

ANALISA HASIL UJI BANDING ANTAR LABORATORIUM NASIONAL TINGKAT ASIA PASIFIK UNTUK TERMOMETER CAIRAN DALAM GELAS

Analysis of Inter Comparison National Laboratory in Asia Pasific Regional for Liquid-in-glass Thermometer

Ghufron Zaid, Dwi Larassati, Suherlan

Puslit KIM-LIPI

Gedung 420 Komplek Puspipstek Serpong, Tangerang Selatan 15314

e-mail : ghufron@kim.lipi.go.id

Diajukan: 23 Agustus 2011, Dinilai: 25 Agustus 2011, Diterima: 10 Oktober 2011

Abstrak

Puslit KIM-LIPI telah mengikuti uji banding termometer cairan dalam gelas tingkat Asia Pasifik yang diadakan oleh APMP. Kalibrasi termometer dilakukan di Subbidang Metrologi Suhu Puslit KIM-LIPI sesuai dengan prosedur yang digunakan dalam kalibrasi termometer pada pekerjaan kalibrasi yang dilakukan sehari-hari. Pada uji banding yang diikuti oleh 9 negara/teritorial ini, hasil kalibrasi Puslit KIM-LIPI tidak berkontribusi pada kegagalan *Birge test* dan mempunyai nilai angka kesalahan *En* lebih kecil dari 1 (satu) untuk semua titik ukur, dengan nilai terbesar 0,44 pada suhu 40 °C. Selain itu, nilai ketidakpastian hasil kalibrasi berada pada rentang nilai yang dapat diterima, yaitu sekitar setengah dari nilai skala terkecil termometer. Hasil tersebut menunjukkan bahwa Puslit KIM-LIPI telah mampu melakukan kalibrasi termometer gelas dengan benar dan dengan hasil yang memuaskan. Hasil uji banding ini melengkapi salah satu pra-syarat utama dalam keberterimaan CMC oleh BIPM sebagaimana tercantum dalam appendix C dokumen CIPM MRA.

Kata kunci: Uji banding, termometer cairan dalam gelas, angka *En*, CIPM MRA

Abstract

Puslit KIM-LIPI has participated in Asia Pacific inter-laboratory comparison for liquid-in-glass thermometer (LiGT) organized by APMP. The calibration of the thermometer was carried out at the Temperature Metrology Subdivision of Puslit KIM-LIPI according to the procedure used for LiGT calibration in routine calibration work. In this interlaboratory comparison, participated by 9 countries or territories, Puslit KIM-LIPI's calibration results does not contribute to the failure of Birge test and produce En number less than one for all set points, with the largest value of 0.44 at 40 °C. In addition, the uncertainties values are within the acceptable limit, i.e. about half of the smallest thermometer scale. It shows that Puslit KIM-LIPI is capable of carrying out LiGT calibration with good results. The result of this interlaboratory comparison is one of the main pre-requisites for the acceptance of CMC by BIPM as listed in Appendix C of CIPM MRA document.

Keywords: Comparison, Liquid-in-Glass Thermometer, En number, CIPM MRA

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan dokumen standar SNI-19-17025-2008 tentang Persyaratan kompetensi laboratorium kalibrasi dan penguji, kompetensi laboratorium dapat dinilai secara teknis diantaranya melalui ketersediaan personel teknis dengan kemampuan yang memadai dan sesuai dengan bidang kalibrasinya, peralatan yang sesuai dan terkalibrasi serta jelas ketertelusurannya ke satuan SI, metode kalibrasi yang sesuai, dan adanya mekanisme yang dijalankan untuk menjamin mutu hasil kalibrasi. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk menjamin mutu hasil kalibrasi adalah dengan berpartisipasi dalam uji banding antar laboratorium. Bahkan, sebuah laboratorium yang terakreditasi mempunyai kewajiban untuk berpartisipasi dalam uji banding yang diselenggarakan oleh badan akreditasi terkait di

negara tersebut sebagai salah satu upaya badan akreditasi tersebut untuk memantau kemampuan teknis laboratorium terakreditasi secara berkala.

