

## PENGARUH SUHU LINGKUNGAN DAN SENSOR TERMOMETER INFRARED PADA KALIBRASI TERMOMETER INFRARED SUHU RENDAH

Hidayat Wiriadinata

Puslit KIM LIPI Kompleks Puspiptek Serpong Tangerang Banten 15314  
hidayatwr@kim.lipi.go.id

Diajukan: 11 Januari 2010, Diterima: 22 Februari 2010

### Abstrak

Termometer infrared yang banyak beredar di pasaran adalah jenis 'direct reading' yaitu termometer infrared yang telah dilengkapi dengan sistem elektronik yang berfungsi untuk mengubah output termometer infrared ( arus dc ) menjadi besaran suhu. Nilai dari besaran suhu ini ditampilkan pada layar peraga yang ada pada termometer infrared tersebut. Kalibrasi termometer infrared jenis 'direct reading' adalah untuk memperoleh nilai koreksi dari nilai suhu yang ditampilkan oleh termometer tersebut. Nilai koreksi termometer infrared diperoleh dengan cara membandingkan nilai penunjukan termometer infrared  $t$  dengan  $t_{exp}$ , atau koreksi =  $t_{exp} - t$ .  $t_{exp}$  adalah nilai penunjukan termometer infrared yang diharapkan muncul berdasarkan pada nilai emisivitas dan suhu media kalibrasi, suhu sekeliling, emisivitas dan suhu sensor dari termometer infrared. Ketelitian dari nilai koreksi ini untuk rentang suhu sampai kira-kira 200°C amat dipengaruhi oleh suhu sekeliling dan suhu sensor termometer infrared tersebut. Faktor ini memberikan perbedaan nilai koreksi antara 2.5°C sampai dengan 1°C untuk rentang kalibrasi antara 50°C dan 200°C.

**Kata kunci:** termometer infrared, kalibrasi, suhu rendah

### Abstract

#### Influence of Environment Temperature and Infrared Thermometer Sensor in the Calibration of Low Temperature Infrared Thermometer

*Infrared thermometers in the market are mostly infrared direct reading thermometers type, namely infrared thermometers having electronic system for converting its output (dc current) to temperature. The temperature is displayed on a screen of the infrared thermometer. The thermometers are calibrated to obtain correction values of its temperature indication. Correction values of infrared thermometer are obtained by comparing  $t_{exp}$  and output of infrared thermometer  $t$ , or  $correction = t_{exp} - t$ .  $t_{exp}$  is the expected reading of the thermometer based on temperature and emissivity of radiation source, ambient temperatures, emissivity and sensor's temperature of the thermometer. Accuracy of the correction for temperature range up to 200 °C significantly is affected by ambient temperature and sensor temperature of the infrared thermometer. These factors give correction difference between 2.5 °C down to 1°C for calibration range of 50 °C and 200 °C.*

**Keywords:** infrared temperature, calibration, low temperature

### 1. PENDAHULUAN

Sistem kalibrasi termometer infrared tersusun dari media kalibrasi berupa benda-hitam variabel atau *surface calibrator* dan suatu termometer standar, baik berupa termometer infrared lagi atau berupa suatu termometer tahanan platina. Hasil kalibrasi termometer infrared dinyatakan dengan nilai koreksi suhu, yaitu selisih antara suhu yang diharapkan tampil,  $t_{exp}$ , dengan suhu  $t$ , yaitu yang sesungguhnya tampil pada display termometer infrared tersebut. Adapun nilai  $t_{exp}$  itu sendiri amat tergantung pada karakteristik radiasi dari media kalibrasi dan termometer infrared yang dikalibrasi. Sedangkan pada saat menghitung nilai  $t_{exp}$  umumnya dianggap bahwa pada saat kalibrasi, radiasi panas yang diukur

oleh termometer infrared semuanya berasal dari media kalibrasi. Namun pada kenyataannya pada saat yang bersamaan ada beberapa sumber lain yang juga memancarkan radiasi panas dan ikut terukur oleh termometer infrared. Di lingkungan laboratorium kalibrasi, keberadaan sumber-sumber radiasi ikutan tersebut dapat dengan mudah dihilangkan, namun radiasi panas yang berasal dari suhu lingkungan dan suhu sensor termometer infrared yang dikalibrasi sulit untuk dihindari, khususnya pada saat melakukan kalibrasi termometer infrared pada suhu yang rendah, yaitu antara 50°C – 100°C. Karena pengaruh ini selalu ada, maka perlu dilakukan suatu studi tentang seberapa besar pengaruhnya terhadap ketelitian kalibrasi termometer infrared.

