

## VALIDASI SISTEM KALIBRASI HIDROMETER MENGGUNAKAN METODE CUCKOW MELALUI PROGRAM *INTER-LABORATORY COMPARISON*

### *Validation of Hydrometer Calibration System was Using Cuckow's Method through Inter-Laboratory Comparison Programme*

Heri Sutanto, Renanta Hayu dan Zuhdi Ismail

Pusat Penelitian Metrologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia  
Kawasan Puspiptek Serpong, Gedung 420, Setu, Tangerang Selatan, Banten, Indonesia  
E-mail: heri.stnt@gmail.com

Diterima: 24 Februari 2016, Direvisi: 12 Juli 2016, Disetujui: 18 Juli 2016

#### Abstrak

Laboratorium densitas Pusat Penelitian Metrologi – LIPI telah melakukan validasi sistem kalibrasi hidrometer melalui uji banding internasional atau *inter-laboratory comparison* secara bilateral dengan *Laboratoire National de Métrologie et d'Essais* – Perancis. ILC dilakukan untuk rentang ukur hidrometer  $600 \text{ kg/m}^3 \sim 2000 \text{ kg/m}^3$ . Metode yang digunakan dalam sistem kalibrasi hidrometer adalah metode Cuckow dengan 2 buah hidrometer standar dari jenis *milk hydrometer* yang berentang ukur  $1025 \text{ kg/m}^3 \sim 1037 \text{ kg/m}^3$  dan *alcoholometer* yang berentang ukur 90 % vol/vol ~ 100 % vol/vol, nilai densitas sekitar  $800 \text{ kg/m}^3$  sebagai artefak. Cairan acuan yang digunakan yaitu *tridecane* ( $\text{C}_{13}\text{H}_{28}$ ) yang tertelusur ke *solid glass sphere* milik P2M – LIPI. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran P2M – LIPI dengan LNE. Berdasarkan analisis *En number*, diperoleh nilai antara -0,09 sampai -0,65 untuk semua titik pengukuran, sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem dan metode yang digunakan P2M – LIPI untuk mengkalibrasi hidrometer memiliki hasil pengukuran yang setara dengan negara lain.

**Kata kunci:** Puslit Metrologi – LIPI, validasi, ILC, LNE – Perancis, hidrometer.

#### Abstract

The density laboratory of the Center of Research Center for Metrology – LIPI has validating the hydrometer calibration system through *Inter-laboratory comparison (ILC)* bilaterally with *Laboratoire National de Métrologie et d'Essais* – France. The ILC conducted for hydrometer range  $600 \text{ kg/m}^3 \sim 2000 \text{ kg/m}^3$ . The method used in the hydrometer calibration is Cuckow's method with 2 standard hydrometers of milk hydrometer with measurement range  $1025 \text{ kg/m}^3 \sim 1037 \text{ kg/m}^3$  and alcoholometer with measurement range 90 % vol/vol ~ 100 % vol/vol, the density value about  $800 \text{ kg/m}^3$  as the artefacts. The reference liquid used is *tridecane* ( $\text{C}_{13}\text{H}_{28}$ ) traceable to a solid glass sphere belongs P2M – LIPI. The validation is done by comparing the measurement result of the P2M – LIPI with LNE Based on the analysis of *En number*, values obtained between -0,09 to -0,65 for all measurement points, so it can be concluded that the systems and methods used P2M – LIPI to calibrate a hydrometer has similar measurement results with other countries.

**Keywords:** Research Center for Metrology – LIPI, validation, ILC, LNE – France, hydrometer.

## 1. PENDAHULUAN

Pusat Penelitian Metrologi – LIPI (P2M – LIPI) telah membangun sistem penimbangan hidrostatis (*hydrostatic weighing system*) untuk mengukur densitas suatu hidrometer menggunakan metode Cuckow. Sistem yang dibangun pada tahun 2008 tersebut digunakan untuk melayani lingkup kalibrasi hidrometer dengan rentang ukur ( $600 \sim 2000$ )  $\text{kg/m}^3$ . Pada tahun 2011, dilakukan proses akreditasi oleh Komite Akreditasi Nasional (KAN) dengan mendatangkan asesor dari *Korea Research Institute of Standards and Science* (KRISS).

Proses akreditasi, hasil pengukuran dengan menggunakan sistem tersebut harus divalidasi, salah satu caranya dengan mengikuti program *Inter-Laboratory Comparison (ILC)* yang diselenggarakan oleh *Asia-Pasifik Metrology Programme* (APMP) atau dengan negara lain yang telah mengikuti ILC sebelumnya dan mendapatkan hasil yang baik.

