

PENGARUH *EMISSIVITY* TERHADAP HASIL PENGUKURAN PADA SISTEM DENGAN MENGGUNAKAN KAMERA INFRAMERAH

Deddy Kurniajaya (L2F0 96 575)

Emissivity suatu objek adalah nilai perbandingan energi yang diradiasikan oleh objek (dalam bentuk gelombang elektromagnet; sebagian besar dalam ranah inframerah) terhadap energi yang diradiasikan oleh benda hitam (*blackbody*) pada suhu dan panjang gelombang yang sama. Nilainya antara 0 dan 1. Kamera inframerah dapat digunakan untuk mengukur suhu objek dengan mendeteksi radiasi energi inframerah tersebut. Namun, pada suhu dan panjang gelombang yang sama, objek-objek yang memiliki nilai *emissivity* yang berbeda meradiasikan inframerah dengan intensitas yang berbeda. Pengaturan kamera inframerah yang tidak disesuaikan dengan *emissivity* objek yang diukur akan menghasilkan kesalahan hasil ukur. Sehingga, *emissivity* merupakan faktor penting yang harus diperhatikan dalam pengukuran menggunakan kamera inframerah.

I. PENDAHULUAN

Strategi pemeliharaan perangkat industri ada 3 yaitu perbaikan, pemeliharaan rutin dan *Predictive Maintenance*. Parameter perbaikan adalah kerusakan yang terjadi. Sedangkan pemeliharaan rutin menggunakan waktu sebagai parameter. Di dalam *Predictive Maintenance*, kondisi perangkat menjadi parameternya, seperti getaran, performansi, suhu dan lain-lain. *Thermography* menjadi satu teknik *Predictive Maintenance* yang menggunakan suhu sebagai parameter. *Thermography* adalah teknik pemantauan kondisi dimana dengan pengukuran suhu dan / atau pola suhu yang diradiasikan oleh suatu objek, dapat digunakan untuk menduga adanya gejala kerusakan pada objek tersebut^[14]. Satu alat yang digunakan dalam teknik *Thermography* adalah kamera inframerah.

Satu sifat objek yang penting dalam pengukuran suhu menggunakan kamera inframerah adalah *emissivity*. Nilai *emissivity* objek menunjukkan tingkat kemampuan objek untuk merepresentasikan energi panas yang dikandungnya dalam bentuk radiasi gelombang elektromagnet (sebagian besar dalam ranah inframerah). Jadi, objek dengan nilai *emissivity* lebih besar akan meradiasikan inframerah dengan intensitas yang lebih tinggi dari objek dengan *emissivity* lebih rendah pada suhu yang sama. Untuk itulah, kamera inframerah dilengkapi dengan fungsi pengaturan *emissivity* untuk mencocokkan dengan *emissivity* objek yang diukur untuk mendapatkan suhu objek yang benar.

Namun, dalam banyak kasus, objek yang diukur lebih dari satu dengan *emissivity* yang berbeda-beda pula. Sehingga, perbedaan *emissivity* kamera inframerah dan objek tidak bisa dihindari. Otomatis, terjadi kesalahan pengukuran yang bisa mengarahkan kita pada analisa dan hipotesa yang salah.

Dari uraian singkat di atas, sekilas terlihat bahwa *emissivity* adalah faktor yang penting untuk diperhatikan. Oleh karena itu, perlu untuk meneliti pengaruh *emissivity* terhadap hasil pengukuran kamera inframerah khususnya dalam hal suhu maupun *thermogram* (gambar panas)-nya.

II. DASAR TEORI

KONDUKSI, KONVEKSI DAN RADIASI

Semua objek yang ada di alam semesta cenderung untuk menyamakan suhunya dengan suhu lingkungan. Sehingga, terjadilah proses serah terima kalor yang akan berhenti saat kesamaan suhu tercapai (Azas Black)^[5]. Ada 3 macam proses alih kalor yaitu konduksi, konveksi dan radiasi.

- Konduksi

Alih kalor pada konduksi terjadi akibat posisi partikel yang berdekatan. Energi kinetik partikel yang bersuhu lebih tinggi akan berpindah ke partikel yang bersuhu yang lebih rendah oleh karena proses tumbukan.

- Konveksi

Konveksi dapat terjadi pada fluida seperti air dan udara. Panas yang dikandung menyebabkan berat jenis partikel menurun sehingga ruangnya ditempati oleh partikel yang lebih berat. Selama pergerakannya, partikel panas tersebut mengalami konduksi dengan partikel yang bersinggungan dengannya. Ciri konveksi adalah alih kalor disertai dengan pergerakan partikel.

- Radiasi

Panas yang dikandung oleh objek dapat dimanifestasikan dalam gelombang elektromagnet yang terdiri dari paket-paket energi yang disebut foton. Foton ini akan mengeksitasi elektron objek yang dikenainya sehingga memiliki tingkat energi yang lebih tinggi. Radiasi tidak memerlukan medium untuk alih kalornya.

TERMOMETER (*THERMOMETER*)

Alat untuk mengukur suhu disebut termometer. Berdasarkan teknik akuisisinya, ada 2 jenis termometer yaitu termometer sentuh (*contact thermometer*) dan termometer tak sentuh (*non-contact thermometer*).

a. Termometer sentuh

Akuisisi data diperoleh dengan konduksi antara sensor dan objek yang diukur. Energi yang tercuplik digunakan untuk memuaikan volume

fluida (termometer raksa), mengubah tahanan sensor (*Resistance Temperature Detector, Thermistor*) atau untuk mengubah tegangan keluaran (*Thermocouple, Integrated Circuit*).

b. Termometer tak sentuh

Prinsip akuisisinya dengan memanfaatkan radiasi foton dari objek yang diukur. Foton tersebut akan mengeksitasi elektron sensor. Beberapa contoh sensor yang digunakan pada termometer tak sentuh ditunjukkan oleh tabel 2.1.

Tabel 2.1 Sensor yang digunakan pada termometer tak sentuh

TIPE	PRINSIP KERJA	BAHAN	KARAKTERISTIK
Panas	konduksi	<i>thermistor</i>	Tanggapan tidak tergantung panjang gelombang, rendah & lambat;
	gaya gerak listrik	<i>bolometer</i>	Relatif murah
	<i>pyroelectric</i>	TGS, PbTiO ₃ , LiTaO ₃	
Kuantum	<i>photoconductive</i>	HgCdTe, InSb, PbSe, Ge, Au, PbS	Memerlukan pendinginan Tanggapan tergantung panjang gelombang, tinggi & cepat;
	<i>photoelectromotive force</i>	InAs, InSb, HgCdTe	Relatif mahal

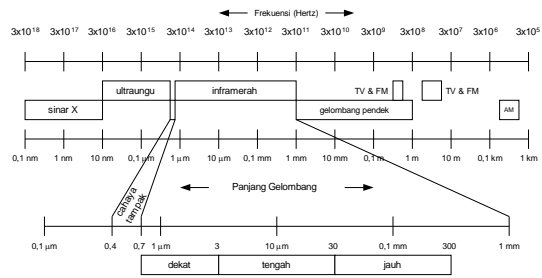
Perbandingan kedua jenis termometer tersebut ditunjukkan tabel 2.2.