Pada tulisan ini dibahas bagaimana pengaruh suhu lingkungan dan suhu sensor termometer infrared terhadap nilai koreksi termometer infrared tersebut pada saat dikalibrasi dalam rentang kalibrasi 50°C – 500°C.

**2. TEORI DASAR**

Benda-hitam adalah radiator panas ideal (teoritis) yang memiliki fungsi eksplisit antara suhu benda-hitam tersebut dan radiasi panas yang dipancarkannya, berdasarkan pada rumus radiasi panas Mac Planck berikut<sup>[1]</sup> ini:

$$L_b(\lambda, T) = \frac{c_1}{\lambda^5 \left[ \exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right) - 1 \right]} \dots\dots\dots 1$$

dengan:

$L_b(\lambda, T)$ : representasi radiasi panas = radiansi,  $W.m^{-2}.str^{-1}.\mu m^{-1}$

$c_1$ : konstanta radiasi pertama =  $1,19104282.10^{-16} W.m^2$

$c_2$ : konstanta radiasi kedua = 0,014388 m.K

$\lambda$ : panjang gelombang radiasi panas, m

T: suhu benda hitam, K

Pada panjang gelombang dan suhu yang sama, radiasi panas yang dipancarkan suatu benda adalah:

$$L(\lambda, T) = \varepsilon.L_b(\lambda, T) = \frac{\varepsilon.c_1}{\lambda^5 \left[ \exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right) - 1 \right]} \dots\dots\dots 2$$

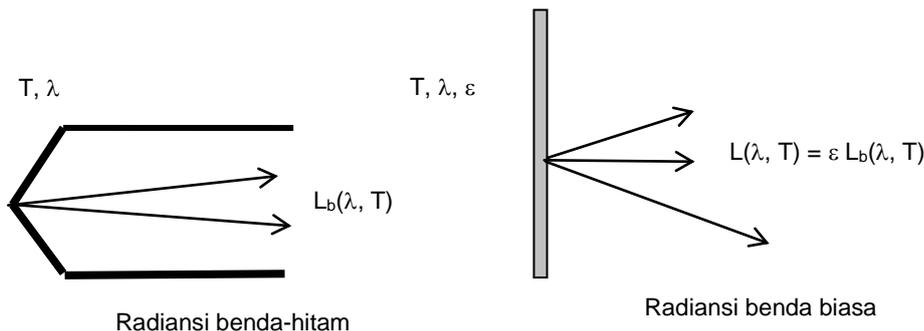
dengan:

$\varepsilon$  = persentase daya pancar benda relatif terhadap benda-hitam

= emisivitas benda,  $0 < \varepsilon < 1$

$\varepsilon$  = persentase daya pancar benda relatif terhadap benda-hitam

= emisivitas benda,  $0 < \varepsilon < 1$



Gambar 1 Radiansi Benda-Hitam dan Benda Biasa.

