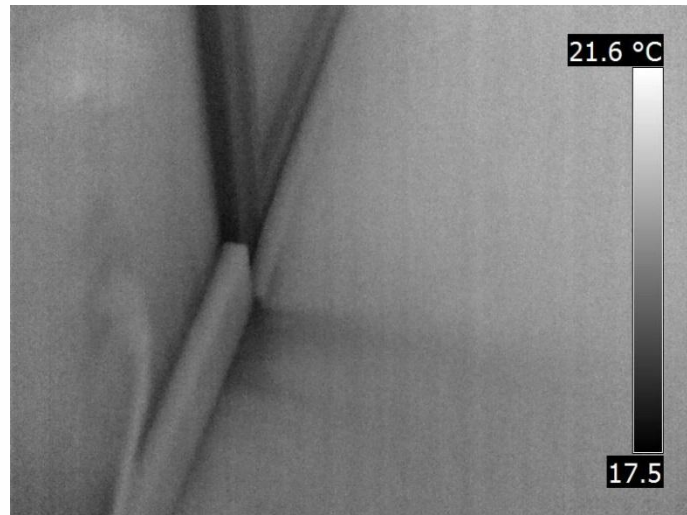
Locasi modifikasi



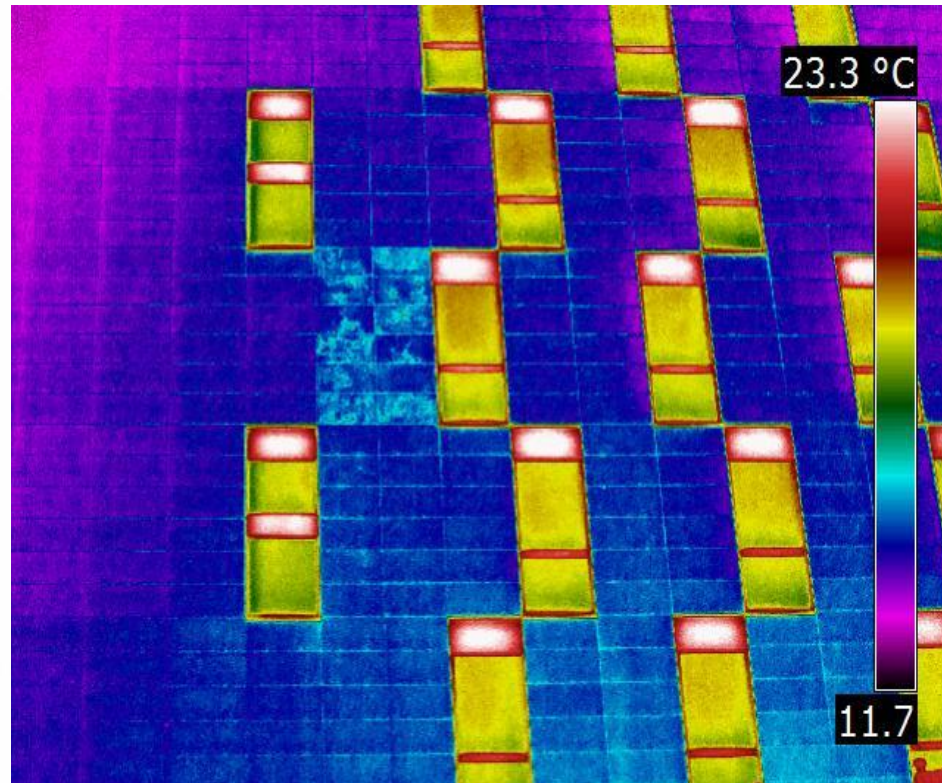
Locasi modifikasi



Locasi infiltrasi



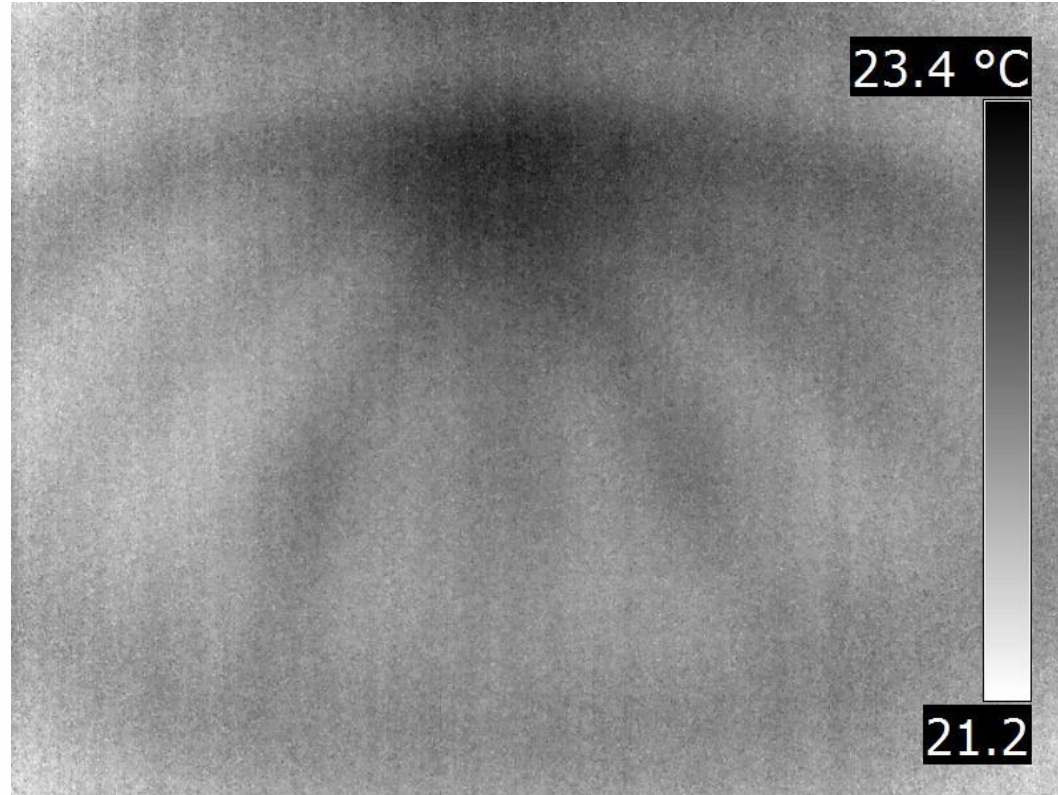
