

## KEMAMPUAN PENGUKURAN DAN KALIBRASI SUHU *DEW/ FROST POINT* DI PUSLIT KIM LIPI

### *Calibration Measurement Capability (CMC) of Dew Point Temperature at Puslit KIM LIPI*

Arfan Sindhu Tistomo

Puslit KIM LIPI, Kompleks Puspiptek Serpong Tangerang  
Tangerang Selatan, Banten, Indonesia  
E-mail: arfan\_sindhu@yahoo.com

Diterima: 15 April 2013, Direvisi: 1 Juli 2013, Disetujui: 17 Juli 2013

#### Abstrak

Pusat Penelitian KIM LIPI telah membuka lingkup untuk kalibrasi *dew/ frost point* meter. Rentang pengukuran mencakup  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$  menggunakan dua buah *humidity generator* sebagai standarnya. *Calibration Measurement capabilities (CMC)* kemudian menjadi sangat penting untuk ditentukan guna menunjukkan seberapa jauh kemampuan sistem kalibrasi dan juga sebagai tolok ukur bagi pengguna jasa kalibrasi. Penentuan CMC dilakukan dengan mengkalibrasi sebuah *chilled mirror dew point meter* dengan akurasi  $\pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ketidakpastian standar dianalisis dalam bentuk ketidakpastian relatif sementara resolusi dan pengukuran berulang dari UUT (*unit under test*) diambil sebagai komponen ketidakpastiannya. Sebagai hasilnya, ketidakpastian terentang untuk rentang suhu *dew/ frost point* di atas  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$  adalah  $0,04\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan  $0,14\text{ }^{\circ}\text{C}$  untuk rentang  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  sampai  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Dibandingkan dengan lembaga metrologi nasional negara Turki, UME, dimana mereka memiliki peralatan yang mirip, CMC ini dapat ditingkatkan lagi terutama pada rentang di bawah  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Kata kunci:** kelembaban, *dew point*, pengukuran, kalibrasi, kemampuan terbaik.

#### Abstract

*KIM LIPI research center has opened a scope for dew/frost point meter calibration. The measurement range covers  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  to  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$  using two humidity generators as the standards. The Calibration Measurement Capabilities (CMC) is then necessary to be determined to show how far the ability of the calibration system and also as a benchmark for customers. The CMC is obtained by calibrating a chilled mirror dew point meter with accuracy  $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . The uncertainty for the standards is analyzed in terms of relative uncertainty while resolution and repeatability of the UUT (Unit Under Test) are taken as its uncertainty components. As a result, the maximum expanded uncertainty for the dew/frost point temperature range above  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  to  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$  is  $0.04\text{ }^{\circ}\text{C}$  and  $0.14\text{ }^{\circ}\text{C}$  for the range  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  to  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Compare to Turkey's NMI (National Metrology Institute), UME, who has similar equipments, this CMC can be improved further especially for the range below  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .*

**Keywords:** *humidity, dew point, measurement, calibration, CMC.*

## 1. PENDAHULUAN

Di dalam memenuhi tugasnya sebagai sebuah lembaga metrologi nasional, KIM LIPI telah membuka lingkup baru yang berupa pelayanan jasa kalibrasi *dew/ frost point* meter dengan rentang  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Pelayanan jasa ini secara umum dimanfaatkan oleh industri-industri perminyakan seperti Pertamina dan laboratorium kalibrasi yang memiliki lingkup yang sama. Adapun standar yang digunakan adalah *two-pressuresingle pressure humidity generator* 2500 ST dan *two-pressure two-temperature* 4500. Kedua standar tersebut merupakan produk komersial dari Thunder Scientific.

Umumnya, alat yang dapat dikalibrasi berupa *chilled mirror dew point meter* di mana di dalamnya terdapat cermin. Gas keluaran *humidity generator* dialirkan di atas permukaan cermin tersebut. Dengan bantuan sistem termoelektrik, cermin didinginkan sampai terbentuk embun. Saat terbentuk embun, suhu cermin diukur dengan sebuah PRT (*Platinum Resistance Thermometer*) Pt-100 yang menempel pada cermin tersebut. Suhu cermin itulah yang disebut dengan suhu *dew point*. Sementara apabila yang terbentuk dari proses pendinginan tersebut adalah es maka disebut *frost point*.