Tabel 2.2 Perbandingan termometer sentuh dan tak sentuh

KETERANGAN	SISTEM SENTUH	SISTEM TAK SENTUH
Syarat untuk mendapatkan hasil yang tepat	<ol style="list-style-type: none"> Kontak yang baik antara detektor dan objek. Suhu objek harus tidak berubah tidak akibat kontak. 	<ol style="list-style-type: none"> <i>Emissivity</i> objek harus diketahui dengan tepat. Energi radiasi objek harus cukup besar untuk terdeteksi. Menghilangkan gangguan lingkungan.
Kelebihan	<ol style="list-style-type: none"> Dapat digunakan untuk mengukur suhu bagian dalam objek. Syarat mendapatkan ketepatan ukur relatif mudah dipenuhi. 	<ol style="list-style-type: none"> Sama sekali tidak mempengaruhi objek yang diukur. Dengan sistem optik, objek yang kecil dapat diukur. Dapat digunakan untuk mengukur objek bergerak. <i>Transient</i> suhu yang terjadi dapat terdeteksi. Dapat digunakan untuk mengukur luasan.
Kekurangan	<ol style="list-style-type: none"> Tidak dapat digunakan untuk mengukur objek yang cukup kecil. Tidak dapat digunakan untuk mengukur suhu objek yang bergerak. Tidak cocok untuk mengamati <i>transient</i> suhu. Untuk pengukuran luasan diperlukan banyak detektor. 	<ol style="list-style-type: none"> Yang diukur hanya suhu permukaan objek. Jika ketepatan hasil pengukuran diperlukan maka perlu penanganan khusus.

INFRAMERAH

Gambar 2.1 menunjukkan pembagian gelombang elektromagnet menurut panjang gelombang dan frekuensinya.



Tetapi, semua gelombang elektromagnet memiliki cepat rambat di ruang hampa yang sama, yaitu 3.10^8 ms^{-1} . Hubungan antara cepat rambat, frekuensi dan panjang gelombang dinyatakan oleh persamaan 2.1.

$$c = v \cdot \lambda \tag{2.1}$$

dimana :

c : cepat rambat gelombang

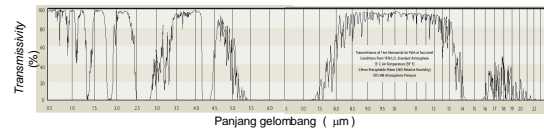
$$= 3.10^8 \text{ ms}^{-1}$$

v : frekuensi gelombang

λ : panjang gelombang

Gelombang elektromagnet yang tergolong dalam jangkauan inframerah adalah gelombang elektromagnet dengan panjang gelombang 0,78 sampai 1000 μm (dimana pada rentang ini mata telanjang tidak dapat mendeteksi).

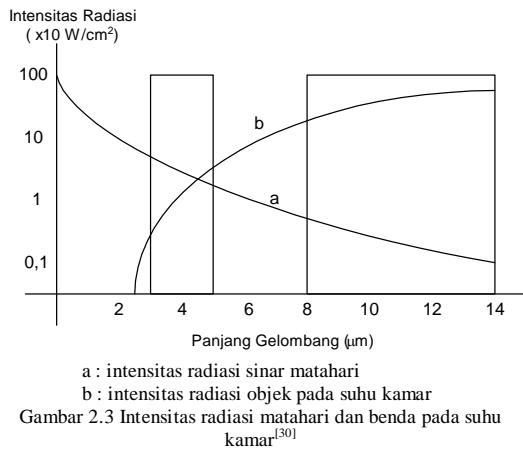
Energi inframerah cenderung diserap oleh partikel-partikel udara, khususnya uap air dan CO₂. Namun, ada daerah dalam kawasan inframerah dimana atmosfer memiliki daya serap yang kecil terhadapnya. Ini dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Transmissivity atmosfer terhadap inframerah^[22,41]

Transmissivity menunjukkan kemampuan atmosfer untuk meneruskan inframerah. Rentang panjang gelombang dimana serapan atmosfer kecil terhadap inframerah disebut sebagai jendela atmosfer.

Matahari juga memancarkan inframerah. Gambar 2.3 menunjukkan perbandingan intensitas energi inframerah yang diradiasikan matahari dengan inframerah yang diradiasikan oleh benda-benda pada suhu kamar.



Terlihat pada gambar 2.3, intensitas radiasi matahari semakin menurun dengan membesarnya panjang gelombang. Keadaan ini berlawanan dengan intensitas radiasi yang dipancarkan benda-benda umum pada suhu kamar.

KAMERA INFRAMERAH

Kamera inframerah adalah termometer tak sentuh yang mampu mendeteksi radiasi inframerah dari objek yang diukur dan menampilkannya dalam warna yang sesuai dengan suhu objek. Radiasi inframerah yang dicuplik terletak pada rentang panjang gelombang tertentu. Suhu yang terukur adalah suhu permukaan objek. Tiga persamaan yang digunakan sebagai dasar pembuatan termometer radiasi, termasuk kamera inframerah, adalah :

1. Hukum Radiasi Planck

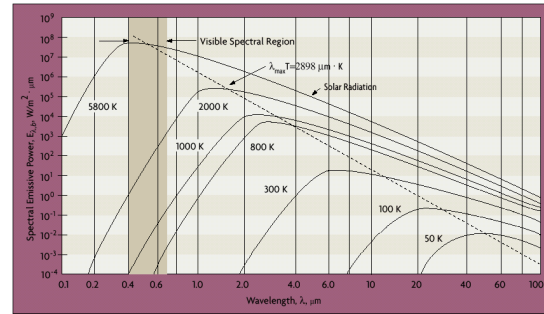
$$E(\lambda, T) = \frac{dP}{d\lambda} \frac{1}{A} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \left[e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1 \right] \quad (2.2)$$
2. Rumus Stefan-Boltzmann

$$\frac{P}{A} = \frac{2\pi^5 k^4}{15h^3 c^2} T^4 = \sigma T^4 \quad (2.3)$$
3. Hukum Pergeseran Wien

$$\lambda_{max} T = C_3 \quad (2.4)$$

- dimana :
- E(λ,T) : intensitas radiasi sebagai fungsi λ & T
 - P : daya radiasi yang dipancarkan benda hitam bersuhu T
 - A : luas penampang rambatan radiasi
 - h : tetapan Planck = 6,6256 . 10⁻³⁴ Js⁻¹
 - c : cepat rambat gelombang elektromagnet = 3 . 10⁸
 - k : tetapan Boltzmann = 1,3807 . 10⁻²³ JK⁻¹
 - σ : tetapan Stefan-Boltzmann = 5,670 . 10⁻⁸ Wm⁻²K⁻⁴
 - C₃ : tetapan Wien = 2897,7 µmK
 - λ : panjang gelombang

λ_{max} : panjang gelombang saat intensitas radiasi maksimum
 T : suhu objek
 Apabila persamaan 2.2 diplot pada setiap panjang gelombang, akan menghasilkan grafik seperti gambar 2.4.



Gambar 2.4 Distribusi intensitas energi Planck benda bersuhu T

Kamera inframerah tidak mencuplik semua energi inframerah yang diradiasikan objek, tetapi hanya pada rentang λ tertentu, sesuai dengan spesifikasi jangkauan spektrumnya. Spesifikasi utama kamera inframerah adalah sebagai berikut.

- a. Jangkauan Spektrum (=Spectral Range)

Yaitu panjang gelombang inframerah yang efektif diolah oleh kamera inframerah. Berdasarkan jangkauan spektrumnya, kamera inframerah dibagi menjadi 2 jenis^[22] :

 - **Kamera inframerah panjang gelombang pendek (Short-wavelength InfraRed Camera)**
 Menggunakan panjang gelombang efektif 3-5 µm. Sesuai gambar 2.4, kamera jenis ini relatif lebih sensitif terhadap suhu tinggi.
 - **Kamera inframerah panjang gelombang panjang (Long-wavelength InfraRed Camera)**
 Menggunakan panjang gelombang efektif 8-12 µm dan relatif lebih sensitif terhadap suhu rendah.