Evaluasi Pemasangan



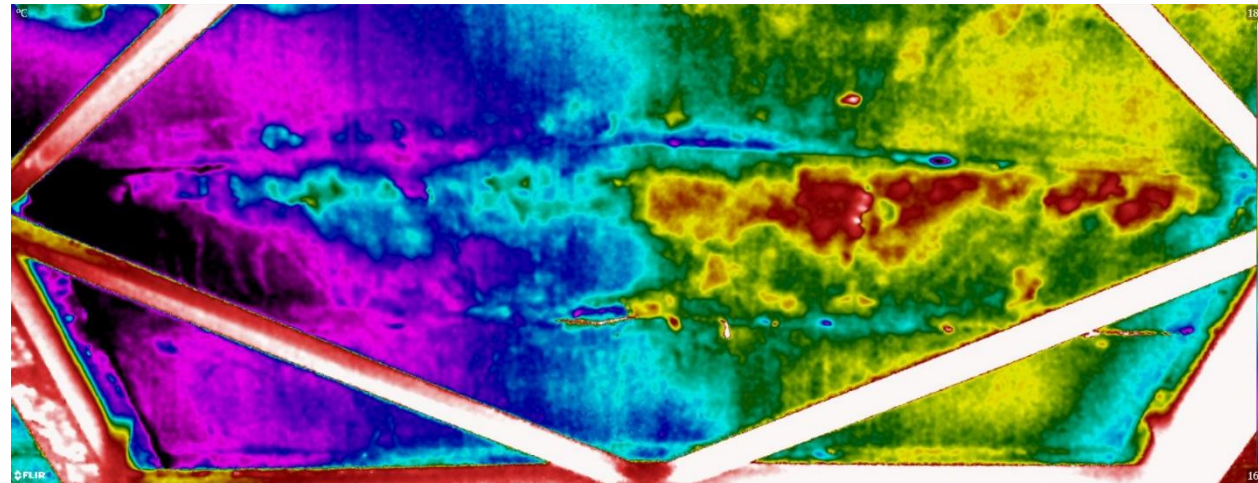
Locasi Barang-barang tersembunyi



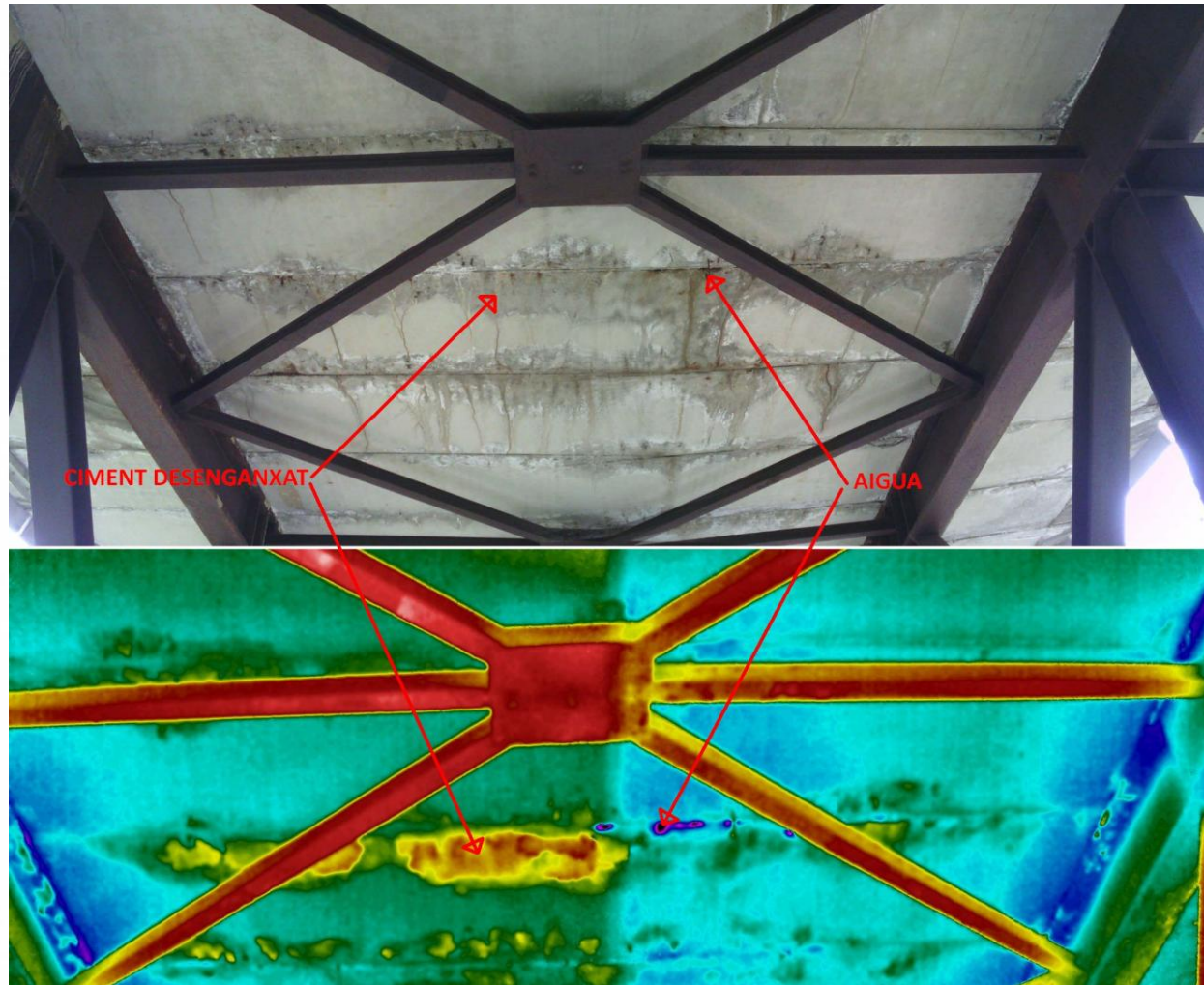
Locasi element struktur



Locasi Kelembaban



Lokasi Korosi



RANGKUMAN

- **Prinsip Dasar**

Termografi didasarkan pada fenomena perpindahan panas melalui **konduksi, konveksi, dan radiasi**, yang menghasilkan perbedaan temperatur pada permukaan material.