Evaluasi ketidakpastian pengukuran suhu *dew point* menjadi sangat penting untuk

dilakukan guna mengetahui kemampuan terbaik pengukuran suhu *dew/ frost point* yang bisa didapatkan dari kedua standar tersebut. Hal ini juga menjadi daya tarik bagi pengguna jasa kalibrasi untuk mengkalibrasi alat-alat mereka ke KIM LIPI serta untuk dijadikan acuan standar kualitas bagi hasil produk-produk industri.

Untuk menentukan CMC pada lingkup ini, proses kalibrasi dilakukan dengan menggunakan sebuah *chilled mirror dew point meter* buatan RH system dengan spesifikasi akurasi  $\pm 0,1$  °C dan model 373 LHX yang mampu mencakup rentang -60 °C sampai +68 °C (RH system, 2008). Oleh karena itu, CMC yang didapat tidak boleh melebihi  $\pm 0,1$  °C pada tingkat kepercayaan 95 % dengan factor cakupan  $k=2$ .

Tujuan dari makalah ini adalah untuk memaparkan kemampuan (CMC) terbaik pengukuran/ kalibrasi suhu dew point di KIM LIPI pada rentang -35 °C sampai dengan 65 °C yang dapat dijadikan sebagai tolok ukur bagi industri dan laboratorium kalibrasi di Indonesia.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pengertian Suhu Dew Point

Suhu *dew point* menurut Rotronic Instrument Corp (2005) adalah suhu udara yang harus didinginkan agar jenuh terhadap air. Khusus untuk suhu di bawah 0 °C, uap air bisa memiliki fase cairan yang dikenal sebagai fenomena *wáter supercooling* maupun padatan (es). Apabila pada saat kondisi jenuh fase udara yang terbentuk berupa es, maka suhu tersebut dinyatakan sebagai suhu *frost point*.

### 2.2 Humidity Generator

Standar tertinggi untuk pengukuran kelembaban adalah *humidity generator* yang dapat berupa *two-pressure two-temperature (2P2T) humidity generator*, *two-pressure single temperature (2P1T) humidity generator*, *two-temperature single pressure (1P2T) humidity generator*, *mixed-flow humidity generator* (Nielsen J dan E+E elektronik ,2012).

Disebut *two-pressure two-temperature (2P2T) humidity generator* karena standar ini memiliki dua buah ruang yang disebut dengan ruang saturator dan ruang *chamber* (test). Di dalam masing-masing ruang terdapat sensor tekanan  $P_s, P_c$  dan sensor suhu  $T_s, T_c$  dimana  $P_s \neq P_c$  dan  $T_s \neq T_c$ . Standar milik KIM LIPI jenis ini menggunakan nitrogen sebagai sumber gasnya yang kemudian di alirkan ke dalam ruang saturator untuk dijenuhkan sehingga didapatkan suhu *dew point*  $T_s$  dan bertekanan  $P_s$ . Gas selanjutnya memasuki ruang *chamber* dan

dengan hubungan keempat sensor-sensor tersebut, maka kelembaban relatif dapat ditentukan.

Standar *humidity generator* yang dimiliki oleh KIM LIPI berikutnya berupa *two-pressure single temperature (2P1T) humidity generator*. Standar ini merupakan penyederhanaan dari *two-pressure two-temperature (2P2T) humidity generator* dimana  $P_s \neq P_c$  dan  $T_s = T_c$ . Standar ini mirip dengan apa yang dimiliki oleh NMI Turki (UME) (Heinonen, 2008) di mana gas yang berasal dari kompresor dialirkan ke dalam *humidity generator* melalui regulator. Setelah mengalami penyesuaian oleh katup input, gas kemudian dialirkan menuju ruang pre-saturator yang terisi oleh air murni (*aquades*) sementara suhunya 15 °C sampai dengan 20 °C lebih tinggi daripada ruang saturator. Gas selanjutnya dialirkan ke dalam ruang saturator yang juga terdapat air murni. Karena adanya penurunan suhu dari pre-saturator, maka penjenhuan sempurna terjadi di ruang ini. Sebelum memasuki ruang *chamber*, gas terlebih dahulu melewati katub ekspansi. Di sini tekanan diturunkan untuk disesuaikan dengan tekanan atmosfer atau *chamber* serta untuk mendapatkan kelembaban relatif yang diinginkan di ruang *chamber*.