Dua jenis kamera tersebut juga didasarkan pada gambar 2.2 dimana serapan atmosfer terhadap inframerah pada rentang 3-5 dan 8-12 µm kecil.
- b. Jangkauan Pengukuran Suhu (=Temperature Measurement Range)

Yaitu jangkauan suhu yang bisa diukur oleh kamera inframerah.
- c. Sensitivitas (=Sensitivity)

Yaitu kemampuan kamera inframerah untuk membedakan perubahan tingkat energi radiasi objek yang dinyatakan dalam perubahan suhu ukur.
- d. Tanggapan (=Responsivity)

Yaitu perbandingan tegangan keluaran yang dihasilkan oleh transducer dengan energi inframerah total yang diterima oleh sensor yang bersangkutan tanpa memperhitungkan derau (=noise).
- e. Noise Equivalent Power (NEP)

Yaitu nilai yang menyatakan energi minimum yang dapat dideteksi oleh sensor dengan S/N ratio energi yang datang tersebut sama dengan 1.

f. Resolusi (=Resolution)

Yaitu perbedaan terkecil yang dapat diukur antara 2 tempat yang berdekatan. Atau, dengan kata lain, bisa juga menyatakan derajat rincian (*fineness of detail*). Ada 2 jenis resolusi, yaitu :

- **Resolusi Suhu (=Thermal Resolution)**

Perbedaan terkecil tersebut adalah dalam hal suhu. Sebagai contoh, sebuah kamera inframerah memiliki resolusi suhu 0,1 °C pada suhu 30 °C. Berarti, pada suhu ukur 30 °C, perbedaan suhu yang bisa diukur sebesar 0,1 °C. Resolusi suhu dipengaruhi juga oleh resolusi urai.

- **Resolusi Urai (=Spatial Resolution)**

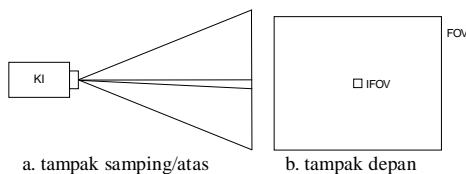
Perbedaan terkecilnya adalah dalam hal ruang. Yaitu menyatakan tingkat rincian (*fineness of detail*) dari *thermogram* yang dihasilkan. Atau, dengan kata lain, ukuran terkecil objek yang bisa diurai oleh kamera inframerah. Resolusi urai sangat dipengaruhi oleh ukuran elemen sensor. Untuk memperoleh resolusi urai yang tinggi diperlukan elemen sensor yang kecil. Resolusi urai sering juga disebut sebagai *Instantaneous Field of View* (IFOV). IFOV yang kecil menunjukkan resolusi yang tinggi sehingga akan menghasilkan *thermogram* yang terperinci secara geometri.

g. Ketepatan (=Accuracy)

Yaitu ukuran yang menunjukkan seberapa dekat nilai suhu yang terukur oleh kamera inframerah dengan suhu yang sebenarnya.

h. Bidang Pandang (=Field of View [FOV])

Yaitu wilayah pandang atau ukur dari kamera inframerah yang umumnya dinyatakan dalam derajat horizontal dan vertikal. Sehingga, wilayahnya berupa segiempat seperti ditunjukkan oleh gambar 2.5.



a. tampak samping/atas

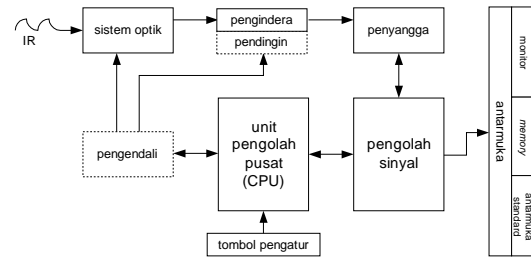
b. tampak depan

Gambar 2.5 Field of View dan Instantaneous Field of View

i. Jarak Pemfokusan (=Focal Distance)

Yaitu wilayah baca atau jarak deteksi inframerah dari kamera inframerah untuk memperoleh *thermogram* yang terfokus.

Prinsip kerja kamera inframerah adalah menangkap inframerah yang diradiasikan oleh objek, mengolahnya serta menampilkan suhu dan *thermogram* objek ukur. Pada kenyataannya, objek yang bersuhu di atas 0 Kelvin (-273,15 °C) meradiasikan inframerah. Secara garis besar, bagian-bagian utama kamera inframerah dapat ditunjukkan oleh gambar 2.6.

Gambar 2.6 Diagram blok kamera inframerah secara umum^[38, 39]

a. Sistem optik

Fungsinya :

- menghasilkan inframerah yang terfokus;
- memberikan pandangan bagi mata pemakai kamera inframerah;
- menapis inframerah pada panjang gelombang tertentu.

Secara fisik, sistem optik ini berupa susunan lensa dan atau tanpa cermin atau prisma.

b. Pengendali

Fungsinya :

- mencari posisi yang tepat bagi sistem optik supaya memberikan inframerah yang terfokus pada sensor;
- untuk menyalurkan gerak sistem optik dengan sensor saat pemindaian.

c. Sensor

Sensor adalah bagian yang memberikan tanggapan terhadap inframerah yang diterima. Jenis-jenisnya seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.1. Berdasarkan jumlah sensor yang digunakan, kamera inframerah ada 2 jenis, yaitu :

- **Kamera inframerah dengan satu sensor**

Digunakan pada kamera inframerah dengan teknik pemindaian mekanik. Bersama pengendali, sensor digerakkan untuk memindai tiap *pixel* ukur. Kelebihannya, tidak ada variasi geseran (=drift) pada tiap *pixel* ukur. Namun, untuk menghasilkan *thermogram* diperlukan waktu yang relatif lebih lama.

- **Kamera inframerah dengan lebih dari satu sensor**

Pixel ukur kamera ini sama dengan jumlah sensor yang digunakan. Waktu pembentukan *thermogram* relatif lebih singkat. Posisi antar sensor yang dekat menyebabkan efek mengembang (=blooming) dimana antar sensor mempengaruhi penginderaan.

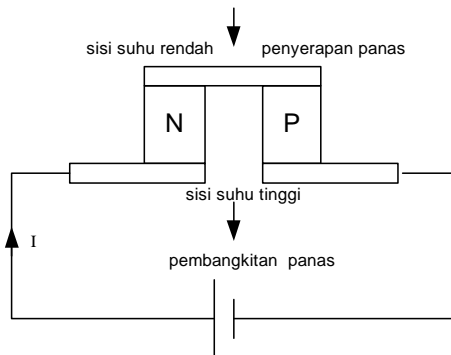
d. Pendingin

Pendingin digunakan untuk mendinginkan sensor supaya tingkat sensitivitasnya dapat dijaga pada jangkauan pengukuran suhu kamera. Ada beberapa sistem pendinginan yang digunakan pada kamera inframerah.

- Menggunakan gas cair

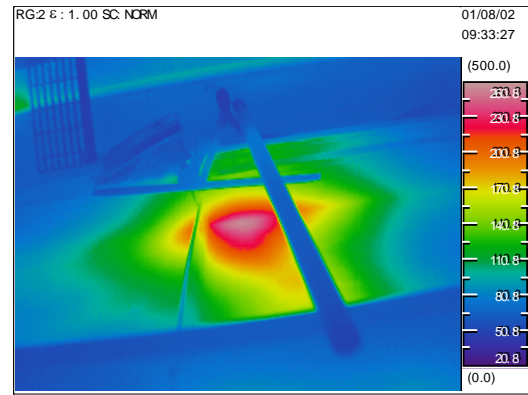
Gas yang digunakan adalah nitrogen atau argon. Pendinginan yang dihasilkan bisa mencapai 77 K.