Bagi laboratorium acuan nasional seperti KIM-LIPI, uji banding seperti tersebut di atas dilakukan di tingkat bilateral (antar dua negara) atau pun regional, yaitu antar anggota organisasi metrologi regional (APMP – Asia Pacific Metrology Program). Uji banding tingkat bilateral harus dilakukan dengan sebuah lembaga metrologi nasional negara lain yang sudah mengikuti uji banding tingkat regional sehingga nilai yang dihasilkan dapat dibandingkan dengan hasil uji banding tingkat regional. Demikian pula, sebuah uji banding tingkat regional selalu diikuti oleh paling tidak satu laboratorium nasional yang sudah mengikuti uji banding tingkat internasional yang diselenggarakan oleh BIPM sehingga hasilnya dapat dibandingkan dengan laboratorium nasional dari kawasan yang berbeda. Untuk mendapatkan pengakuan secara

internasional, selain diakreditasi oleh sebuah badan akreditasi (KAN) yang mendapatkan pengakuan internasional, laboratorium metrologi nasional juga harus mendapatkan pengakuan teknis dari BIPM yang ditunjukkan dengan keberhasilannya dalam mengikuti uji banding antar laboratorium tersebut. Hasil uji banding yang telah mendapatkan pengakuan dari BIPM diterbitkan dalam lampiran B dokumen CIPM MRA yang dapat dilihat pada situs internet terkait. Lampiran tersebut merupakan salah satu syarat utama untuk mendapatkan pengakuan bagi kemampuan pengukuran dan kalibrasi (*CMC-Calibration and Measurement Capabilities*) yang terdaftar pada Lampiran C dokumen CIPM MRA.

Secara umum, uji banding tingkat regional dibagi menjadi dua, yaitu uji banding kunci (*key comparison*) dan uji banding tambahan (*supplementary comparison*). Uji banding kunci dilakukan untuk melihat kemampuan laboratorium dalam merealisasikan standar primer satuan ukuran dan menurunkan ke sebuah peralatan ukur standar. Sebagai contoh, KIM-LIPI telah mengikuti uji banding untuk merealisasikan standar primer suhu berupa beberapa sel-sel titik tetap dan menurunkan nilainya ke termometer tahanan platina standar. Uji banding tambahan dilakukan untuk melihat kemampuan laboratorium dalam mendiseminasikan (menurunkan) nilai sebuah standar (primer maupun sekunder) ke standar yang lebih rendah. Sebagai contoh, KIM-LIPI telah berpartisipasi dalam uji banding termokopel dengan menggunakan termokopel tipe S sebagai standar di mana termokopel tipe S tersebut dikalibrasi terhadap termometer tahanan platina dan sel titik tetap.

Dengan pengakuan secara internasional terhadap kemampuan laboratorium acuan nasional (dalam hal ini KIM-LIPI) tersebut, maka badan akreditasi (KAN) dapat menjadikan laboratorium tersebut sebagai acuan dalam sistem penilaian kesesuaian untuk memberikan layanan akreditasi kepada laboratorium-laboratorium kalibrasi.

Makalah ini mendiskusikan salah satu hasil uji banding yang telah diikuti KIM-LIPI dalam bidang pengukuran suhu, khususnya uji banding kemampuan kalibrasi termometer cairan dalam gelas (selanjutnya disebut termometer gelas). Termometer jenis ini dipakai secara masal terutama di bidang farmasi dan makanan karena sifatnya yang tidak memberikan kontaminasi terhadap bahan atau material yang diukur suhunya. Termometer jenis ini bekerja dengan prinsip pemuaian cairan yang ada di

dalamnya karena pengaruh suhu yang diukur sehingga tidak memerlukan daya listrik dari luar. Selain itu, dengan teknik pemakaian yang benar, termometer jenis ini dapat dipakai secara mudah oleh penggunaannya. Oleh karena itu, jaminan mutu terhadap hasil kalibrasi termometer jenis ini penting untuk dipastikan pemenuhannya.