Pada tahun 2014 melalui *EU – Indonesia Trade Support Programme II* (TSP II), laboratorium densitas P2M – LIPI melakukan 2 (dua) ILC secara bilateral (*bilateral comparison*) dengan *Laboratoire National de Métrologie et d'Essais - France* (LNE – Perancis). Kedua ILC

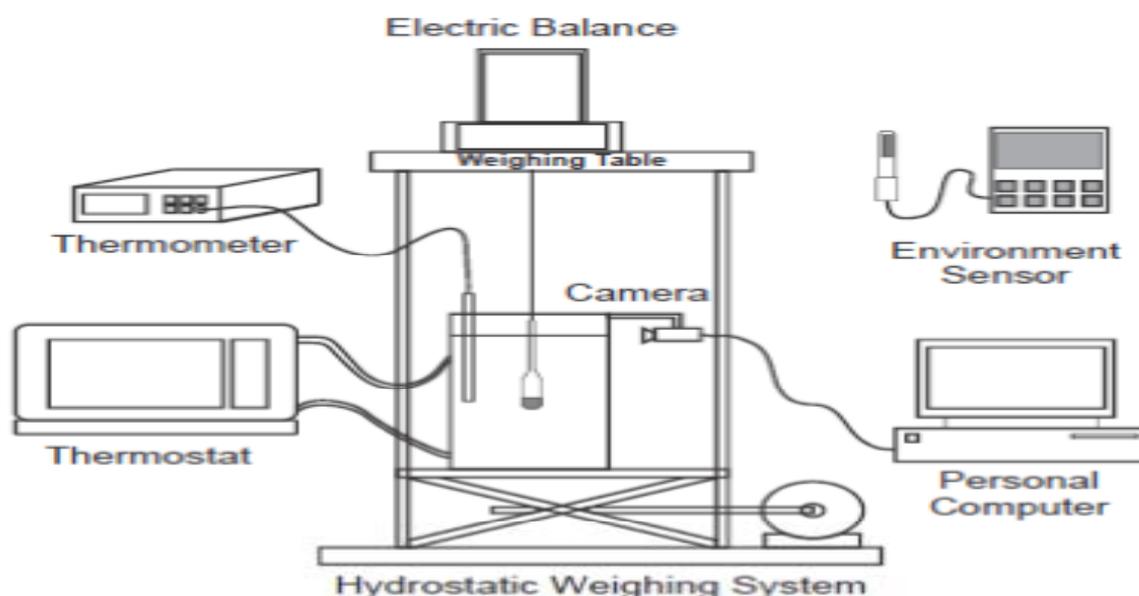
tersebut yaitu kalibrasi hidrometer standar dengan nomor registrasi EURAMET n°1314 dan kalibrasi standar densitas padatan dengan nomor registrasi EURAMET n°1316.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk memvalidasi sistem kalibrasi hidrometer yang dimiliki oleh P2M – LIPI menggunakan metode Cuckow melalui uji banding dengan LNE-Perancis dengan target *En number* dari perbandingan hasil dan ketidakpastian pengukuran P2M – LIPI dengan LNE – Perancis berada pada kisaran nilai -1 dan +1.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Sistem Penimbangan Hidrostatik

Penimbangan hidrostatik adalah metode kalibrasi umum yang diterima oleh sebagian besar laboratorium lembaga metrologi nasional untuk mengkalibrasi hidrometer yang berentang ukur antara  $500 \text{ kg/m}^3$  dan  $2000 \text{ kg/m}^3$  dengan nilai ketidakpastian setengah dari nilai skala pembagi (Lorefice & Malengo, 2006). Sistem tersebut merupakan sistem yang paling akurat dalam menentukan nilai densitas suatu padatan dan cairan (OIML R111:2004). Sistem penimbangan hidrostatik yang digunakan untuk mengkalibrasi hidrometer memiliki skema berikut:



Gambar 1 Skema sistem penimbangan hidrostatik.

Sistem penimbangan hidrostatik terdiri dari beberapa peralatan diantaranya: timbangan elektronik yang digunakan untuk menimbang massa hidrometer di udara dan massa hidrometer di cairan acuan, termometer cairan yang berfungsi untuk mengukur suhu cairan acuan, termostat dan sirkulator untuk menjaga suhu cairan acuan pada kisaran suhu  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , *liquid bath* untuk menempatkan cairan acuan (*tridecane*) dan air destilasi yang menjaga suhu cairan acuan, sensor kondisi lingkungan untuk mengetahui densitas udara ruang kalibrasi, *lifter* yang berfungsi untuk mengatur ketinggian permukaan cairan acuan, dan komputer yang berfungsi untuk mengontrol keseluruhan sistem (kamera, *lifter*, dan timbangan). Peralatan yang dipergunakan dalam sistem penimbangan hidrostatik pada masing-masing laboratorium

berbeda-beda berdasarkan kebutuhan dan ketelitian dari hidrometer yang dikalibrasi.