- **Deteksi Anomali**

Perbedaan pola atau distribusi temperatur dapat digunakan untuk mengidentifikasi kondisi tersembunyi, seperti **delaminasi, rongga, retak internal, kelembaban, infiltrasi, korosi, dan elemen struktur tersembunyi**.

- **Peran Emisivitas**

Emisivitas merupakan parameter penting dalam pengukuran temperatur. Pengaturan yang tidak tepat dapat menyebabkan kesalahan interpretasi akibat pengaruh **pantulan radiasi lingkungan**.

RANGKUMAN

- **Keunggulan Metode**

Inspeksi dapat dilakukan secara **cepat, tanpa kontak, mencakup area luas, tidak merusak, dan memungkinkan pemeriksaan dari jarak aman.**

- **Faktor yang Mempengaruhi Akurasi**

Hasil inspeksi dipengaruhi oleh **emisivitas material, kondisi lingkungan, pantulan, rentang temperatur, fokus kamera, dan kemampuan operator.**

- **Manfaat dan Aplikasi**

Termografi mendukung **deteksi dini kerusakan, evaluasi kondisi struktur, identifikasi kelembaban dan kebocoran, serta pemeliharaan prediktif** untuk meningkatkan keselamatan dan keandalan infrastruktur.

LATIHAN SOAL

1. Suatu struktur beton gedung mengalami delaminasi di bawah permukaan yang tidak terdeteksi oleh inspeksi visual. Mengapa teknik termografi inframerah mampu memvisualisasikan cacat tersembunyi tersebut?
- A. Kamera termal memancarkan gelombang inframerah yang menembus beton hingga ke area internal.
 - B. Perbedaan konduktivitas dan inersia termal material menyebabkan terjadinya gradien temperatur di permukaan.
 - C. Cacat delaminasi secara otomatis menaikkan emisivitas permukaan beton menjadi mendekati nilai benda hitam.
 - D. Kamera termal mengukur kalor total yang tersimpan di dalam ruang udara delaminasi secara langsung.

LATIHAN SOAL

2. Menurut Persamaan Stefan-Boltzmann ($E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$), jika temperatur mutlak (T) dari suatu benda riil dinaikkan menjadi dua kali lipat (dalam Kelvin) dengan emisivitas konstan, maka daya radiasi termal (E) yang dipancarkan akan meningkat sebesar...

- A. 2 kali lipat
- B. 4 kali lipat
- C. 8 kali lipat
- D. 16 kali lipat

LATIHAN SOAL

3. Dalam inspeksi pemeliharaan prediktif (predictive maintenance) pada komponen instalasi listrik tersembunyi (seperti kabel atau sambungan listrik), indikasi utama dari adanya bahaya kerusakan/kegagalan sistem adalah...

- A. Munculnya pola warna seragam pada seluruh panjang kabel
- B. Peningkatan temperatur lokal yang signifikan (overheating) akibat resistansi tinggi/faulty connection
- C. Penurunan daya emisi radiasi secara drastis pada sambungan kabel
- D. Terjadinya perubahan wujud konveksi udara menjadi radiasi murni

LATIHAN SOAL

2. Sebuah batang logam silinder panjang digunakan untuk menyalurkan panas. Jika Panjang batang (L) dilipatgandakan menjadi dua kali lipat sedangkan luas penampang (A) dan perbedaan suhu ($T_1 - T_2$) dijaga tetap, bagaimana besar laju perpindahan panas konduksi (P) berdasarkan persamaan $P = (k \cdot A(T_1 - T_2)) / L$?

- A. Berkurang menjadi setengah dari semula ($1/2 P$)
- B. Meningkatkan menjadi dua kali lipat ($2 P$)
- C. Meningkatkan menjadi empat kali lipat ($4 P$)
- D. Tetap konstan karena nilai konduktivitas (k) tidak berubah

Terima Kasih

Atas Perhatian Anda