Bila radiasi panas dari benda hitam diterima oleh termometer radiasi, maka radiasi panas tersebut akan diolah menjadi arus listrik dc sebagai fungsi dari suhu benda berdasarkan persamaan<sup>[2]</sup>:

$$S(T) = k \int_0^{\infty} s(\lambda) L_b(\lambda, T) d\lambda \dots\dots\dots 3$$

dengan:

$s(\lambda)$  = respons spektral termometer radiasi

k = konstanta yang tergantung pada sifat geometrik, optik dan elektrik dari termometer radiasi

Untuk nilai T yang diketahui dapat dihitung nilai S(T) dengan menggunakan persamaan pendekatan Sakuma-Hattori<sup>[4]</sup>:

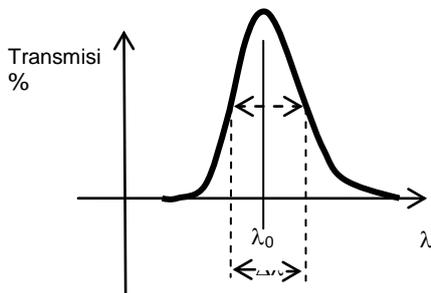
$$S(T) = \frac{C}{\exp\left(\frac{c_2}{AT + B}\right) - 1} \dots\dots\dots 4$$

Bila yang diketahui adalah nilai S(T), maka dengan melakukan proses sebaliknya pada persamaan (4) nilai T dapat diperoleh, yaitu:

$$T = \frac{c_2}{A \cdot \ln\left(\frac{C}{S(T)} + 1\right)} - \frac{B}{A} \dots\dots\dots 5$$

Nilai konstanta A, B dan C merupakan karakteristik dari termometer radiasi, dan diperoleh berdasarkan pada nilai spektral respon yang dimiliki oleh termometer radiasi tersebut, yaitu<sup>[2]</sup>:

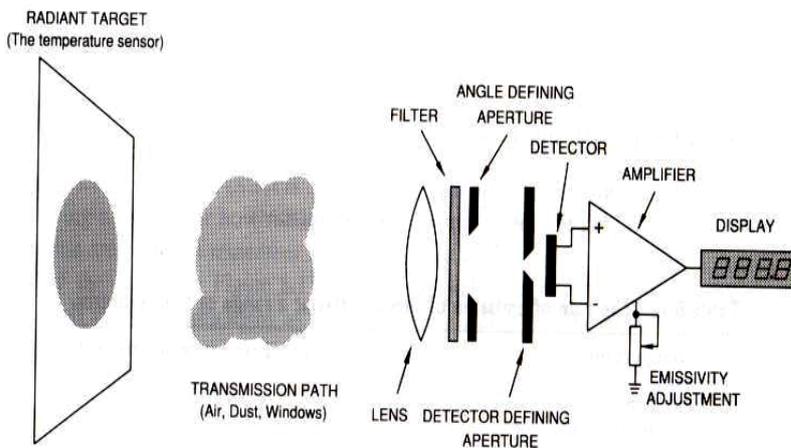
$$A = \lambda_0 \left( 1 - 6 \frac{\sigma^2}{\lambda_0^2} \right), B = \frac{c_2 \sigma^2}{2\lambda_0^2}, C = 1, \sigma = \frac{\Delta\lambda}{\sqrt{12}} \dots\dots 6$$



Gambar 2. Respons spektral termometer infrared

### 3. KALIBRASI TERMOMETER INFRARED

Skema termometer infrared ditunjukkan pada Gambar 3. Radiasi panas yang dipancarkan oleh benda-ukur akan difokuskan pada sensor, setelah sebelumnya melalui suatu filter penyeleksi panjang gelombang (*band-pass filter*). Filter yang digunakan telah disesuaikan dengan respons spektral dari sensor. Termometer radiasi hanya akan merespon terhadap radiasi panas pada rentang panjang gelombang yang sesuai dengan filter yang dimilikinya.



Gambar 3 Skema Termometer Radiasi

Termometer infrared adalah termometer radiasi dengan respon spektralnya berada pada daerah panjang gelombang infrared, misalnya pada daerah panjang gelombang 8-14 μm.