### 2.2 Metode Cuckow

Metode Cuckow adalah suatu metode yang digunakan untuk mengkalibrasi hidrometer dengan rentang  $600 \text{ kg/m}^3 \sim 2000 \text{ kg/m}^3$  menggunakan sistem penimbangan hidrostatik dan pertama kali diperkenalkan oleh Cuckow (Lorefice & Malengo, 2006). Metode ini didasarkan pada perhitungan daya apung (*buoyancy force*) dari hidrometer ketika di udara dan di cairan acuan. Hidrometer yang akan dikalibrasi ditimbang di udara dan kemudian ditimbang di cairan acuan pada skala tertentu yang berhimpit dengan permukaan cairan acuan (Lorefice & Malengo, 2006). Kedalaman hidrometer atau posisi permukaan cairan acuan dapat diatur dengan cara menaikkan atau

menurunkan posisi *liquid bath*. Nilai densitas hidrometer yang dikalibrasi dapat dihitung menggunakan persamaan (1) (Lorefice,

Heinonen, & Madec, 2000 dan Umit, Akcadag, & San, 2001).

$$\rho_x = (\rho_L - \rho_a) \times \frac{[M_a(1 - \frac{\rho_a}{\rho_s}) + \pi D \gamma_x g^{-1}]}{[M_a(1 - \frac{\rho_a}{\rho_s}) + S_L(1 - \frac{\rho_a}{\rho_s}) - M_L(1 - \frac{\rho_a}{\rho_s}) + \pi D \gamma_L g^{-1}]} \times [1 + \beta(t - t_r)] + \rho_a \quad (1)$$

Keterangan:

- $\rho_x$  = nilai densitas hidrometer yang dikalibrasi
- $\rho_L$  = densitas cairan acuan
- $\rho_a$  = densitas udara selama penimbangan di udara
- $\rho'_a$  = densitas udara selama penimbangan di cairan acuan
- $\rho_s$  = densitas anak timbangan acuan yang digunakan saat penimbangan di udara
- $\rho'_s$  = densitas anak timbangan acuan yang digunakan saat penimbangan di cairan acuan
- $M_a$  = massa konvensional dari hidrometer saat penimbangan di udara
- $M_L$  = massa konvensional dari hidrometer saat penimbangan di cairan acuan
- $t$  = suhu cairan acuan saat kalibrasi hidrometer
- $t_r$  = suhu acuan dari hidrometer
- $\beta$  = koefisien kubik ekspansi termal dari material hidrometer
- $\gamma_L$  = *surface tension* dari cairan acuan
- $\gamma_x$  = *surface tension* dari cairan untuk hidrometer yang akan dikalibrasi
- $g$  = percepatan gravitasi
- $S_L$  = massa konvensional dari beban tambahan di cairan acuan
- $D$  = diameter *stem* hidrometer

Sumber-sumber ketidakpastian dari hasil kalibrasi hidrometer dapat dikelompokkan menjadi beberapa kelompok yang berkontribusi, diantaranya yaitu:

Tabel 1 Sumber-sumber ketidakpastian hasil kalibrasi hidrometer.

Kontribusi ketidakpastian	Sumber ketidakpastian	Simbol
Penimbangan hidrometer	Massa hidrometer di udara	$uM_a$
	Massa hidrometer di cairan acuan	$uM_L$
Cairan acuan ( <i>tridecane</i> )	Massa beban tambahan di cairan acuan	$uS_L$
	Densitas cairan acuan	$u\rho_L$
	<i>Surface tension</i> cairan acuan	$u\gamma_L$
Artefak hidrometer	Suhu cairan acuan	$ut$
	Diameter <i>stem</i> hidrometer	$uD$
	Koefisien kubik ekspansi termal hidrometer	$u\beta$
Kondisi Lingkungan	Densitas udara	$u\rho_a$
	Percepatan gravitasi	$ug$
Proses pengukuran	Pengaturan meniskus	$u^2\delta_{men}$

Nilai ketidakpastian hasil kalibrasi hidrometer dari beberapa sumber ketidakpastian dapat dianalisa dengan persamaan:

$$u^2\rho_x = \left\{ \left(\frac{\partial\rho_x}{\partial\rho_L}u\rho_L\right)^2 + \left(\frac{\partial\rho_x}{\partial\rho_a}u\rho_a\right)^2 + \left(\frac{\partial\rho_x}{\partial M_a}uM_a\right)^2 + \left(\frac{\partial\rho_x}{\partial M_L}uM_L\right)^2 + \left(\frac{\partial\rho_x}{\partial\rho'_a}u\rho'_a\right)^2 + \left(\frac{\partial\rho_x}{\partial t}ut\right)^2 + \left(\frac{\partial\rho_x}{\partial\beta}u\beta\right)^2 + \left(\frac{\partial\rho_x}{\partial\gamma_L}u\gamma_L\right)^2 + \left(\frac{\partial\rho_x}{\partial g}ug\right)^2 + \left(\frac{\partial\rho_x}{\partial S_L}uS_L\right)^2 + \left(\frac{\partial\rho_x}{\partial D}uD\right)^2 + u^2\delta_{men} \right\} \quad (2)$$

### 2.3 Artefak *Inter-Laboratory Comparison*

Pada ILC ini, artefak yang digunakan yaitu dua buah hidrometer standar dari jenis *milk hydrometer* dan *alcoholometer*. Kedua hidrometer tersebut memiliki spesifikasi masing-masing (EURAMET, 2014), yang diuraikan pada Tabel 2.