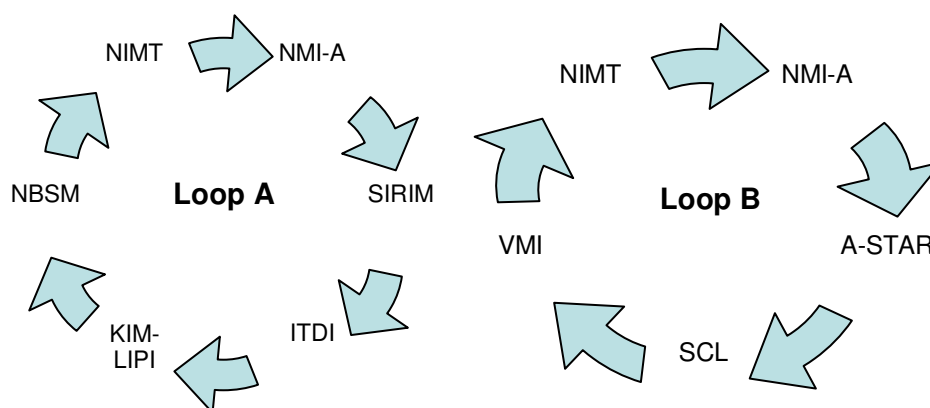
Salah satu parameter tingkat keberhasilan dalam mengikuti uji bading yang dengan mudah dapat dilihat dari nilai angka kesalahan (*error number*) atau nilai En yang didapatkan untuk setiap titik pengukuran. Hasil kalibrasi dinyatakan baik apabila nilai angka kesalahan En tersebut lebih kecil dari 1 (satu). Apabila terdapat titik ukur yang mempunyai nilai angka kesalahan En lebih besar dari 1 (satu) maka perlu dilakukan investigasi untuk mencari sumber kesalahan yang bisa terjadi pada tahap proses kalibrasi maupun pada tahap pengolahan dan analisa data. Parameter lain yang menjadi ukuran keberhasilan adalah nilai ketidakpastian. Untuk termometer gelas, nilai ketidakpastian yang wajar atau dapat diterima adalah sekitar setengah dari nilai skala terkecil, apabila termometer dibaca dengan mata telanjang, tanpa bantuan peralatan optik.

2. METODOLOGI

2.1. Skema

KIM-LIPI telah mengikuti uji banding tingkat regional untuk termometer gelas. Uji banding ini diikuti oleh 9 laboratorium nasional dari 9 negara atau teritorial yang berbeda, yaitu NIMT-Thailand selaku laboratorium koordinator, NMI-Australia selaku koordinator pendamping, SIRIM-Malaysia, ITDI-Filipina, KIM-LIPI Indonesia, NBSM-Nepal, A-Star Singapura, SCL-Hongkong, dan VMI-Vietnam, yang terbagi dalam 2 (dua) loop atau kelompok seperti terlihat pada Gambar 1.

Dapat dilihat pada Gambar 1 bahwa laboratorium koordinator (NIMT) dan koordinator pendamping (NMI-Australia) ada pada kedua loop. Hal ini dilakukan sehingga keduanya dapat menjadi *link* antara nilai dari loop 1 dan nilai dari loop 2. Karena nilai ketidakpastian NMI-Australia jauh lebih kecil dari pada nilai NIMT maka data dari NMI-Australia diputuskan untuk digunakan sebagai *link* kedua loop tersebut. Sementara itu, data dari NIMT digunakan untuk mengecek konsistensi proses *linking* tersebut. Selain itu, koordinator pendamping juga berfungsi sebagai penyalia teknis pelaksanaan uji banding.



Gambar 1 Pengelompokan Peserta Uji Banding

Dalam uji banding ini masing-masing *loop* menggunakan 3 buah termometer gelas sebagai artefak seperti tercantum pada tabel 1. Setiap termometer tersebut telah dikarakterisasi terlebih dahulu oleh laboratorium koordinator sebelum uji banding dimulai untuk mengetahui kestabilannya. Kestabilan merupakan salah satu parameter penting artefak uji banding sehingga hasil kalibrasi setiap peserta dapat dibandingkan dengan benar dan mengurangi sumber-sumber

kesalahan. Kalibrasi artefak pertama kali dilakukan oleh laboratorium koordinator kemudian oleh laboratorium koordinator pendamping dan seterusnya sesuai dengan *loop* pada Gambar 1 dan akhirnya dikalibrasi ulang oleh laboratorium koordinator. Setiap laboratorium peserta mempunyai waktu selama 2-3 pekan untuk melakukan kalibrasi artefak.

Tabel 1 Termometer Artefak Uji Banding

No.	Model	No. Seri	Rentang ukur (°C)	Skala terkecil (°C)	Pencelupan
1	ASTM 62C	9714076 (loop A) 9714085 (loop B)	-38 ~ 2	0,1	total
2	ASTM 120C	9981749 (loop A) 9981771 (loop B)	38,6 ~ 41,4	0,05	total
3	ASTM 40C	59-405 (loop A) 59-999 (loop B)	72 ~ 126	0,2	Parsial (100 mm)

2.2 Kalibrasi

Untuk termometer gelas dengan pencelupan total (artefak 1 dan 2 pada Tabel 1), artefak dicelupkan sedemikian rupa sehingga meniskus artefak tersebut berada kurang lebih 1 (satu) cm di atas permukaan cairan media kalibrasi. Oleh karena itu, kedalaman pencelupan artefak berubah bergantung kepada nilai suhu yang diukur. Sedangkan untuk artefak 3 (termometer gelas dengan pencelupan parsial), artefak dicelupkan pada kedalaman tetap sesuai dengan tanda garis melingkar yang ada pada batang termometer tersebut.