Kebanyakan termometer infrared dilengkapi dengan pengatur emisivitas yang disebut *instrumental emissivity* ε<sub>i</sub>, yang dapat digunakan untuk mengkompensasi emisivitas dari benda yang diukur. Bila radiasi panas yang dipancarkan oleh benda yang memiliki suhu t<sub>s</sub> dan emisivitas ε<sub>s</sub> diukur oleh suatu termometer infrared dengan emisivitas ε<sub>i</sub>, maka secara teori termometer infrared tersebut akan menampilkan suhu t<sub>exp</sub> sesuai dengan persamaan [3]:

$$L_b(\lambda, T_{exp}) = \frac{\epsilon_s \cdot L_b(\lambda, T_s)}{\epsilon_i} \dots\dots 7$$

atau bila dikaitkan dengan persamaan (3), persamaan (6) menjadi:

$$S(T_{exp}) = \frac{\epsilon_s}{\epsilon_i} \cdot S(T_s) \dots\dots 8$$

dengan:

T<sub>exp</sub> = suhu yang diharapkan muncul pada display termometer infrared, K

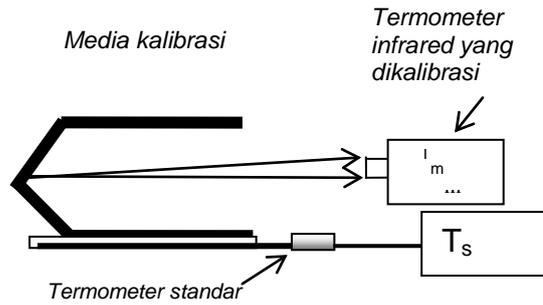
T<sub>s</sub> = suhu benda sebenarnya, K

Bila ε<sub>i</sub> = ε<sub>s</sub>, maka T<sub>exp</sub> = T<sub>s</sub>.

Pada kalibrasi ini suhu sebenarnya dari media kalibrasi, T<sub>s</sub>, diukur oleh termometer standar, sedangkan radiasi panas dari media tersebut diukur oleh termometer infrared yang dikalibrasi. Berdasarkan persamaan (7), idealnya nilai suhu yang ditampilkan oleh termometer infrared tersebut adalah T<sub>exp</sub>, namun kenyataannya yang ditampilkan adalah, misalkan, T<sub>m</sub>. sehingga diperlukan suatu nilai yang harus ditambahkan pada T<sub>m</sub> agar nilainya sama dengan T<sub>exp</sub>. Nilai yang ditambahkan tersebut disebut nilai koreksi suhu, yang diperoleh melalui persamaan koreksi:

koreksi = T<sub>exp</sub> - T<sub>m</sub>, K, atau:

$$\text{koreksi} = t_{exp} - t_m, \text{ } ^\circ\text{C} \dots\dots 9$$



Gambar 4 Skema Kalibrasi Termometer Infrared

**4. REVISI PERSAMAAN KOREKSI**

Persamaan (7) digunakan dengan anggapan bahwa radiasi panas hanya berasal dari benda ukur. Namun kenyataannya radiasi panas yang diterima oleh termometer infrared tidak hanya berasal dari benda tersebut tapi disertai pula dengan radiasi panas dari sekeliling yang memantul pada benda tersebut<sup>[5]</sup>. Sehingga persamaan (2) menjadi:

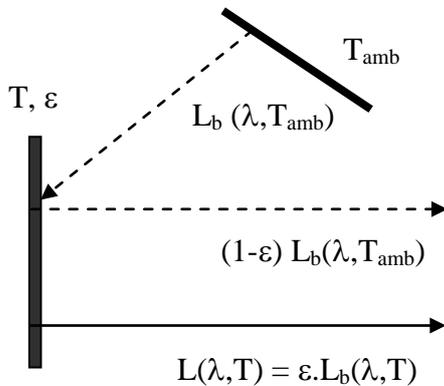
$$L(\lambda, T') = \epsilon \cdot L_b(\lambda, T) + \rho \cdot L_b(\lambda, T_{amb})$$

$$= \epsilon \cdot L_b(\lambda, T) + (1 - \epsilon) \cdot L_b(\lambda, T_{amb})$$

.....10

dengan:

$T_{amb}$  = suhu sekeliling, K;  $\rho$  = koefisien pantulan



Gambar 5 Radiasi Panas yang Dipancarkan Benda

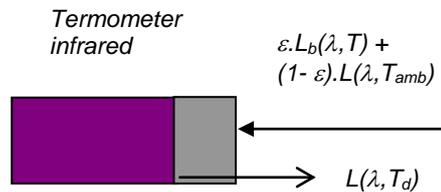
Selain itu sensor termometer infrared juga memancarkan radiasi panas yang sebanding dengan suhu sensor tersebut<sup>[5]</sup>. Dengan demikian pancaran radiasi panas total yang diterima oleh termometer infrared adalah:

$$L(\lambda, T') = \epsilon \cdot L_b(\lambda, T) + (1 - \epsilon) \cdot L_b(\lambda, T_{amb}) - L(\lambda, T_d)$$

...11

dengan:

$T_d$  = suhu sensor, K



Gambar 6 Komposisi Radiasi Panas yang Diterima Termometer Infrared

Berdasarkan pada persamaan(11), output termometer infrared, dalam bentuk arus, adalah:

$$S_{total} = \epsilon \cdot S(T) + (1 - \epsilon) \cdot S(T_{amb}) - S(T_d)$$

.....12

Sistem elektronik termometer infrared akan mengolah  $S_{total}$  menjadi besaran suhu, yaitu  $T_{exp}$ , dengan berdasarkan pada persamaan:

$$S(T_{exp}) = \frac{S_{total}}{\epsilon_{instr}} + S(T_d)$$

$$= \frac{\epsilon_s S(T_s) + (1 - \epsilon_s) S(T_{amb}) - (1 - \epsilon_{instr}) S(T_d)}{\epsilon_{instr}} \dots\dots 13$$

dengan:

$\epsilon_{instr}$  = emisivitas term. infrared;  $\epsilon_s$  = emisivitas benda ukur;  $T_s$  = suhu benda ukur, K

Berdasarkan persamaan (13), maka revisi nilai  $t_{exp}$  pada persamaan koreksi (persamaan (9)) akan mengubah nilai koreksi, sehingga pada titik kalibrasi yang sama atau untuk nilai  $t_s$  yang sama akan diperoleh nilai koreksi yang berbeda.

**5. APLIKASI**

Skema sistem kalibrasi termometer infrared di Puslit KIM LIPI untuk rentang suhu 50°C – 500°C ditunjukkan pada Gambar 4. Media kalibrasi berupa benda-hitam variabel dengan

rentang suhu  $50^{\circ}\text{C} - 550^{\circ}\text{C}$ , emisivitas efektif  $\epsilon_s = 0.996$ , diameter rongga  $d_s = 65$  mm dan kedalaman rongga  $l_s = 200$  mm. Sebagai termometer standar digunakan Pt-100 yang dikalibrasi dengan metoda ITS-90 (*The International Temperature Scale of 1990*). Keluaran Pt-100, dalam bentuk tahanan listrik dibaca dengan ohmmeter yang telah terkalibrasi dan hasilnya direkam pada komputer. Hasil rekaman tersebut selanjutnya dikonversi menjadi besaran suhu  $t_s$ . Untuk suhu media kalibrasi  $t_s: 50^{\circ}\text{C} - 500^{\circ}\text{C}$  dengan  $\epsilon_s = 0.996$  nilai suhu yang diharapkan tampil pada display termometer infrared,  $t_{exp}$ , pada suhu ruang  $t_{amb} = 23^{\circ}\text{C}$  untuk

$t_s, ^{\circ}\text{C}$	$t_d, t_{amb}$ diabaikan	$t_d, t_{amb}$ tak diabaikan	$\Delta t_{exp}, ^{\circ}\text{C}$
50	51.95	51.21	0.74
100	103.49	102.96	0.54
150	154.95	154.52	0.43
200	206.41	206.05	0.36
250	257.92	257.60	0.32
300	309.49	309.20	0.29
350	361.11	360.84	0.27
400	412.79	412.54	0.25
450	464.53	464.28	0.24
485	500.77	500.53	0.24
500	516.31	516.08	0.23

termometer infrared yang memiliki respons spektral (8 – 14)  $\mu\text{m}$  dengan  $\epsilon_{instr} = 0.95$  ditunjukkan pada Tabel.  $t_{exp}$