*Dew/ frostpoint* yang dihasilkan oleh kedua *humidity generator* ini mengikuti persamaan berikut ini (Thunder Scientific Corp, 2006):

$$e_w(T_D) = e_s(T_s) \frac{f(P_s, t_s) P_c}{f(P_c, t_D) P_s} \eta \quad (1)$$

$$e_l(T_F) = e_s(T_s) \frac{f(P_s, t_s) P_c}{f(P_c, t_F) P_s} \eta \quad (2)$$

dimana:

$e_w$  = tekanan jenuh uap air di atas air (Pa)

$e_l$  = tekanan jenuh uap air di atas es (Pa)

$e_s$  = tekanan jenuh uap air (Pa)

$T_D$  = suhu *dew point* (K)

$T_s$  = suhu *saturator* (K)

$T_F$  = suhu *frost point* (K)

Fungsi  $f$  = *enhancement factor*

$P_s$  = tekanan saturator (Pa)

$P_c$  = tekanan *chamber*/atmosfer (Pa)

$t_s$  = suhu saturator (°C)

$t_D, t_F$  = suhu *dew/ frostpoint* (°C)

$\eta$  = saturator efficiency

Pada awalnya, persamaan Wexler (Wexler A, 1977 dan Wexler A, Greenspan L,

1976) adalah yang paling umum digunakan untuk menghitung tekanan jenuh uap air. Namun karena berubahnya skala suhu dari IPTS-68 (*International Practical Temperature Scale 1968*) ke ITS-90 (*International Temperature Scale 1990*), maka persamaan tersebut diperbarui dan dikembangkan menjadi formulasi Sonntag (1998), Hardy (1998), dan Huang (1998). Dalam hal ini Puslit KIM LIPI menggunakan formulasi dari Hardy (1998) yang dapat dituliskan sebagai berikut:

$$e_s(T) = \exp\left(\sum_{i=0}^6 g_i T^{i-2} + g_7 \ln T\right) \quad (3)$$

Nilai koefisien-koefisien persamaan (3) dapat dilihat di Tabel 1. Formulasi Hardy dipilih karena perangkat lunak yang disertakan pada *humidity generator* berbasis persamaan tersebut.

Tabel 1 Koefisien untuk tekanan jenuh uap air.

Koef.	Terhadap air	Terhadap es
$g_0$	-2,8365744E+03	0
$g_1$	-6,028076559E+03	-5,866642600E+03
$g_2$	1,954263612E+01	2,232870244E+01
$g_3$	-2,737830188E-02	1,393870030E-02
$g_4$	1,6261698E-05	-3,4262402E-05
$g_5$	7,0229056E-10	2,7040955E-08
$g_6$	-1,8680009E-13	0
$g_7$	2,7150305	6,7063522E-01

Tabel 2 Koefisien untuk *enhancement factor*.

Koef	Terhadap air		Terhadap es
	-50~0 °C	0 ~100 °C	-100~0 °C
$A_0$	3,62183E-4	3,53624E-4	-3,64449E-4
$A_1$	2,6061244E-5	2,9328363E-5	2,9367585E-5
$A_2$	3,8667770E-7	2,6168979E-7	4,8874766E-7
$A_3$	3,8268958E-9	8,5813609E-9	4,3669918E-9
$B_0$	-1,07604E1	-1,07588E1	-1,07271E1
$B_1$	6,3987441E-2	6,3268134E-2	7,6215115E-2
$B_2$	-2,6351566E-4	-2,5368934E-4	-1,7490155E-4
$B_3$	1,6725084E-6	6,3405286E-7	2,4668279E-6

*Enhancement factor* merupakan suatu fungsi yang ditambahkan agar analisa gas ideal dapat diterapkan seperti yang dikatakan oleh (Moris,1992) "*To allow for this departure from ideal gas behavior, the enhancement factor f(P,T) is introduced*". Fungsi ini dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$f = \exp\left[\alpha\left(1 - \frac{e_s}{P}\right) + \beta\left(\frac{P}{e_s} - 1\right)\right] \quad (4)$$

Dengan 
$$\alpha = \sum_{i=0}^3 A_i t^i \quad (5)$$

$$\beta = \exp\left(\sum_{i=0}^3 B_i t^i\right) \quad (6)$$

Nilai-nilai A dan B dapat dilihat pada Tabel 2.