Hal ini sesuai dengan prinsip dasar cara penggunaan termometer gelas yang benar. Semua artefak dikalibrasi terhadap sebuah termometer tahanan platina standar (SPRT-

Standard Platinum Resistance Thermometer) dalam sebuah media kalibrasi berupa cairan. Media cairan lebih disukai daripada media udara seperti tungku dengan kawat pemanas atau *dry-well* karena media cairan mempunyai keseragaman suhu yang lebih baik.

2.3 Faktor Koreksi

Untuk termometer gelas pencelupan parsial, penunjukan suhu akan dipengaruhi oleh suhu ruang. Hal ini disebabkan oleh adanya cairan termometer yang berada di atas permukaan cairan media kalibrasi ketika suhu yang diukur ditunjukkan oleh skala suhu yang berada di atas garis tanda pencelupan. Untuk setiap laboratorium peserta, pengaruh suhu ruang tersebut akan berbeda-beda bergantung kepada

nilai suhu ruang pada saat kalibrasi dilakukan. Oleh karena itu, suhu ruang pada saat kalibrasi harus dilaporkan kepada laboratorium koordinator sehingga laboratorium koordinator dapat menghitung koreksi karena perbedaan suhu ruang di setiap laboratorium peserta. Koreksi karena perbedaan suhu ruang tersebut dihitung menggunakan persamaan (1) di bawah ini.

$$\delta = Kn(t_x - t_{NIMT}) \quad (1)$$

dimana

K = 0,00016, adalah koefisien muai air raksa (cairan termometer)

n = jumlah skala (dalam °C) yang tidak tercelup

t_x = suhu batang termometer yang tidak tercelup yang terukur di laboratorium peserta

t_{NIMT} = suhu batang termometer yang tidak tercelup yang terukur di NIMT

Penentuan Nilai Acuan Uji Banding

Nilai acuan uji banding tidak diambil dari nilai yang diperoleh oleh koordinator (NIMT) maupun koordinator pendamping (NMIA). Seperti telah disebutkan sebelumnya, nilai yang diperoleh oleh laboratorium koordinator pendamping dipakai sebagai penyedia *link* bagi kedua loop sementara nilai dari koordinator digunakan untuk mengecek konsistensi proses *linking* tersebut. Adapun nilai acuan uji banding diperoleh dengan menghitung nilai *weighted average* (rata-rata dengan pembobotan) dari nilai yang diperoleh oleh semua peserta menggunakan persamaan (2) dan (3) sebagai berikut.

$$X_{weighted} = \sum X_i u_i^{-2} / \sum u_i^{-2} \quad (2)$$

$$u_{weighted} = 1 / \sum u_i^{-2} \quad (3)$$

dimana

$X_{weighted}$ = *weighted average* dari nilai yang diperoleh

X_i = nilai yang diperoleh oleh laboratorium peserta ke-i

u_i = ketidakpastian yang diperoleh oleh laboratorium peserta ke-i untuk nilai X_i

$u_{weighted}$ = nilai ketidakpastian dari nilai *weighted average*, $X_{weighted}$

Karena nilai yang diperoleh oleh NMIA digunakan sebagai penyedia *link* untuk kedua loop uji banding, maka nilai ketidakpastian dari

NMIA harus ditambahkan dalam nilai ketidakpastian nilai *weighted average*, $X_{weighted}$ dengan menganggapnya sebagai nilai yang terkorelasi.