Nilai  $t_{exp}$  adalah tertentu untuk suatu sistem kalibrasi dan termometer infrared yang dikalibrasi, serta besarnya akan mempengaruhi nilai koreksi termometer infrared yang dikalibrasi tersebut. Pada Tabel.  $t_{exp}$  terlihat bahwa semakin besar suhu kalibrasi, pengaruh suhu sensor dan suhu sekeliling semakin mengecil, dalam hal ini dicirikan dengan mengecilnya nilai  $\Delta t_{exp}$  sehingga tidak memiliki pengaruh yang besar pada nilai koreksi yang harus diberikan pada termometer infrared yang dikalibrasi. Sebagai contoh kasus, akan dilihat seberapa besar perbedaan nilai koreksi antara persamaan yang direvisi dengan yang belum direvisi untuk suhu media kalibrasi  $t_s: 50^{\circ}\text{C} - 500^{\circ}\text{C}$  dengan  $\epsilon_s = 0.996$ , pada suhu ruang  $t_{amb} = 23^{\circ}\text{C}$  untuk termometer infrared yang memiliki respons spektral (6.5 – 18)  $\mu\text{m}$  dengan  $\epsilon_{instr} = 0.95$

Gambar 7 Kurva Perbedaan Nilai Koreksi Kalibrasi Termometer Infrared.

## 6. DISKUSI DAN KESIMPULAN

Dari Gambar 7, terlihat bahwa sampai dengan suhu  $200^{\circ}$  pengaruh suhu lingkungan dan suhu sensor cukup besar terhadap hasil kalibrasi, hal ini dicirikan dengan besarnya perbedaan nilai koreksi. Sehingga pada rentang ini pengabaian terhadap pengaruh suhu lingkungan dan suhu sensor akan memperoleh hasil kalibrasi yang tidak teliti.

Dengan demikian proses kalibrasi termometer infrared pada suhu rendah faktor-faktor yang harus diperhatikan adalah :

- suhu lingkungan di sekitar rongga benda-hitam variabel
- suhu sensor termometer infrared

Dengan demikian fluktuasi kondisi ruangan akan mempengaruhi hasil kalibrasi, sehingga untuk kalibrasi termometer infrared suhu rendah disarankan agar dilakukan pada suhu kamar yang stabil, yaitu antara  $20^{\circ}\text{C} \sim 23^{\circ}\text{C}$ .

Di samping itu, karena untuk mengukur suhu sensor cukup sulit, maka dengan menggunakan persamaan (13) pengaruh suhu sensor dapat dihilangkan dengan mengatur emisivitas termometer infrared sama dengan 1 ( $\epsilon_{instr} = 1$ ). Bila emisivitas termometer infrared nilainya tetap, misalkan  $\epsilon_{instr} = 0.95$ , maka dilakukan pendekatan yaitu dengan menganggap suhu sensor sama dengan suhu lingkungan ( $T_d \approx T_{amb}$ )[5].

## DAFTAR PUSTAKA

- F Sakuma, M Kobayashi, (1997): "Interpolation equation of scales of radiation thermometers", in *Proceeding of TEMPMEKO '96, Sixth International Symposium on Temperature and Thermal*

Measurements in Industry and Science,  
editor P Marcarino, Levrotto & Bella,  
Torino, 305-310

J D.P. DeWitt, Gene D. Nutter, (1988V), *Theory and Practice of Radiation Thermometry*.  
John Wiley, New York

Nicholas, D R White, (2001): *Traceable Temperature: An Introduction to Temperature Measurement and Calibration*, edisi kedua, John Wiley & Sons, Chichester

P Saunders, (2002): "Reflection errors for low-temperature radiation thermometers", in *Proceeding of TEMPMEKO 2001, 8th International Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industry and Science*, ed. B Fellmuth, J Seidel, G Scholz, VDE Verlag GmbH, Berlin, 149-154,

P Saunders, (2007): *Radiation Thermometry: Fundamentals and Applications in Petrochemical Industry*, SPIE, Bellingham