### 2.4 Validasi

Mengevaluasi hasil pengukuran dan memvalidasi sistem beserta metode kalibrasi

hidrometer yang dimiliki P2M – LIPI menggunakan analisis berdasarkan *En number*, yaitu analisis bilangan kesalahan yang dinormalisasi. Hasil yang baik ditunjukkan dengan nilai *En* diantara rentang -1 dan +1. Nilai *En* dapat dihitung dengan persamaan (Madec, 2014) berikut:

$$En = \frac{\rho_{P2M} - \rho_{LNE}}{\sqrt{U\rho_{P2M}^2 + U\rho_{LNE}^2}} \quad (3)$$

Keterangan:

- $\rho_{P2M}$  = Hasil kalibrasi hidrometer P2M - LIPI
- $\rho_{LNE}$  = Hasil kalibrasi hidrometer LNE - Perancis

$U_{\rho_{P2I}}$  = Ketidakpastian bentangan ( $k = 2$ , tingkat kepercayaan 95%) dari hasil kalibrasi hidrometer P2M – LIPI

$U_{\rho_{LNE}}$  = Ketidakpastian bentangan ( $k = 2$ , tingkat kepercayaan 95%) dari hasil kalibrasi hidrometer LNE – Perancis

Tabel 2 Spesifikasi artefak hidrometer ILC.

Karakteristik	Hidrometer 1	Hidrometer 2
Besaran yang diukur	Densitas	Densitas
Tipe hidrometer	<i>Milk Hydrometer</i>	<i>Alcoholometer</i>
Nomor seri	3045	684
Rentang ukur	(1025 ~ 1037) kg/m <sup>3</sup>	(90 ~ 100) % vol/vol
Resolusi	0,1 kg/m <sup>3</sup>	0,1 % vol/vol
Suhu acuan	20 °C	20 °C
Koefisien ekspansi termal	(25±2,5).10 <sup>-6</sup> /°C	(25±2,5).10 <sup>-6</sup> /°C

### 3. METODE PENELITIAN

Kalibrasi hidrometer di P2M – LIPI dilakukan dengan sistem penimbangan hidrostatis menggunakan metode Cuckow yang mengacu pada prosedur I.MM.2.02 tentang kalibrasi hidrometer. Cairan acuan yang digunakan yaitu cairan *tridecane* (C<sub>13</sub>H<sub>28</sub>) yang telah diukur nilai densitasnya pada suhu 19,5 °C ~ 20,5 °C dengan menggunakan standar densitas padatan berupa *solid glass sphere* yang tertelusur ke besaran primer densitas air destilasi (Sutanto & Eka, 2012).

Peralatan yang digunakan pada sistem penimbangan hidrostatis untuk kalibrasi hidrometer terdiri dari, timbangan elektronik CP224S dengan kapasitas 220 g dan resolusi 0,0001 g untuk penimbangan hidrometer di udara, dan timbangan elektronik CC1201 dengan kapasitas 1200 g dan resolusi 0,0001 g untuk penimbangan hidrometer di cairan *tridecane*. Termometer cairan Pt-100 dengan indikator multimeter 33401A, 6½ digit, yang mampu mendeteksi perubahan suhu sekitar 0,001 °C. *Liquid temperatur control* model TC-502D dan sirkulator Lauda tipe D8/17 digunakan untuk menjaga suhu cairan *tridecane* pada kisaran suhu 20 °C. Sensor kondisi lingkungan menggunakan almemo dengan resolusi sensor suhu udara 0,01 °C, resolusi sensor kelembaban udara 0,1 %, dan resolusi sensor tekanan 0,1

mbar. *Vernier caliper* dengan resolusi 0,01 mm untuk mengukur diameter *stem* hidrometer.

Kalibrasi hidrometer dilakukan dalam beberapa tahapan, seperti pengukuran diameter *stem* hidrometer, penimbangan massa hidrometer di udara, pengukuran *surface tension* cairan *tridecane*, penimbangan massa hidrometer di cairan *tridecane*, penimbangan massa beban tambahan di cairan *tridecane*. Pengukuran *surface tension* cairan *tridecane* dilakukan dengan menggunakan metode plat *wilhelmy*. Massa beban tambahan digunakan ketika hidrometer yang dikalibrasi memiliki densitas nominal kurang dari 900 kg/m<sup>3</sup>, agar posisi hidrometer tetap vertikal (tidak miring) saat kalibrasi berlangsung.