- Pendinginan *Stirling*
Sistem pendinginan *Stirling* memodifikasi sistem pendinginan menggunakan gas cair dengan dipadukan sistem mekanik sehingga lebih bebas perawatan. Namun, suhu pendinginannya lebih tinggi dari gas cair.
- Pendinginan *thermoelectric*
Pendinginan *thermoelectric* memanfaatkan efek *Peltier* yaitu : jika dua penghantar atau semikonduktor yang berbeda jenis dihubungkan dan dialiri arus listrik searah maka salah satu sambungan akan menyerap kalor dan sambungan yang lain akan melepas kalor. Gambar 2.7 menunjukkan satu elemen pendingin *Peltier*.

Gambar 2.7 Prinsip pendinginan *Peltier*

Efek *Peltier* sifatnya dapat balik (=reversible), artinya jika arah arus dibalik, sisi suhu rendah dan tingginya juga berubah. Dengan merangkaikan beberapa elemen, efek pendinginan dapat lebih besar. Suhu pendinginan yang bisa dihasilkan oleh elemen ini hanya 200 K.

- e. Penyangga
Penyangga berfungsi untuk menguatkan sinyal listrik yang dihasilkan oleh transducer supaya cukup kuat untuk diolah oleh bagian selanjutnya.
 - f. Pengolah sinyal
Sinyal yang masuk diolah untuk dihitung suhu dan pemetaan *thermogram*-nya.
 - g. Unit Pengolah Pusat (CPU)
Sebagai pengendali operasi bagian yang memerlukan operasi otomatis dan penyedia data yang diperlukan oleh pengolah sinyal.
 - h. Antarmuka (=Interface)
Sebagai jembatan antara perangkat penampil, penyimpan data atau antarmuka standar dengan perangkat utama.
 - i. Tombol pengatur
Sebagai antarmuka mesin dengan manusia (*Man Machine Interface*) dalam pengaturan operasi kamera inframerah.
- Pola konduksi yang dapat dideteksi oleh kamera inframerah ditunjukkan oleh gambar 2.8.



a. Thermogram



b. Gambar Visual

Gambar 2.8 Contoh pola konduksi yang dihasilkan kamera inframerah

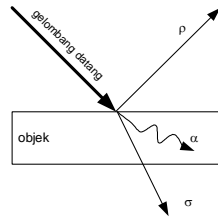
Pada sisi kanan gambar 2.8.a terdapat gradasi warna yang disesuaikan dengan skala suhu. Tiap *pixel* warna pada *thermogram* mewakili satu nilai suhu. Terlihat pada gambar 2.8.a, pusat panas terletak pada area yang berwarna abu-abu. Akibat konduksi, kalor merambat disertai dengan penurunan energi panas sehingga pada *thermogram* diikuti dengan perubahan warna yang menunjukkan penurunan suhu menurut arah radial keluar.

Kamera inframerah tidak mampu mendeteksi konveksi panas pada udara karena kerapatan udara yang kecil.

III. FAKTOR PENYEBAB KESALAHAN HASIL PENGUKURAN KAMERA INFRAMERAH

EMISSIVITY SEBAGAI SALAH SATU FAKTOR PENYEBAB KESALAHAN HASIL PENGUKURAN KAMERA INFRAMERAH

Infra merah yang datang pada suatu objek akan ditanggapi dalam 3 kemungkinan yaitu dipantulkan, diserap atau diteruskan seperti diilustrasikan pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Tanggapan objek terhadap inframerah

Kemampuan objek untuk menyerap inframerah disebut *absorptivity* (α), memantulkan inframerah disebut *reflectivity* (ρ) dan meneruskan inframerah disebut *transmissivity* (σ). Secara matematis, ketiga sifat tersebut dapat dinyatakan dengan :

$$\alpha = \frac{\text{energi terserap}}{\text{energi datang}} \quad \rho = \frac{\text{energi terpantul}}{\text{energi datang}} \quad \sigma = \frac{\text{energi diteruskan}}{\text{energi datang}}$$

Ketiganya bernilai 0 sampai 1 dan sebanding dengan energi inframerah yang datang. Untuk objek yang tidak tembus inframerah, persamaan umum yang menghubungkan antara α dan ρ seperti ditunjukkan persamaan 3.1.

$$\alpha + \rho = 1 \tag{3.1}$$

Pada kenyataannya, kemampuan objek untuk menyerap inframerah sama dengan kemampuan objek untuk meradiasikannya. Kemampuan objek untuk meradiasikan inframerah disebut sebagai *emissivity* (ϵ). *emissivity* suatu objek diperoleh dari perbandingan antara energi inframerah yang diradiasikan oleh objek tersebut dengan energi inframerah yang diradiasikan oleh benda hitam (*blackbody*) pada suhu dan panjang gelombang yang sama^[14]. Sehingga, persamaan 3.1 dapat diganti dengan persamaan 3.2.

$$\epsilon + \rho = 1 \tag{3.2}$$

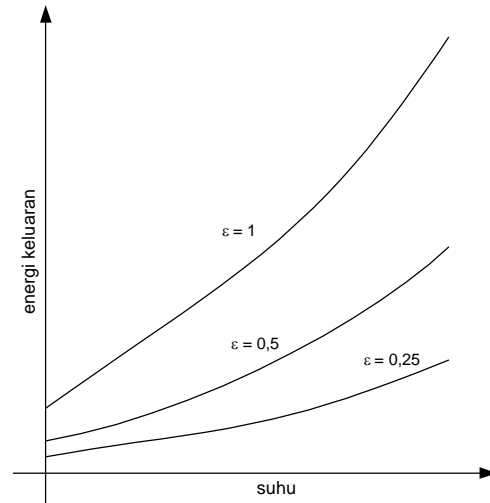
Pada kenyataannya, tidak ada objek yang merupakan benda hitam dimana memiliki nilai $\epsilon = 1$ ^[6, 33]. Pada suhu dan panjang gelombang yang sama, objek dengan ϵ lebih besar akan meradiasikan inframerah dengan intensitas yang lebih besar.

Kesalahan hasil pengukuran dipengaruhi oleh 4 faktor seperti ditunjukkan pada persamaan 3.3.

$$\Delta T_{\text{sistem}} = \Delta T_{\epsilon} + \Delta T_{\text{transmisi}} + \Delta T_{\text{lingkungan}} + \Delta T_{\text{alat}} \tag{3.3}$$

- ΔT_{sistem} : kesalahan hasil pengukuran
 - ΔT_{ϵ} : kesalahan ukur karena *emissivity*
 - $\Delta T_{\text{transmisi}}$: kesalahan ukur karena jalur rambatan
 - $\Delta T_{\text{lingkungan}}$: kesalahan ukur karena lingkungan
 - ΔT_{alat} : kesalahan ukur karena alat
- Keempat nilai tersebut dapat bernilai positif maupun negatif. Yang akan dibahas lebih lanjut adalah ΔT_{ϵ} .

Berdasarkan hasil pengukuran yang telah dilakukan, besar sinyal keluaran transducer sebanding dengan nilai *emissivity* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.2.

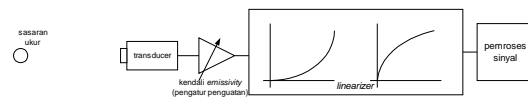


Gambar 3.2 Grafik energi keluaran transducer terhadap suhu

Pada suhu yang sama, objek dengan $\epsilon = 1$ menghasilkan energi keluaran 2 kali objek dengan $\epsilon = 0,5$. Demikian pula antara objek dengan $\epsilon = 0,5$ dan $\epsilon = 0,25$. Sehingga, jika penguatan sinyal kamera inframerah tidak disesuaikan maka dapat menyebabkan kesalahan ukur.