Untuk melihat seberapa tepat ketidakpastian pengukuran yang diperkirakan menggambarkan sebaran nilai data yang sebenarnya, digunakan sebuah tools yaitu *Birge ratio* yang dapat dihitung menggunakan persamaan (4) sebagai berikut.

$$Birge_Ratio = \sqrt{\sum (X_i - X_{weighted})^2 u_i^{-2} / (n-1)} \quad (4)$$

dimana

X_i = nilai yang diperoleh oleh laboratorium peserta ke-i

$X_{weighted}$ = *weighted average* dari nilai yang diperoleh

u_i = ketidakpastian yang diperoleh oleh laboratorium peserta ke-i untuk nilai X_i

n = jumlah laboratorium peserta uji banding

Jika sebaran data X_i berada dalam rentang cakupan kesalahan u_i pada data tersebut, maka nilai *Birge ratio* akan kurang dari 1 (Satu) dan jika sebaran data lebih besar dari yang diharapkan, nilai *Birge ratio* akan lebih besar dari 1 (satu). Cara lain untuk menetapkan kebenaran nilai *Birge Ratio* adalah dengan menggunakan kriteria statistik menggunakan persamaan (5). *Birge ratio* dianggap baik (dengan kata lain sebaran data berada dalam cakupan rentang kesalahannya) apabila nilainya lebih kecil dari nilai *Birge Criterion*.

$$Birge_criterion < \sqrt{1 + \sqrt{8/(n-1)}} \quad (5)$$

dimana

n = jumlah laboratorium peserta uji banding

Penentuan Penyimpangan dari Nilai Acuan

Salah satu persyaratan dalam Appendix - F dokumen MRA adalah dilakukannya identifikasi atas penyimpangan signifikan yang terjadi diantara laboratorium peserta. Untuk itu dilakukan perhitungan atas nilai angka kesalahan atau En number dengan persamaan (6) sebagai berikut.

$$E_n = \frac{(X_{lab,i} - X_{weighted})}{\sqrt{U_{lab,i}^2 + U_{weighted}^2}} \quad (6)$$

dimana

$X_{lab,i}$ = nilai yang diperoleh oleh laboratorium pada titik ukur i

X_{weighted} = nilai *weighted average*

$U_{\text{lab},i}$ = ketidakpastian yang diperoleh laboratorium pada titik ukur i

U_{weighted} = ketidakpastian dari nilai *weighted average*

Nilai peserta pada titik ukur i dianggap menyimpang secara signifikan atau *outlier* apabila nilai angka kesalahan En yang diperoleh untuk titik i tersebut lebih besar dari 1 (satu). Namun demikian, nilai angka kesalahan En bukan satu-satunya parameter keberhasilan uji banding. Target nilai En lebih kecil dari 1 (satu) dengan mudah akan tercapai apabila nilai ketidakpastian diperbesar. Oleh karena itu selain nilai En lebih kecil dari (1) satu, nilai ketidakpastian yang didapatkan juga harus

dalam batas kewajaran sebuah termometer. Untuk termometer gelas, batas kewajaran nilai ketidakpastian adalah setengah dari skala terkecil termometer, apabila skala termometer dibaca dengan mata telanjang tanpa bantuan peralatan optik. (Souza Pouza dkk, 2009). ISO 9001:2008 terdiri atas lima persyaratan utama yaitu (1) sistem manajemen mutu (2) tanggung jawab manajemen (3) manajemen sumber daya (4) realisasi produk (5) pengukuran, analisa, dan peningkatan (ISO 9001, 2008). Persyaratan-persyaratan ISO 9001 tersebut berinteraksi mengikuti metodologi *Plan Do Check Action* (PDCA) sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 1.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1 Data Hasil Kalibrasi Termometer ASTM 120C

Peserta	Koreksi suhu dan ketidakpastian (°C)									
	0	ui	39	ui	40	ui	41	ui	0	ui
SIRIM	-0,01	0,065	0,01	0,065	0	0,065	-0,02	0,065	-0,01	0,065
ITDI	-0,03	0,015	-0,02	0,015	-0,03	0,015	-0,04	0,015	-0,03	0,015
KIM-LIPI	-0,02	0,016	0	0,016	-0,02	0,016	-0,02	0,016	-0,02	0,016
SPRING	-0,025	0,008	-0,015	0,008	-0,01	0,008	-0,015	0,008	-0,025	0,008
SCL	-0,03	0,008	-0,01	0,01	-0,01	0,01	-0,01	0,01	-0,03	0,008
VMI	-0,035	0,006	-0,012	0,006	-0,008	0,006	-0,011	0,006	-0,035	0,006
NBSM	0	0,065	0,05	0,065	0,05	0,065	0,05	0,065	0	0,065
NIMTA _v	0	0,01	0,004	0,01	-0,001	0,01	-0,005	0,01	0,001	0,01
NMIA Av	0	0	0	0,003	0	0,003	0	0,003	0	0,002
W-AVG	-0,003	0,002	-0,003	0,004	-0,005	0,004	-0,006	0,004	-0,002	0,002