Pelaksanaan ILC bilateral antara P2M – LIPI dengan LNE – Perancis dimulai pada bulan April 2014 dan berakhir pada bulan Oktober 2014, dengan skema pengukuran P2M – LIPI melakukan pengukuran pada bulan September 2014 dan LNE – Perancis melakukan pengukuran sebelum dan sesudahnya (LNE – P2M – LNE). Masing-masing artefak dikalibrasi pada 3 titik ukur, untuk hidrometer jenis *milk hydrometer* dengan rentang ukur 1025 kg/m<sup>3</sup> ~ 1037 kg/m<sup>3</sup> dikalibrasi pada titik ukur 1026 kg/m<sup>3</sup>, 1031 kg/m<sup>3</sup> dan 1036 kg/m<sup>3</sup>. Pengukuran hidrometer jenis *alcoholometer* dengan rentang ukur 90 % vol/vol ~ 100% vol/vol dikalibrasi pada titik ukur 91 % vol/vol, 95 % vol/vol dan 99% vol/vol dengan nilai densitas nominal secara berurutan yaitu 825,83 kg/m<sup>3</sup>, 811,38 kg/m<sup>3</sup> dan 794,25 kg/m<sup>3</sup>. Hasil kalibrasi dan ketidakpastian dari masing- masing titik ukur dilaporkan dalam satuan kg/m<sup>3</sup>.

Hasil dan ketidakpastian dari perhitungan menggunakan persamaan (1) dan (2) dibandingkan dengan hasil dan ketidakpastian hasil kalibrasi LNE – Perancis yang dianalisis menggunakan persamaan (3) untuk mendapatkan nilai *En number*.

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

P2M – LIPI melakukan pengukuran pada tanggal 2 September - 22 Oktober 2014 untuk kedua hidrometer artefak ILC, dengan persyaratan kondisi lingkungan ruang kalibrasi yang ditunjukkan pada Tabel 3. Persyaratan kondisi lingkungan pada Tabel 3 tersebut harus dipenuhi selama proses kalibrasi hidrometer berlangsung, untuk memperoleh konsistensi dan mutu hasil kalibrasi hidrometer.

Tabel 3 Persyaratan kondisi lingkungan ruang kalibrasi hidrometer.

Kondisi Lingkungan	Persyaratan
Temperatur Ruang	(19~21) °C, dengan variasi temperatur $\pm 0,5$ °C selama pengukuran (1,5 jam)
Kelembaban Relatif	(40~60) %, dengan variasi kelembaban relatif $\pm 5$ % selama pengukuran (1,5 jam)
Temperatur Cairan Acuan	(19,5 ~20,5) °C, dengan variasi temperatur $\pm 0,3$ °C selama pengukuran (1,5 jam)

Hasil tahapan pengukuran yang dilakukan pada proses kalibrasi hidrometer mendapatkan data untuk beberapa komponen, sedangkan data untuk komponen yang lain dapat diperoleh dari estimasi atau pengukuran sebelumnya. Berikut komponen-komponen yang diperlukan untuk mendapatkan hasil kalibrasi hidrometer dan cara mendapatkan data komponen tersebut (Lorefice & Malengo, 2006).



Gambar 2 Milk hydrometer.



Gambar 3 Alcoholometer.

Berdasarkan Tabel 4, diketahui bahwa data untuk masing-masing komponen diestimasi dengan cara yang berbeda. Cara mengukur komponen massa hidrometer di udara, di cairan dan massa beban tambahan, penimbangan dilakukan dengan metode substitusi ABBA dan ABA, dengan A dan B anak timbangan acuan dan massa yang diuji. Pengukuran suhu cairan acuan digunakan sebagai dasar untuk menentukan nilai densitas cairan acuan dengan persamaan hasil kalibrasi pada suhu 19,5 °C ~ 20,5 °C yang telah dilakukan sebelumnya. Kalibrasi dilakukan menggunakan *solid glass sphere* milik P2M – LIPI yang tertelusur ke *Korea Research Institute of Standards and Science (KRISS)* – Korea. Berdasarkan cara mendapatkan data untuk masing masing komponen pada Tabel 4, diperoleh data pengukuran seperti pada *alcoholometer* dengan titik ukur 95 % vol/vol (811,38 kg/m<sup>3</sup>).

Berdasarkan Tabel 5, dapat diketahui nilai dan satuan untuk masing-masing komponen pada kalibrasi hidrometer. Nilai ketidakpastian pengukuran untuk masing-masing komponen ditunjukkan pada kolom kelima (U) dan kolom distribusi menggambarkan pola sebaran data dari masing-masing komponen.

Kolom ketujuh (ci) adalah koefisien sensitivitas yang menggambarkan pengaruh masing-masing komponen terhadap nilai ketidakpastian. Koefisien sensitivitas digunakan untuk membawa satuan masing-masing komponen yang berbeda-beda kesatuan ketidakpastiannya g/cm<sup>3</sup>. Kolom terakhir ((ci.ui)<sup>2</sup>) adalah kolom yang dapat menggambarkan kontribusi masing-masing komponen terhadap nilai ketidakpastian hasil kalibrasi atau pengukuran.

Tabel 4 Komponen-komponen kalibrasi hidrometer dan estimasi nilainya.