KOREKSI EMISSIVITY

Misalkan sebuah kamera inframerah sudah diatur untuk pengukuran permukaan objek yang memiliki $\epsilon = 1$. Kemudian digunakan untuk mengukur permukaan dengan nilai $\epsilon = 1$. Tentu, ΔT_{sistem} sama dengan nol (abaikan pengaruh ketiga faktor yang lain dalam persamaan 3.3). Kemudian, kamera inframerah yang sama digunakan untuk mengukur suhu permukaan objek dengan nilai $\epsilon = 0,5$ dengan suhu sama dengan objek sebelumnya. Tentu hasil pengukuran kedua objek di atas berbeda. Sehingga, diperlukan koreksi.

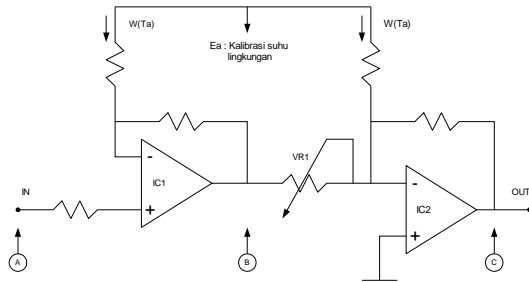


Gambar 3.3 Kendali *emissivity*

Gambar 3.3 menunjukkan diagram blok kamera inframerah yang dilengkapi dengan bagian kendali *emissivity*. Bagian kendali *emissivity* berguna untuk menyesuaikan kamera inframerah dengan *emissivity* objek yang diukur. Inti kerjanya adalah pengubahan penguatan sinyal. Gambar 3.4 adalah salah satu contoh skema umum pengatur penguatan untuk koreksi *emissivity*.

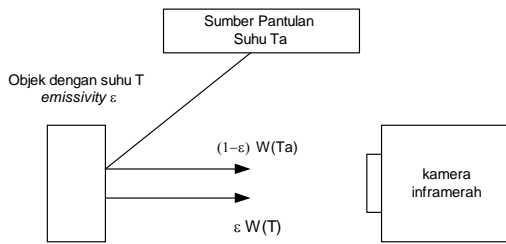
IV. PENGUJIAN DAN ANALISA *EMISSIVITY* TERHADAP HASIL PENGUKURAN MENGGUNAKAN KAMERA INFRAMERAH

Dalam pengujian dan analisa *emissivity*, akan dibahas mengenai contoh cara mendapatkan *emissivity* suatu objek menggunakan kamera inframerah. Percobaan yang kedua dimaksudkan untuk mengamati pengaruh *emissivity* objek yang tidak sesuai dengan kamera inframerah. Dan, percobaan yang ketiga dimaksudkan untuk mengamati pengaruh lingkungan terhadap suhu ukur sehubungan dengan perbedaan *emissivity* objek. Kamera inframerah yang digunakan adalah **TH7102WR** NEC San-ei Instruments, Ltd dengan spesifikasi seperti pada tabel 4.1.



Gambar 3.4 Rangkaian koreksi *emissivity*

Perhitungan energi matematis dari rangkaian gambar 3.6 adalah sebagai berikut. Misalkan suatu objek bersuhu T dengan *emissivity* = ϵ dalam lingkungan bersuhu T_a sedang diukur suhunya seperti ditunjukkan oleh gambar 3.5.



Gambar 3.5 Radiasi dan pantulan objek tak tembus inframerah

Sesuai dengan gambar 3.5, energi yang ditangkap oleh kamera inframerah adalah :

$$W(T_1) = \epsilon W(T) + (1-\epsilon)W(T_a) \quad (3.4)$$

dimana

$W(T)$: energi yang dipancarkan oleh objek bersuhu T

$W(T_a)$: energi yang dipancarkan oleh lingkungan bersuhu T_a

$W(T_1)$: energi yang diterima oleh kamera inframerah sehingga menghasilkan suhu ukur T_1

Mengacu pada gambar 3.4, $W(T_1)$ masuk di titik A. Dengan mengatur sinyal E_a maka dapat diperoleh sinyal $W(T_a)$ yang masuk ke masukan lain dari IC1 yang menghasilkan sinyal di titik B :

$$W_B = \epsilon [W(T) - W(T_a)] \quad (3.5)$$

Dengan pengaturan VR1 pada gambar 3.4, kita dapat memperoleh penguatan sebesar $1/\epsilon$ untuk masukan IC2 di titik B. Penambahan $W(T_a)$ pada percabangan masukan IC2 akan menghasilkan keluaran di titik C sebesar $W(T)$ yaitu energi yang sebenarnya ingin kita ukur.

Jadi, untuk bisa mengadakan koreksi *emissivity* diperlukan nilai ϵ objek dan suhu lingkungan T_a .

Tabel 4.1 Spesifikasi TH7102WR NEC San-ei Instruments, Ltd^[39]

SPEKIFIKASI	KETERANGAN
<i>Temperature Measurement Range</i>	Range 1 : -40 - 120 °C
	Range 2 : 0 - 500 °C
	Range 3 : 0 - 2000 °C
<i>Resolution (Minimum detectable temperature difference)</i>	Normal mode : 0,1 °C at 30 °C, Range 1
	: 0,6 °C at 30 °C, Range 2
	Fast mode : 0,2 °C at 30 °C, Range 1 : 1,0 °C at 30 °C, Range 2
<i>Accuracy</i>	±2% (<i>Range full-scale</i>)
<i>Spectral Range</i>	8 - 14 μm
<i>Detector</i>	UFPA <i>microbolometer</i> VO ₂
<i>Field of View (FOV)</i>	29° (H) x 22° (V)
<i>Instantaneous FOV</i>	1,58 mrad
<i>Focusing Range</i>	50 cm to infinity
<i>Frame Time</i>	1/7,5 sec at <i>Normal mode</i> (1/30 at <i>Fast Mode</i>)
<i>Image Pixels</i>	320 (H) x 240 (V)
<i>A/D Resolution</i>	14 bits

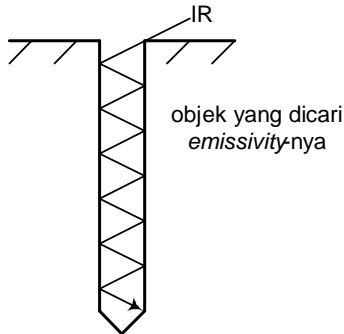
TH7102WR dilengkapi dengan fungsi :

- 10 titik pengukuran dalam satu *thermogram*;
- koreksi *emissivity* dari 0,10 sampai 1,00 dengan langkah 0,01;
- *Run/freeze* untuk mengaktifkan atau menghentikan pemindaian;
- *Max/Min* untuk mencari titik suhu tertinggi atau terendah;
- *Personal Computer Memory Card International Association (PCMCIA) card* sebagai media simpan;
- perangkat lunak untuk pengolahan data.

MENDAPATKAN *EMISSIVITY* OBJEK

Emissivity beberapa bahan dapat diperoleh dari tabel *emissivity* yang telah dibuat berdasarkan percobaan di laboratorium. Namun, nilai yang diperoleh disertai data pada panjang gelombang dan suhu tertentu yang seringkali tidak cocok dengan kondisi di lapangan. Sehingga, harus dilakukan percobaan sendiri yang disesuaikan dengan kondisi yang diinginkan.