### 2.3 Analisa Ketidakpastian

Sesuai dengan JCGM (2008), ketidakpastian suhu *dew/ frost point* yang dihasilkan oleh *humidity generator* dapat dirumuskan sebagai berikut (Huang P,2008):

$$u(t_D) = \left\{ \begin{array}{l} u_r^2(P_c) + u_r^2[e_s(T_s)] + \\ u_r^2[f(P_s, t_s)] + u_r^2(P_s) + \\ u_r^2[f(P_c, t_D)] \end{array} \right\}^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{[(1/e_s)(\partial e_s / \partial T)]} \quad (7)$$

dimana:

$$u_r^2(P_c) = \left[ \frac{u(P_c)}{P_c} \right]^2; u_r^2[e_s(T_s)] = \left[ \frac{u[e_s(T_s)]}{e_s(T_s)} \right]^2$$

$$u_r^2[f(P_s, t_s)] = \left[ \frac{u[f(P_s, t_s)]}{[f(P_s, t_s)]} \right]^2; u_r^2(P_s) = \left[ \frac{u(P_s)}{P_s} \right]^2$$

$$u_r^2[f(P_s, t_D)] = \left[ \frac{u[f(P_s, t_D)]}{[f(P_s, t_D)]} \right]^2$$

Khusus untuk saturator efficiency, sampai saat ini masih diasumsikan 100% sehingga tidak menyumbang ketidakpastian (*Thunder Scientific Corp*, 2006).

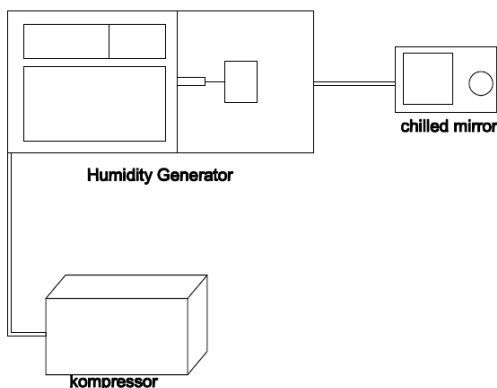
### 3. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan mengkalibrasi *chilled mirror dew point meter* pada rentang -35 °C sampai dengan 65 °C. Untuk rentang -35 °C sampai dengan -25 °C, standar yang digunakan adalah *two-pressure two-temperature humidity generator* 4500, sedangkan *two pressure humidity generator* 2500 ST digunakan sebagai standar untuk rentang -25 °C sampai dengan 65 °C. Penunjukan ini semata didasarkan pada spesifikasi dari *humidity generator*. Untuk suhu di bawah 0 °C, bentukan fase es diyakinkan dengan adanya kemampuan UUT untuk mendinginkan cermin sampai mencapai suhu -40 °C terlebih dahulu sebelum menuju ke *set point* yang diinginkan. Kalibrasi dimulai dari pengukuran suhu yang terendah menuju ke yang tinggi untuk menghindari adanya kondensasi berlebih di dalam pipa. Seting percobaan ditampilkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.

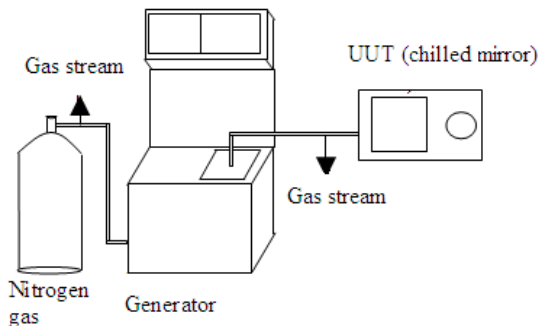
Khusus untuk standar 4500, pengeringan pipa yang akan dilewati oleh gas dilakukan terlebih dahulu dengan membalikkan arah aliran gas nitrogen dari katup ekspansi menuju ruang saturator selama lebih dari 20 jam untuk memastikan bahwa penjumlahan gas dengan uap

air benar-benar hanya berasal dari saturator saja.