Komponen	Simbol	Estimasi Nilai
Massa hidrometer di udara	$M_a$	Penimbangan hidrometer di udara
Massa hidrometer di cairan	$M_L$	Penimbangan hidrometer di cairan acuan
Densitas cairan acuan	$\rho_L$	Persamaan hasil kalibrasi cairan acuan pada suhu (19,5 ~ 20,5) °C berdasarkan pengukuran suhu cairan acuan (Sutanto & Eka, 2012)
Densitas udara	$\rho_a, \rho_a'$	Perhitungan berdasarkan pengukuran suhu, kelembaban dan tekanan udara menurut formula CIPM 2007 (Picard, Davis, Glaser & Fujii, 2008)
Suhu cairan acuan	$t$	Pengukuran suhu cairan acuan saat pengukuran
Suhu acuan hidrometer	$t_r$	Dokumen acuan atau manual dari hidrometer
Koef. Eksp. Termal	$\beta$	Acuan material atau bahan hidrometer
Surface tension cairan acuan	$\gamma_L$	Pengukuran menggunakan plat <i>Wilhelmy</i>
Surface tension hidrometer	$\gamma_x$	Dokumen acuan (ISO 649-1:1981, ISO 387:1977)
Gravitasi	$g$	Hasil pengukuran gravitasi
Massa beban tambahan	$S_L$	Penimbangan di cairan acuan
Diameter stem hidrometer	$D$	Pengukuran menggunakan <i>vernier caliper</i>
Pengaturan meniskus	$\delta_{men}$	-

Tabel 5 *Budget* ketidakpastian *alcoholometer* pada titik ukur 95 % vol/vol.

Komponen	Simbol	Nilai	Satuan	U	Distribusi	ci	(ui.ci) <sup>2</sup>
Massa Hidrometer di udara	$M_a$	37,592 6	g	1,0E-03	Normal	-1,6E-03	6,1E-13
Massa hidrometer di cairan	$M_L$	29,837 3	g	1,9E-03	Normal	2,3E-02	5,0E-10
Densitas cairan acuan	$\rho_L$	0,756 52	g/cm <sup>3</sup>	2,0E-05	Normal	1,073	1,5E-10
Densitas udara (penimbangan di udara)	$\rho_a$	0,001 18	g/cm <sup>3</sup>	5,4E-05	Normal	-1,4E-02	5,6E-13
Densitas udara (penimbangan di cairan)	$\rho_a'$	0,001 18	g/cm <sup>3</sup>	5,4E-05	Normal	5,9E-02	1,0E-11
Suhu cairan acuan	$t$	20,188	°C	2,0E-02	Normal	2,0E-05	5,1E-14
Suhu acuan hidrometer	$t_r$	20	°C	-	-	-	-
Koefisien ekspansi termal hidrometer	$\beta$	2,5E-5	/°C	2,0E-06	Segi-empat	1,5E-01	3,1E-14
Surface tension cairan	$\gamma_L$	25,14	dyne/cm	5,0E-03	Normal	-3,5E-05	7,6E-15
Surface tension hidrometer	$\gamma_x$	23,4	dyne/cm	-	-	-	-
Percepatan gravitasi	$g$	978,137 9	cm/s <sup>2</sup>	4,0E-06	Normal	1,2E-07	5,8E-26
Diameter stem	$D$	0,48	cm	1,0E-03	Normal	1,8E-02	8,5E-11
Massa beban tambahan	$S_L$	27,285 5	g	1,5E-04	Normal	-2,3E-02	1,2E-11
Pengaturan meniskus	$\delta_{men}$	-	g/cm <sup>3</sup>	3,0E-05	Segi-empat	1	3,0E-10
Jumlah							9,0E-10
Ketidakpastian gabungan, (g/cm <sup>3</sup> )							3,0E-05
Derajat kebebasan efektif, $v_{eff}$							126
Faktor cakupan							2
Ketidakpastian bentangan, (kg/m <sup>3</sup> )							0,060

Berdasarkan data dari komponen-komponen tersebut, dilakukan perhitungan dan analisis menggunakan persamaan (1) dan persamaan (2) untuk mendapatkan nilai hasil kalibrasi dan ketidakpastiannya. Menurut Tabel 5, nilai ketidakpastian hasil kalibrasi