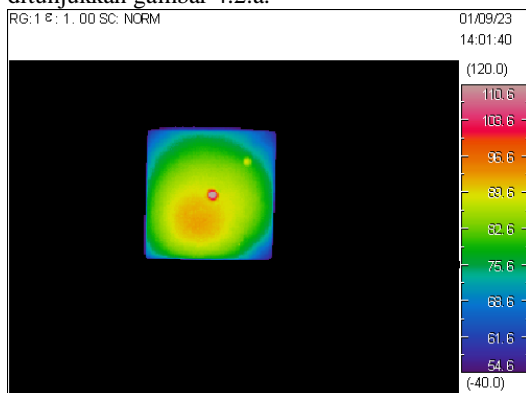
Cara mendapatkan *emissivity* objek adalah menyamakan suhu ukur objek dengan suhu benda hitam. Satu pendekatan benda hitam ditunjukkan gambar 4.1.



Gambar 4.1 Lubang kecil panjang sebagai pendekatan benda hitam^[33,37]

Prinsip kerja lubang ini adalah dengan memantulkan secara berulang-ulang inframerah yang masuk ke dalamnya sehingga tidak diharapkan semua inframerah yang masuk tidak ada yang terpantul keluar. *Emissivity* efektif lubang ini tergantung pada perbandingan panjang dan jari-jari lubang. Semakin besar, nilai $\epsilon_{\text{efektif}}$ semakin besar.

Penulis menggunakan semen yang dipadatkan lebih dulu, berbentuk prisma tegak sebagai objek ukur. Kemudian, penampang atasnya dilubangi dengan mata bor berdiameter 6 mm dan panjang lubang lebih dari 3 cm. (Sebagai perbandingan, bahan dengan $\epsilon = 0,5$ dan perbandingan panjang dan jari-jari lubang 10:1 akan menghasilkan lubang dengan $\epsilon_{\text{efektif}} 0,999$ ^[37].) Semen dipanaskan pada suhu minimal 30 °C di atas suhu lingkungan untuk mengurangi pengaruh lingkungan. *Thermogramnya* ditunjukkan gambar 4.2.a.



a. *Thermogram*



b. Gambar Visual

Gambar 4.2 Semen yang akan dicari nilai *emissivity*-nya

Dengan meletakkan 2 titik ukur kamera inframerah, yaitu pada lubang dan pada penampang atas semen, kita dapat menemukan *emissivity* semen seperti pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 *Emissivity* semen hasil percobaan

$t_{\text{lingkungan}} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$	Pengukuran I		Pengukuran II		Pengukuran III	
	a	x	b	x	c	x
SUHU (°C)	113,3	113,2	110,5	110,5	109,3	109,9
<i>EMISSIVITY</i>	0,63	1	0,64	1	0,63	1

Titik x adalah titik yang diletakkan pada lubang dan a pada penampang semen. Dari tabel 4.2, nilai rata-rata *emissivity* semen adalah :

$$\epsilon = \frac{0,63 + 0,64 + 0,63}{3} \cong 0,63$$

Berdasarkan tabel yang telah dibuat^[36], *emissivity* semen sebesar 0,54. Perbedaan ini karena pada tabel yang dibuat tersebut :

- wujud semen tidak disebutkan apakah dalam serbuk atau dipadatkan (permukaan objek mempengaruhi nilai *emissivity*);
- suhu pengukuran tidak disebutkan.

Kesalahan percobaan mendapatkan *emissivity* ini dapat disebabkan oleh pemanasan semen yang tidak merata, benda hitam buatan yang tidak sempurna, perubahan jarak ukur, kesalahan alat, anggapan serapan inframerah oleh udara diabaikan dan kesalahan praktikan dalam percobaan dan pengambilan data.

PENGARUH BEDA NILAI *EMISSIVITY* OBJEK DENGAN KAMERA INFRAMERAH

Dengan perubahan pengaturan *emissivity* titik ukur a kamera inframerah dari 1,00 sampai 0,10 dengan jangkah 0,10 dan mencatat suhu ukur a maka didapatkan data suhu semen seperti pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Pengaruh beda *emissivity* kamera dengan semen

Emissivity a	Suhu (°C)					
	Pengukuran I		Pengukuran II		Pengukuran III	
	a1	lubang	a2	lubang	a3	lubang
0,10	466,7	129,9	424,0	117,9	381,0	106,8
0,20	297,9	127,8	261,6	116,1	239,0	106,4
0,30	226,9	128,9	203,0	116,1	183,1	105,3
0,40	183,7	126,8	164,5	115,2	151,5	104,9
0,50	156,8	125,7	142,7	114,8	128,3	104,5
0,60	139,0	125,5	121,6	113,2	111,6	103,8
0,70	123,2	125,0	107,8	112,7	99,3	103,1
0,80	110,2	124,4	98,7	111,9	88,8	103,0
0,90	100,1	123,5	88,2	111,5	82,3	101,8
1,00	92,3	122,8	81,3	110,7	74,2	100,7
0,63	126,8	121,2	112,8	110,1	104,8	100,4

Ketiga pengukuran yang dilakukan menghasilkan kecenderungan yang sama, yaitu :

- jika ϵ_{kamera} lebih kecil dari ϵ_{semen} maka suhu terukur lebih besar dari suhu sebenarnya;
- jika ϵ_{kamera} lebih besar dari ϵ_{semen} maka suhu terukur lebih kecil dari suhu sebenarnya.

Jika dikaitkan dengan gambar 3.4, jika nilai ϵ_{kamera} semakin besar maka besar perolehan IC2 terhadap sinyal di titik B semakin kecil sehingga masih ada faktor $W(T_a)$ di titik C. Misalkan perolehan yang didapat terhadap sinyal di titik B sama dengan p maka besar sinyal di titik C W_C adalah :

$$W_C = p \cdot \epsilon [W(T) - W(T_a)] + W(T_a)$$

atau

$$W_C = p \cdot \epsilon \cdot W(T) + (1 - p \cdot \epsilon) W(T_a) \quad (4.1)$$

Dari persamaan 4.1, W_C akan sama dengan $W(T)$ jika

$p = \frac{1}{\epsilon}$. Jadi, jika $p \neq \frac{1}{\epsilon}$ maka pengaruh $W(T_a)$ masih

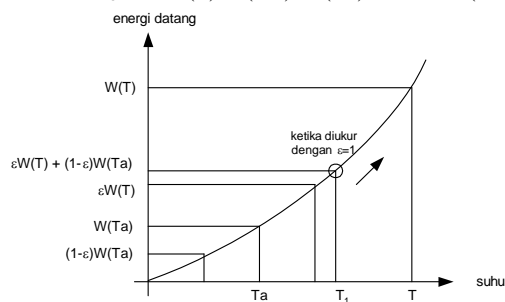
ada dengan catatan $W(T) \neq W(T_a)$.

Jika nilai *emissivity* objek adalah ϵ pada suhu T dimana $T > T_a$ (suhu lingkungan) dan kamera inframerah diatur pada *emissivity* 1 maka :

$$p = 1/1 = 1$$

dan

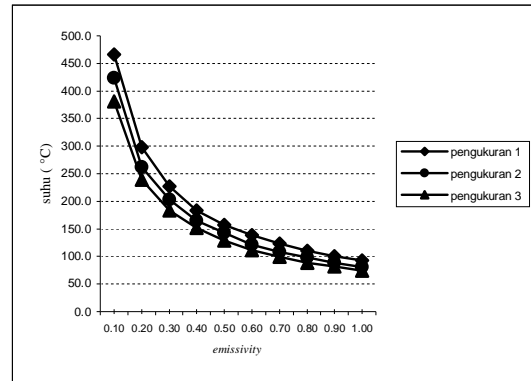
$$W_C = \epsilon W(T) + (1 - \epsilon) W(T_a) \quad (4.2)$$



Gambar 4.3 Pendekatan grafis koreksi *emissivity* jika $T > T_a$

Pendekatan grafis persamaan 4.2 ditunjukkan gambar 4.3 dimana energi W_C diterima oleh kamera inframerah dengan nilai ϵ sama dengan 1, suhu yang terukur adalah T_1 dimana T_1 lebih rendah dari T . Pengubahan *emissivity* kamera inframerah dari 1 menuju ke nilai *emissivity* objek ϵ akan mengubah nilai p menjadi lebih besar dari 1 sehingga menggeser suhu ukur T_1 ke atas hingga ke T . Jika nilai *emissivity* kamera inframerah terus diperkecil maka suhu ukur akan melebihi T sehingga suhu ukur lebih tinggi dari suhu sebenarnya.