Tabel 2.a Data Hasil Kalibrasi Termometer ASTM 40C

Peserta	Koreksi suhu dan ketidakpastian (°C)							
	75	ui	90	ui	100	ui	105	ui
SIRIM	0,061	0,24	-0,004	0,24	-0,064	0,24	-0,091	0,24
ITDI	-0,084	0,09	-0,188	0,09	-0,262	0,09	0,09	0,09
KIM-LIPI	-0,007	0,12	-0,036	0,12	-0,091	0,12	-0,066	0,12
NIMT, i B	0,034	0,017	-0,058	0,017	-0,05	0,017	-0,036	0,017
NMIA, B	-0,018	0,2	-0,065	0,2	-0,079	0,2	-0,094	0,2
SPRING	0,003	0,017	-0,029	0,017	-0,045	0,017	-0,053	0,017
SCL	-0,016	0,04	-0,049	0,04	-0,057	0,04	-0,091	0,04
VMI	-0,014	0,08	-0,069	0,08	-0,067	0,08	-0,101	0,08
NBSM	-0,027	0,069	-0,135	0,069	-0,088	0,069	-0,135	0,069
NIMTA _v	-0,022	0,1	-0,021	0,1	-0,026	0,1	-0,025	0,1
NMIAA _v	0	0,007	0	0,007	0	0,007	0	0,007

Peserta	Koreksi suhu dan ketidakpastian (°C)							
	75	ui	90	ui	100	ui	105	ui
W-AVG	-0,013	0,009	-0,019	0,009	-0,017	0,009	-0,013	0,009

Tabel 1 memperlihatkan hasil kalibrasi semua laboratorium peserta untuk termometer gelas ASTM 120C dengan rentang (0 ~ 41) °C, sedangkan Tabel 2.a dan Tabel 2.b untuk termometer gelas ASTM 40C dengan rentang (75 ~ 125) °C. Hasil kalibrasi untuk termometer ASTM 62C dengan ukur (-38 ~ 2) °C tidak ditampilkan dan tidak dibahas di sini karena Puslit KIM-LIPI tidak melakukan pengukuran untuk termometer tersebut. Hasil kalibrasi dilaporkan dalam bentuk nilai koreksi dan ketidakpastian untuk setiap titik ukur yang tertulis pada baris ke-2 pada tabel-tabel tersebut. Nilai

NIMT adalah nilai rata-rata dari 4 kali pengukuran, masing-masing dua kali pengukuran pada setiap loop A dan B, di awal dan di akhir siklus. Nilai NMIA adalah nilai rata-rata dari dua kali pengukuran, yaitu masing-masing satu kali dari setiap loop A dan B. Seperti telah dijelaskan sebelumnya, nilai acuan uji banding dihitung menggunakan nilai *weighted average* (baris terakhir pada Tabel 1, 2.a dan 2.b) menggunakan persamaan (2), sementara ketidakpastian nilai acuan dihitung menggunakan persamaan (3).

Tabel 2.b Data Hasil Kalibrasi Termometer ASTM 40C

Peserta	Koreksi suhu dan ketidakpastian, ui (°C)					
	110	ui	125	ui	75	ui
SIRIM	-0,072	0,24	-0,123	0,24	0,053	0,24
ITDI	-0,288	0,09	-0,459	0,09	-0,182	0,09
KIM-LIPI	-0,073	0,12	-0,045	0,12	0,003	0,12
NIMT, i B	-0,037	0,018	-0,069	0,017	0,032	0,021
NMIA, B	-0,076	0,2	0,005	0,2	-0,012	0,2
SPRING	-0,075	0,017	-0,034	0,017	-0,011	0,017
SCL	-0,121	0,04	-0,078	0,04	-0,032	0,04
VMI	-0,135	0,08	-0,108	0,08	-0,019	0,08
NBSM	-0,21	0,069	-0,114	0,069	-0,056	0,069
NIMTAV	-0,019	0,1	0,001	0,1	-0,034	0,1
NMIAAV	0	0,007	0	0,007	0	0,008
W-AVG	-0,036	0,01	-0,038	0,01	-0,02	0,01