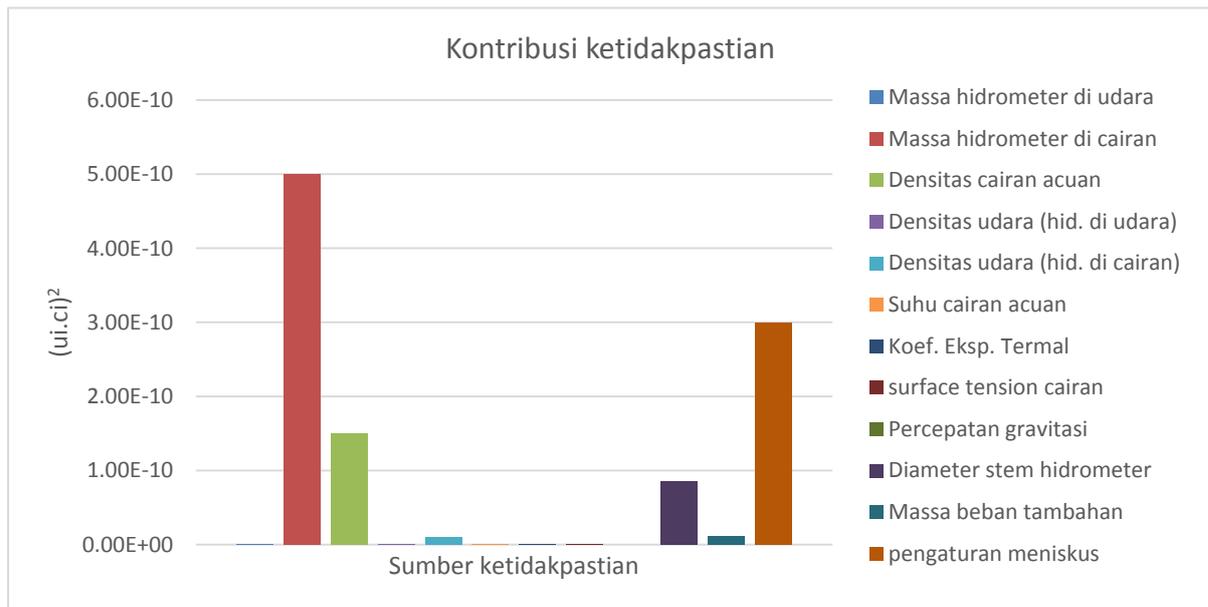
*alcoholometer* pada titik ukur 95 % vol/vol sebesar 0,060 kg/m<sup>3</sup> pada tingkat kepercayaan 95 % dengan faktor cakupan (k) = 2. Faktor cakupan (k) dapat bernilai 2 (dua) ketika derajat kebebasan efektif yang diperoleh lebih dari 60 ( $v_{eff} > 60$ ) (JCGM, 2008). Penjelasan kontribusi

masing-masing komponen terhadap nilai ketidakpastian hasil kalibrasi hidrometer dapat dilihat pada Gambar 4.

Berdasarkan Gambar 4, dapat dilihat bahwa kontribusi ketidakpastian yang dominan adalah massa hidrometer di cairan acuan dan pengaturan meniskus. Bila ditelisik lebih jauh, kedua komponen tersebut kemungkinan saling berkaitan. Hal tersebut dikarenakan, massa hidrometer di cairan merupakan hasil dari penimbangan hidrometer di cairan acuan yang mengacu pada persinggungan antara garis skala hidrometer dengan permukaan cairan (pengaturan meniskus). Nilai tersebut dapat menjadi besar apabila pengaturan meniskus yang dilakukan memiliki konsistensi yang buruk. Selain itu, nilai hasil penimbangan hidrometer di cairan acuan dipengaruhi oleh suhu cairan acuan, karena densitas cairan acuan akan berubah, berlawanan dengan suhunya. Pengaruh suhu cairan acuan dapat diminimalisir

pada kondisi yang sesuai dengan persyaratan kondisi lingkungan ruang kalibrasi.

Disamping itu, untuk menjaga nilai hasil penimbangan diperlukan konsistensi dalam menentukan persinggungan antara garis skala hidrometer dengan permukaan cairan (pengaturan meniskus). Hasil kalibrasi dan nilai ketidakpastian hidrometer yang dilakukan oleh P2M – LIPI dengan penimbangan hidrostatis menggunakan metode Cuckow pada kedua artefak ILC dipaparkan pada Tabel 6 dan Tabel 7. Berdasarkan Tabel 6, dapat dilihat bahwa nilai ketidakpastian yang diperoleh sebesar  $0,050 \text{ kg/m}^3$  untuk semua titik ukur pada *milk hydrometer*. Pada Tabel 7, nilai ketidakpastian sedikit lebih besar yaitu  $0,060 \text{ kg/m}^3$  untuk titik ukur  $825,83 \text{ kg/m}^3$  dan  $811,38 \text{ kg/m}^3$  dan  $0,070 \text{ kg/m}^3$  untuk titik ukur  $794,25 \text{ kg/m}^3$ . Nilai pada Tabel 6 dan Tabel 7 merupakan nilai yang digunakan untuk memvalidasi sistem kalibrasi hidrometer P2M – LIPI yang dibandingkan dengan nilai acuan.



Gambar 4 Grafik kontribusi masing-masing komponen ketidakpastian.

Tabel 6 Hasil kalibrasi dan ketidakpastian P2M – LIPI untuk *milk hydrometer*.