Untuk pengukuran suhu *dew point* di atas suhu ruang, sebuah eksternal pemanas digunakan untuk memanasi pipa penghubung antara standar dengan UUT. Tujuannya adalah untuk mencegah terjadinya kondensasi. Suhu pipa tersebut diatur supaya sedikitnya 20 °C lebih tinggi daripada suhu *dew point*. Pengambilan data dilakukan setiap 30 detik sebanyak 10 kali setelah tercapai keadaan setimbang. Data yang berasal dari standar adalah tekanan saturator, tekanan *chamber*, suhu saturator, dan suhu *chamber*. Sedangkan dari UUT adalah suhu *dew point*



Gambar 1 Skema kalibrasi *dew point meter* dengan 2500 ST.



Gambar 2 Skema kalibrasi *dew point meter* dengan 4500.

#### 4. HASILDAN PEMBAHASAN

CMC disusun berdasarkan ketidakpastian terentang dari hasil kalibrasi. Ketidakpastian tersebut sebelumnya merupakan ketidakpastian gabungan antara ketidakpastian standar dan ketidakpastian UUT. Komponen-komponen penyumbang ketidakpastian standar adalah variabel-variabel yang tersebut pada persamaan (7). Sementara, penyumbang ketidakpastian UUT hanya berupa resolusi atau daya baca serta pengukuran berulang saja yang nilainya sebesar  $\pm 0,003$  °C dan  $\pm 0,002$  °C. Nilai-nilai tersebut

ternyata tidak signifikan pengaruhnya pada ketidakpatian gabungan dan terentang sehingga ketidakpastian pengukuran yang tercantum pada sertifikat kalibrasi UUT sama dengan ketidakpastian standar (Tabel 3).

Berkaitan dengan kebenaran spesifikasi pabrik tentang akurasi UUT yang digunakan yaitu sebesar  $\pm 0,1$  °C, maka tampak pada Tabel 3 bahwa koreksi atau selisih suhu *dew/ frost point* standar dengan UUT terbesar adalah -0,09°C. Nilai ini berada di dalam rentang  $\pm 0,1$ °C akan tetapi apabila ditambahkan dengan ketidakpastiannya terutama pada rentang di bawah 0°C, terdapat nilai-nilai yang melebihi spesifikasi pabrik. Didasarkan pada keterbaruan seluruh alat yang digunakan, maka mengkaji ulang analisa ketidakpastian dan metode yang digunakan merupakan langkah yang tepat untuk menjawab persoalan ini.

Terlihat pada Tabel 3 maupun Tabel 4, bahwa ketidakpastian terentang standar atau CMC KIM LIPI berada di antara  $\pm 0,03$  °C ~  $\pm 0,04$  °C pada rentang 5 °C~65 °C dan lebih dari  $\pm 0,1$  °C pada rentang (-35) °C~ (-5) °C. Apabila hasil tersebut dibandingkan dengan pekerjaan Huang (2008) dan CMC yang dimiliki oleh UME, NMI (Lembaga Metrologi Nasional) Turki ([http://kcdb.bipm.org/appendixC/country\\_list\\_search.asp?CountSelected=TR&branch=T/H](http://kcdb.bipm.org/appendixC/country_list_search.asp?CountSelected=TR&branch=T/H)) maka layak dan wajar (*reasonable*). Namun berbeda halnya dengan rentang (-35) °C~ (-5) °C, ketidakpastiannya seharusnya dapat lebih baik daripada nilai tersebut. Komponen yang menyebabkan membesarnya ketidakpastian ini menurut Tabel 4 adalah nilai dari  $u_r[e_w(T_d)]$ . Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut guna meminimalkan sumbangan ketidakpastian tersebut. Untuk sementara, penulis menduga bahwa sumbangan ini tidak perlu hadir karena sudah diwakili oleh sumbangan dari  $u_r[e_w(T_s)]$  dengan kata lain telah terjadi *redundancy* yang berarti bahwa ada peluang untuk memperbaiki CMC pada kegiatan *assesment* berikutnya. Adapun CMC UME dirasa perlu digunakan sebagai pembanding karena sistem kalibrasi *dew/ frost point* yang mereka miliki mirip dengan apa yang dimiliki oleh KIM LIPI.