Tabel 3 dan Tabel 4 memperlihatkan hasil perhitungan *Birge Ratio* untuk kedua termometer menggunakan persamaan (4). Untuk termometer ASTM 40C, dengan menyertakan data seluruh laboratorium peserta, angka *Birge Ratio* yang diperoleh (Kolom 2 Tabel 4) lebih besar dari *Birge Criterion* yang diijinkan (Kolom 3 Tabel 4). Hal ini menunjukkan adanya laboratorium yang estimasi ketidakpastiannya terlalu kecil. Dengan melihat data dari setiap peserta pada Tabel 2.a dan 2.b, dapat dilihat adanya data yang outlier dan menyebabkan Uji Birge tidak lulus, yaitu data dari ITDI Filipina untuk termometer gelas ASTM 40C dengan rentang (72- 126) °C. Pada

Tabel 2.a dan Tabel 2.b baris ke-4 dapat dilihat bahwa nilai koreksi yang dilaporkan oleh ITDI untuk termometer tersebut jauh lebih besar dibandingkan nilai yang dilaporkan oleh peserta lain. Hal ini, di antaranya, karena ITDI tidak memberikan informasi tentang suhu batang termometer yang tidak tercelup sehingga NIMT selaku koordinator tidak dapat menghitung faktor koreksi karena perbedaan suhu ruang antara laboratorium ITDI dan NIMT (persamaan 1).

Fakta ini menjadi bukti tentang pentingnya pengukuran suhu batang termometer tidak tercelup pada kalibrasi termometer gelas dengan pencelupan parsial.

Tabel 3 *Birge test* ASTM 120C

Titik ukur (°C)	<i>Birge test</i> untuk semua peserta	
	Birge ratio	Birge criterion
0	0,85	1,41
39	0,75	
40	0,95	
41	0,95	
0	0,71	

Apabila nilai dari ITDI tidak dimasukkan dalam perhitungan maka hanya ada 2 (dua) nilai Birge ratio yang tidak memenuhi, yaitu pada titik ukur 110 °C dan 125 °C (Tabel 4 Kolom 4 Baris 6 dan 7). Oleh karena itu, nilai *weighted average* dan ketidakpastian untuk nilai acuan dihitung ulang

tanpa memasukkan nilai dari ITDI Filipina (Tabel 4 Kolom 6 dan 7). Dengan kata lain, dapat disimpulkan bahwa nilai hasil kalibrasi Puslit KIM-LIPI tidak mengakibatkan penyimpangan Birge ratio dari *Birge criterion* sehingga dimasukkan dalam perhitungan Birge ratio

Tabel 4 *Birge test* ASTM 40C

Titik ukur (°C)	<i>Birge test</i> untuk semua peserta		<i>Birge test</i> tanpa ITDI		Reference value without ITDI (°C)	
	Birge ratio	Birge criterion	Birge ratio	Birge criterion	Correction	u
75	1,18	1,44	0,65	1,47	-0,008	0,009
90	1,74		1,43		-0,014	0,009
100	1,92		0,70		-0,008	0,009
105	1,66		1,41		-0,018	0,009
110	2,83		2,00		-0,025	0,01
125	3,66		1,58		-0,02	0,01
75	1,93		0,73		-0,01	0,01

Untuk mengidentifikasi adanya penyimpangan hasil uji banding, nilai angka kesalahan En untuk setiap peserta dihitung dengan menggunakan nilai acuan, yaitu nilai *weighted average*, dan

ketidakpastiannya sebagai pembanding. Tabel 5 dan 6 memperlihatkan nilai kesalahan En termometer ASTM 120C dan ASTM 40C untuk setiap peserta.

Tabel 5 Nilai Angka Kesalahan En untuk Termometer ASTM 120C

Peserta	En (k=2)				
	0° C	39 °C	40 °C	41 °C	0 °C
SIRIM	0,11	0,07	0,04	-0,01	0,12
ITDI	-0,20	-0,68	-0,79	-0,68	-0,15
KIM-LIPI	0,12	-0,03	-0,44	-0,04	0,17
SPRING	0,06	-0,12	0,09	-0,07	0,09
SCL	-0,26	0,14	0,07	0,18	-0,22
VMI	-0,70	0,07	0,25	0,20	-0,66
NBSM	0,20	0,48	0,47	0,49	0,20
NIMTA _v	0,15	0,32	0,16	0,04	0,18
NMIAA _v	0,49	0,30	0,47	0,61	0,41