Jika suhu tiap-tiap pengukuran diplot pada bidang suhu – *emissivity* maka didapatkan grafik sesuai gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik suhu ukur terhadap *emissivity*

Gambar 4.4 menunjukkan hubungan antara suhu dan *emissivity* yang tidak linier.

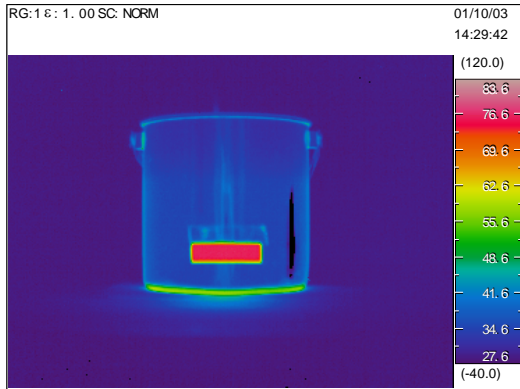
PENGARUH BEDA *EMISSIVITY* DALAM LINGKUNGAN BERSUHU LEBIH RENDAH, SAMA DENGAN DAN LEBIH TINGGI DARI SUHU OBJEK

Karena pada kenyataannya tidak ada benda hitam maka, sesuai dengan persamaan 3.2, objek tak tembus inframerah memiliki kemampuan untuk memantulkan inframerah yang datang padanya. Sehingga, inframerah yang diterima oleh kamera inframerah saat pengukuran tidak semuanya berasal dari radiasi murni objek tetapi juga ditambah dari inframerah pantulan yang dipantulkan objek ukur. Tentu, jika intensitas inframerah pantulan ini cukup besar dan tidak diantisipasi, akan menghasilkan kesalahan hasil pengukuran. Untuk membuktikan efek pantulan ini, Penulis menggunakan rantang yang terbuat dari stainless steel dan isolasi sebagai objek ukur seperti ditunjukkan pada gambar 4.5.

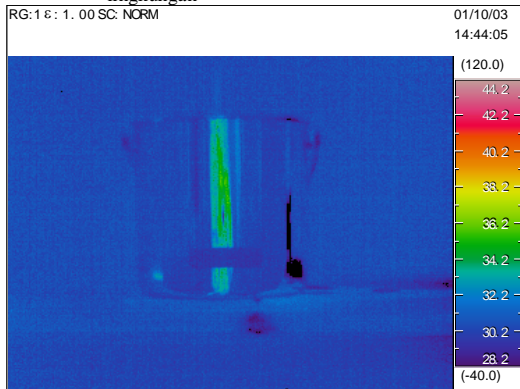


Gambar 4.5 Rantang *stainless steel* dan isolasi

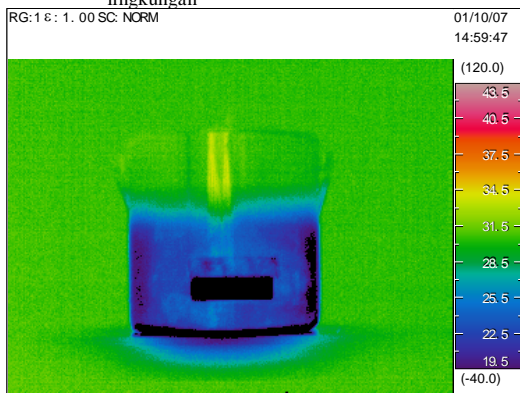
Dengan menggunakan air sebagai pengkondisi suhu objek ukur, Penulis melakukan variasi kondisi pengukuran yaitu suhu objek lebih tinggi, sama dengan dan lebih rendah dari suhu lingkungan. Hasilnya seperti ditunjukkan gambar 4.6, 4.7 dan 4.8.



Gambar 4.6 Thermogram saat suhu objek lebih tinggi dari suhu lingkungan



Gambar 4.7 Thermogram saat suhu objek sama dengan suhu lingkungan



Gambar 4.8 Thermogram saat suhu objek lebih rendah dari suhu lingkungan

Gambar 4.6 menunjukkan suhu isolasi lebih tinggi dari suhu rantang. Ini disebabkan oleh karena *emissivity* isolasi (0,95) lebih besar dari *emissivity stainless steel* (0,10). Sehingga, dalam meradiasikan energi inframerah, intensitas inframerah dari isolasi lebih besar.

Pengaruh pantulan mulai tampak gambar 4.7 dimana suhu isolasi sama dengan suhu rantang

walaupun *emissivity*-nya berbeda besar. Sesuai dengan persamaan 3.4,

$$W(T_1) = \epsilon W(T) + (1-\epsilon)W(T_a)$$

Karena $T = T_a$ maka :

$$W(T_1) = \epsilon W(T_a) + W(T_a) - \epsilon W(T_a)$$

$$W(T_1) = W(T_a) = W(T)$$

Maka, sesuai dengan persamaan 3.5, besar sinyal di titik B pada gambar 3.4 sama dengan 0. Sehingga,

$$W_C = W(T_a)$$

Ini membuktikan bahwa berapapun *emissivity* objek ukur, jika suhunya sama dengan suhu lingkungan, hasilnya selalu sama dengan suhu lingkungan.

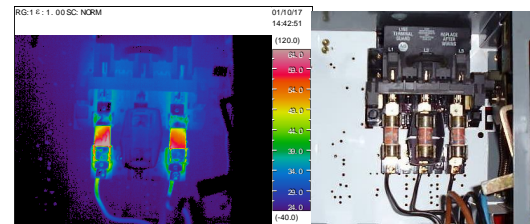
Kemudian, gambar 4.8 menunjukkan reaksi yang terbalik dengan gambar 4.6 dimana isolasi suhunya lebih rendah dari rantang meskipun *emissivity*-nya lebih besar. Ini disebabkan oleh energi inframerah lingkungan yang lebih besar dan rantang memantulkannya dalam porsi yang lebih besar daripada isolasi. Jika dikaitkan dengan persamaan 3.4 :

$$W(T_1) = \epsilon W(T) + (1-\epsilon)W(T_a) = W(T_a) - \epsilon[W(T_a)-W(T)]$$

Dengan $W(T_a) > W(T)$ (karena $T_a > T$) maka $W(T_1)_{rantang} > W(T_1)_{isolasi}$ (karena $\epsilon_{rantang} > \epsilon_{isolasi}$) yang berarti $t_{rantang} > t_{isolasi}$. Besar kecilnya perbedaan suhu ini tergantung pula besar kecilnya perbedaan *emissivity* kedua objek.