Tabel 3 Hasil kalibrasi.

Standar(°C)	Alat(°C)	Koreksi(°C)	U <sub>95</sub> (°C)
-35,02	-34,94	-0,08	0,13
-30,08	-29,99	-0,09	0,14
-25,03	-24,95	-0,08	0,14
-20,01	-19,98	-0,03	0,11
-15,08	-15,07	-0,01	0,11
-10,00	-10,01	0,01	0,12
-5,03	-5,07	0,03	0,12
5,02	4,99	0,03	0,04
9,99	9,97	0,02	0,03
15,01	15,00	0,01	0,03
19,97	19,94	0,03	0,03
24,97	24,95	0,02	0,03
30,02	29,99	0,03	0,03
34,98	34,96	0,02	0,04
39,97	39,95	0,02	0,04
45,02	45,01	0,01	0,04
49,99	49,96	0,03	0,04
55,03	54,97	0,06	0,04
59,98	59,92	0,06	0,04
64,95	64,92	0,03	0,04

Tabel 4 Ketidakpastian pengukuran *dew/frost point* oleh *humidity generator*.

<i>Dew point</i> <i>t<sub>d</sub></i> (°C)	<i>Frost point</i> <i>t<sub>d</sub></i> (°C)	<i>u<sub>r</sub></i> ( <i>P<sub>s</sub></i> )	<i>u<sub>r</sub></i> ( <i>P<sub>c</sub></i> )	<i>u<sub>r</sub></i> [ <i>e<sub>w</sub></i> ( <i>T<sub>s</sub></i> )]	<i>u<sub>r</sub></i> [ <i>e<sub>w</sub></i> ( <i>T<sub>d</sub></i> )]	<i>u<sub>r</sub></i> [ <i>f</i> ( <i>P<sub>s</sub></i> , <i>t<sub>s</sub></i> )]	<i>u<sub>r</sub></i> [ <i>f</i> ( <i>P<sub>c</sub></i> , <i>t<sub>d</sub></i> )]	<i>U=2*<i>u<sub>c</sub></i>(<i>t<sub>d</sub></i>)</i>	
								<i>Dew point</i> (°C)	<i>Frost point</i> (°C)
	-35	0,0003	0,0003	0,0051	0,00500	0,00035	0,00025		0,13
	-30	0,0003	0,0004	0,0051	0,00500	0,00032	0,00024		0,14
	-25	0,0003	0,0003	0,0051	0,00500	0,00030	0,00022		0,14
	-20	0,0001	0,0007	0,0014	0,00500	0,00146	0,00020		0,11
	-15	0,0001	0,0007	0,0009	0,00500	0,00077	0,00019		0,11
	-10	0,0001	0,0007	0,0007	0,00500	0,00066	0,00018		0,12
	-5	0,0001	0,0007	0,0006	0,00500	0,00058	0,00016		0,12
5		0,0005	0,0007	0,0009	0,00005	0,00016	0,00010	0,04	
10		0,0005	0,0007	0,0007	0,00005	0,00013	0,00008	0,03	
15		0,0005	0,0007	0,0006	0,00005	0,00011	0,00008	0,03	
20		0,0005	0,0007	0,0005	0,00005	0,00010	0,00007	0,03	
25		0,0005	0,0007	0,0005	0,00005	0,00009	0,00006	0,03	
30		0,0005	0,0007	0,0004	0,00005	0,00009	0,00005	0,03	
35		0,0005	0,0007	0,0004	0,00005	0,00008	0,00005	0,04	
40		0,0005	0,0007	0,0004	0,00005	0,00011	0,00004	0,04	
45		0,0005	0,0007	0,0004	0,00005	0,00011	0,00007	0,04	
50		0,0005	0,0007	0,0004	0,00005	0,00010	0,00007	0,04	
55		0,0005	0,0007	0,0003	0,00005	0,00009	0,00006	0,04	
60		0,0005	0,0007	0,0003	0,00005	0,00007	0,00006	0,04	
65		0,0006	0,0007	0,0003	0,00005	0,00006	0,00005	0,04	

## 5. KESIMPULAN

Puslit KIM LIPI telah membuka pelayanan jasa kalibrasi *dew/ frost point* meter dengan standar berupa *two pressure two temperature humidity generator* dan *two pressure humidity generator*. Kemampuan pengukuran/ kalibrasi *dew/ frost point* terbaik (CMC) oleh sistem yang dimiliki tersebut sangat penting diketahui dan ditingkatkan sebagai dasar tolak ukur pengguna jasa kalibrasi lingkup tersebut.