Tabel 6 Nilai Angka Kesalahan En untuk Termometer ASTM 40C

Peserta	En (k=2)						
	75 °C	90 °C	100 °C	105 °C	110 °C	125 °C	75 °C
SIRIM	0,14	0,28	-0,02	-0,15	-0,04	-0,14	0,13
ITDI	-1,20	-1,27	-2,22	1,57	-2,45	-4,02	-2,22
KIM-LIPI	-0,27	0,28	-0,27	-0,10	-0,09	0,36	-0,16
SPRING	-0,24	-0,14	-0,09	-0,44	-0,45	-0,52	-0,24
SCL	-0,11	-0,31	-0,17	-0,36	-0,42	-0,65	0,03
VMI	-0,30	-1,30	-0,48	-0,88	-1,53	-0,83	-0,49
NIMTA _v	-0,07	-0,04	-0,09	-0,03	0,03	0,10	-0,12
NMIAA _v	0,35	0,59	0,36	0,78	1,05	0,85	0,40

Dapat dilihat pada tabel tersebut bahwa semua nilai kesalahan En untuk Puslit KIM-LIPI berada di bawah angka 1 (satu) dengan nilai tertinggi senilai 0,44 untuk termometer ASTM 40C pada suhu 40 °C (Tabel 5 Kolom 4 Baris 5). Dapat dilihat pula dari data pada Tabel 1, 2.a dan 2.b bahwa nilai ketidakpastian yang diberikan oleh Puslit KIM-LIPI memenuhi kriteria ketidakpastian termometer gelas secara umum, yaitu sekitar setengah dari skala terkecil termometer tersebut. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa hasil kalibrasi termometer gelas untuk rentang 0 sampai dengan 125 °C yang dilakukan oleh Puslit KIM-LIPI tidak berbeda secara signifikan dibandingkan dengan nilai acuan. Dengan kata lain, Puslit KIM-LIPI telah dapat melakukan kalibrasi termometer gelas dengan benar.

4. KESIMPULAN

Dari diskusi di atas dapat disimpulkan bahwa Subbidang Metrologi Suhu Puslit KIM-LIPI telah mengikuti uji banding antar laboratorium nasional tingkat Asia Pasifik dengan hasil yang memuaskan. Hal ini ditunjukkan dengan nilai angka kesalahan En yang lebih kecil dari satu untuk semua titik ukur yang diikuti, dengan nilai terbesar 0,44, serta nilai ketidakpastian yang masih dalam batas kewajaran, yaitu setengah dari nilai skala terkecil. Selain itu, hal tersebut juga diperkuat dengan hasil kalibrasi yang tidak berkontribusi pada gagalnya *Birge test* seperti halnya hasil kalibrasi ITDI Filipina. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa Subbidang Metrologi Suhu Puslit KIM-LIPI sudah mampu melakukan kalibrasi termometer gelas dengan hasil yang memuaskan. Pengakuan internasional

terhadap kemampuan ini ditunjukkan dengan terdaptarnya kemampuan kalibrasi termometer gelas Puslit KIM-LIPI pada terminal data uji banding kunci BIMP, khususnya pada Lampiran C dokumen CIPM MRA.

DAFTAR PUSTAKA

- Bentley, R. (2003). *Handbook of Thermometry*. Lindfield, Australia. Springer.
- BIPM. *Key Comparison Data Base (KCDB)*. <http://kcdb.bipm.org/default.asp>, diakses pada tanggal 10 Juli 2011.
- BSN. (2008). *SNI-19-17025-2008, Persyaratan Kompetensi Laboratorium Kalibrasi dan Penguji*. Jakarta.
- Jahan, F., Ballico, J.M. (2006). *Final Report APMP-T-S1-04, APMP Regional Comparison of Type R (Pt-Pt13%Rh) Thermocouples from 0 to 1100°C*. Lindfield, Australia.
- Jahan, F., Ballico, J.M. (2007). *Metrologia*. 44, Tech. Suppl. 03004.
- Kacker, R., Dalta, A., Parr A. (2002), *Metrologia*. 39, 279-293.
- Nguyen, M.K., Ballico, J. M. (2005). *Final report on APMP.T-K3: Key comparison of realizations of the ITS-90 over the range – 38.8344 °C to 419.527 °C using an SPRT*. Lindfield, Australia.
- NIMT. (2004). *The protocol for APMP Liquid-in-Glass Thermometer Comparison*. Thailand.