CONTOH PENGARUH EMISSIVITY PADA PENGUKURAN MENGGUNAKAN KAMERA INFRAMERAH

a. Perbedaan suhu objek karena beda nilai *emissivity*



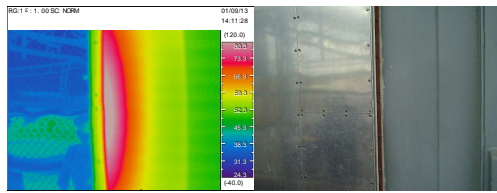
a. Thermogram

b. Gambar visual

Gambar 4.9 Beda suhu ukur karena beda *emissivity*

Gambar 4.9 menunjukkan sekring kiri yang mengalami pemanasan lebih pada kepala bawah. Namun terlihat pada gambar 4.9.a, kepala sekring bersuhu lebih rendah dari tubuh sekring. Sesuai dengan gambar 4.6, karena kedua objek bersuhu sama dan berada dalam lingkungan yang bersuhu lebih rendah, *emissivity* kepala sekring yang lebih rendah akan menghasilkan suhu ukur yang lebih rendah.

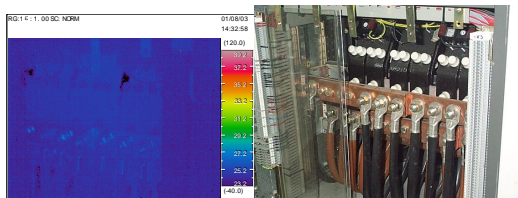
b. Pantulan yang terukur karena *emissivity* rendah



a. Thermogram b. Gambar visual
Gambar 4.10 Pantulan yang terukur karena *emissivity* rendah

Dinding belahan kiri dari gambar 4.10.b terbuat dari aluminium yang memiliki nilai *emissivity* rendah. Akibatnya, dinding ini memiliki daya pantul yang tinggi sehingga, pada saat pengukuran, inframerah yang berasal dari objek yang posisinya berlawanan terdeteksi oleh kamera inframerah.

c. Tidak berpengaruhnya *emissivity* objek dalam lingkungan yang bersuhu sama dengan objek



a. Thermogram b. Gambar visual
Gambar 4.11 Objek bersuhu sama dengan lingkungan

Sepatu kabel dan isolator kabel memiliki beda *emissivity* yang besar. Namun demikian, terlihat keduanya memiliki suhu yang sama. Juga antara bus bar yang dilapis cat hitam dengan bus bar yang tidak dicat. Gejala ini sudah dijelaskan seperti penjelasan gambar 4.7.

V. PENUTUP

5.1. KESIMPULAN

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Pada pengukuran menggunakan kamera inframerah :
 - jika ϵ_{kamera} lebih besar dari ϵ_{objek} maka suhu ukur lebih rendah dari suhu sebenarnya;
 - jika ϵ_{kamera} lebih kecil dari ϵ_{objek} maka suhu ukur lebih tinggi dari suhu sebenarnya.
 - antara suhu dan *emissivity* tidak menunjukkan hubungan yang linier.
2. Pada pengukuran objek a dan b yang bersuhu sama menggunakan kamera inframerah dimana ϵ_a lebih besar dari ϵ_b :
 - jika suhu lingkungan lebih rendah dari suhu objek maka suhu a terukur lebih tinggi dari suhu b;
 - jika suhu lingkungan sama dengan suhu objek maka suhu a terukur sama dengan suhu b;

- jika suhu lingkungan lebih tinggi dari suhu objek maka suhu a lebih kecil dari suhu b.

3. *Emissivity* objek tidak berpengaruh terhadap hasil pengukuran menggunakan kamera inframerah jika objek berada dalam lingkungan yang suhunya sama dengan objek.
4. Kejelasan bentuk objek pada *thermogram* dipengaruhi oleh perbedaan suhu dengan lingkungannya.

5.2. SARAN

Dalam melakukan percobaan menggunakan kamera inframerah :

- sudut pengukuran sebaiknya pada posisi tegak lurus dengan bidang yang akan diukur (0° terhadap garis normal bidang ukur) untuk mengurangi efek pantulan inframerah dari lingkungan;
- pada pengukuran umum (*emissivity* objek tidak diketahui dan banyak objek yang berbeda nilai *emissivity*-nya), kamera inframerah diatur pada nilai $\epsilon = 1$;
- pada pengukuran objek dalam lingkungan yang suhunya sama dengan objek sebaiknya mengatur *emissivity* kamera pada nilai 1.

DAFTAR PUSTAKA

1. Cooper, William J, Pakpahan, Sahat, *Instrumentasi Elektronik dan Teknik Pengukuran*, Erlangga, Jakarta, 1991.
2. Doebelin, Ernest O, Aritonang, Edigom, *Sistem Pengukuran Aplikasi dan Perancangan Edisi ketiga Jilid I*, Erlangga, Jakarta, 1992.
3. Halliday, David, Resnick, Robert, Silaban, Pantur, *Fisika*, Erlangga, Jakarta, 1985.
4. Hughes, FW, Hartono, Ignatius, *Panduan Op-Amp*, Gramedia, Jakarta, 1994.
5. Kanginan, Marthen, *Fisika SMU Jilid 1B*, Erlangga, Jakarta, 1994.
6. Kanginan, Marthen, *Fisika SMU Jilid 3B*, Erlangga, Jakarta, 1996.
7. Kitchin, Charles, Counts, Lew, *A Designer's Guide to Instrumentation Amplifiers*, Analog Devices, USA, 2000.
8. Mooney, William J., *Optoelectronic Devices and Principles*, Prentice-Hall International Inc, New Jersey.
9. NEC Sales Support CD-ROM.
10. Rangan, CS, Sarma, GR, *Instrumentation Devices and Systems*, McGraw-Hill, New Delhi.
11. Schuler, Charles A, McNamee, William L, *Industrial Electronics and Robotics*, McGraw-Hill Inc, Singapore, 1986.
12. Sears, F.W., Zemansky, Mark W., Soedarjana, *Fisika untuk Universitas I Mekanika, Panas dan Bunyi*, Binacipta, Bandung, 1982.
13. Sheingold, DH, *Transducer Interfacing Handbook*, Analog Devices, Massachusetts, 1980.

14. Thomas, Roderick A., *The Thermography Monitoring Handbook First Edition*, Coxmoor Publishing Company's.
15. www.catamountcorp.com
16. www.endeavorship.com
17. www.flir.com
18. www.homepage.eircom.net
19. www.iact-org.org
20. www.infrared.co.za
21. www.infraredthermography.com
22. www.infraredtraining.com
23. www.infraredtraining.net
24. www.infratech.cc
25. www.necsan-ei.co.jp
26. www.nethermography.com
27. www.omega.com
28. www.raytek.com
29. www.rclamar.com
30. www.snellinfrared.com
31. www.w-g-i.com
32. Young, H.D., Freedman, R.A., *University Physics 9th edition*, Addison-Wesley Publishing Company Inc., USA, 1996.
33. Zemansky, Mark W., Liong, The Houw, *Kalor dan Termodinamika terbitan keenam*, ITB, Bandung, 1986.
34., *Infrared Thermal Imager Basics*, NEC San-ei Instruments Ltd, Japan
35., *IR Answers and Solutions Handbook*, Ircon.
36., *Level I Infrared Certification*, Academy of Infrared Thermography, Canada, 2000.
37., *NEC San-ei Technical Report*, NEC San-ei Instruments Ltd, Japan.
38., *Thermo Tracer TH5104 Operation Manual*, NEC San-ei Instruments Ltd, Japan, 1998.
39., *Thermo Tracer TH7102(WR) Operation Manual*, NEC San-ei Instruments Ltd, Japan, 2000.
40., *Thermovision® 400 Series Operating Manual*, Agema, America, 1991.
41., *Transactions in Measurement and Control : Non Contact Temperature Measurement 2nd edition Vol 1*, Omega, Stanford, 2000.

Makalah seminar Tugas Akhir ini telah disetujui
pada tanggal: 2002

oleh,

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Juningtyastuti
NIP. 131 285 569

Sumardi, ST MT
NIP. 132 125 670