Sampai saat ini, kemampuan pengukuran/ kalibrasi *dew/ frost point* KIM LIPI berada pada rentang-35~65°C dengan ketidakpastian terbaik yang didapatkan (CMC) berada pada rentang  $\pm 0.03$  °C sampai  $\pm 0.14$  °C dimana terdapat peluang untuk diperbaiki melalui kajian lebih lanjut terutama pada pengukuran di bawah 0°C didasarkan pada perbandingan dengan sistem kalibrasi yang mirip yang dimiliki oleh UME Turki.

## DAFTAR PUSTAKA

- BIPM. (2013). *Calibration and Measurement capabilities*. <http://kcdb.bipm.org/>, diakses pada tanggal 20 Maret 2013.
- E+E Elektronik. (2013). *Humidity Calibration-Simple and Accurate*. <https://www.airtest.com/support/reference/Humor20-technical-paper.pdf>. (2013), diakses pada tanggal 12 Februari 2013.
- Hardy, B. (1998). Papers and Abstracts from the Third International Symposium on Humidity and Moisture, *ITS-90 formulations for vapor pressure, frostpoint temperature, dewpoint temperature and enhancement factors in the range -100 to +100C*. In; 1, pp. 214-222. London: NPL.
- Heinonen, M., Aytakin Ogus S., Uytun A. (2008). *Int J Thermophys, Bilateral Comparison of Humidity Standards Between UME and MIKES*, Vol 29, p 1678-1684.
- Huang P. (1998). In Papers and Abstracts from the Third International Symposium on Humidity and Moisture, *New Equations for Vapour pressure in the temperature range - 100 0C to 100 oC for use with the 1997 NIST/ASME steam tables.1*, pp. 68-76. London: NPL.
- Huang P. (2008). *Determining Uncertainty of Relative Humidity, Dew/ Frost Point Temperature, and Mixing Ratio in a Humidity Standard Generator*. USA:NIST.
- JCGM. (2008). *JCGM 100:2008 Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement*. Paris: BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP dan OIML.
- Moris, E.C. 1992. *Humidity Measurement, Temperature Measurement Course : Book 3*, CSIRO Division of Applied Science.
- Nielsen,J.,Lovell-Smith,J.,DE Groot,M.,Bell,S., *Uncertainty in the generation of humidity*, [lmk.fe.uni-lj.si/euromet\\_t/CCT03-20.pdf](http://lmk.fe.uni-lj.si/euromet_t/CCT03-20.pdf), diakses pada tanggal 10 April 2013.
- RH Systems. (2008). *Report of Calibration*, Albuquerque: RH Systems.
- Rotronic Instrumentation Corp. (2005). *The Rotronic Humidity Handbook*, [www.rotronic-usa.com](http://www.rotronic-usa.com), diakses pada tanggal 10 April 2013.
- Sonntag, D. (1998). *Meteorologische Zeitschrift ,Advancements in the field of hygrometry*, N.F. 3, 51-66.
- Thunder Scientific Corp. (2006). *Uncertainty Analysis of the Thunder Scientific Model 2500 Two-Pressure Humidity Generator*. Thunder Scientific Corp.
- Wexler, A., & Greenspan, L. (1976). *Journal of Research of the national Bureau of Standards-A Physics and Chemistry, Vapor Pressure Formulation for Water in Range 0 to 100 °C. A Revision*, Vol. 80A, Nos. 5 and 6, 775-785.
- Wexler, A. (1977). *Journal of Research of the National Bureau of Standards – A. Physics and Chemistry, Vapor Pressure Formulation for Ice*, Vol. 81A, No. 1, 5-19.