Nominal $\text{kg.m}^{-3}$	Densitas $\text{kg.m}^{-3}$	Ketidakpastian, $k = 2$ , CL 95% $\text{kg.m}^{-3}$	Surface tension $\text{mN.m}^{-1}$
1026	1025, 882	0,050	45
1031	1031, 068	0,050	45
1036	1036, 270	0,050	45

Tabel 7 Hasil kalibrasi dan ketidakpastian P2M – LIPI untuk *Alcoholometer*.

Nominal $\text{kg.m}^{-3}$	Densitas $\text{kg.m}^{-3}$	Ketidakpastian, $k=2$ , CL 95 % $\text{kg.m}^{-3}$	Surface tension $\text{mN.m}^{-1}$
825,830	825,896	0,060	24,1
811,380	811,409	0,060	23,4
794,250	794,281	0,070	22,6

Menurut laporan EURAMET n°1314 draf B, nilai acuan yang digunakan yaitu nilai hasil kalibrasi dan ketidakpastian berdasarkan pengukuran yang dilakukan oleh LNE – Perancis sebelum P2M – LIPI melakukan pengukuran. Pengukuran ke-2 LNE – Perancis (setelah P2M – LIPI) dilakukan untuk mengetahui *drift* (pergeseran nilai) dari artefak yang digunakan. Mengacu pada laporan tersebut, dikatakan bahwa nilai *drift* rata-rata yang diperoleh untuk *milk hydrometer* dan *alcoholometer* sebesar  $0,011 \text{ kg.m}^{-3}$  dan  $-0,006 \text{ kg.m}^{-3}$ , tidak signifikan (EURAMET, 2014).

Validasi terhadap sistem dan metode yang digunakan P2M – LIPI untuk mengkalibrasi

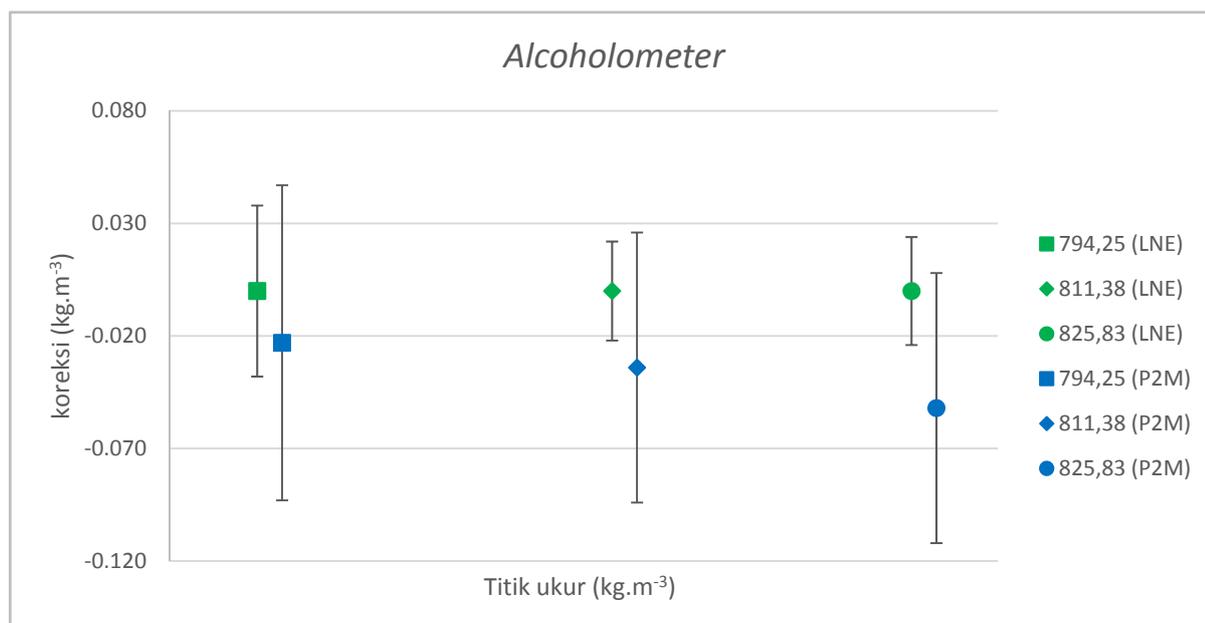
hidrometer dilakukan dengan membandingkan nilai hasil kalibrasi dan nilai ketidakpastian P2M – LIPI dengan nilai acuan LNE – Perancis. Nilai *normalized error* atau *En number* dianalisis berdasarkan perbandingan hasil pengukuran P2M – LIPI terhadap nilai acuan hasil pengukuran LNE – Perancis menggunakan persamaan (3). Berdasarkan Tabel 8 dan Tabel 9, dapat dilihat bahwa nilai *En* yang diperoleh P2M – LIPI untuk semua titik pengukuran pada 2 hidrometer standar artefak ILC berkisar antara -0,09 dan -0,65. Nilai tersebut berada diantara rentang -1 dan +1, sehingga termasuk ke dalam kategori hasil yang baik.

Tabel 8 Perbandingan hasil pengukuran *milk hydrometer* antara P2M - LIPI dan LNE - Perancis.

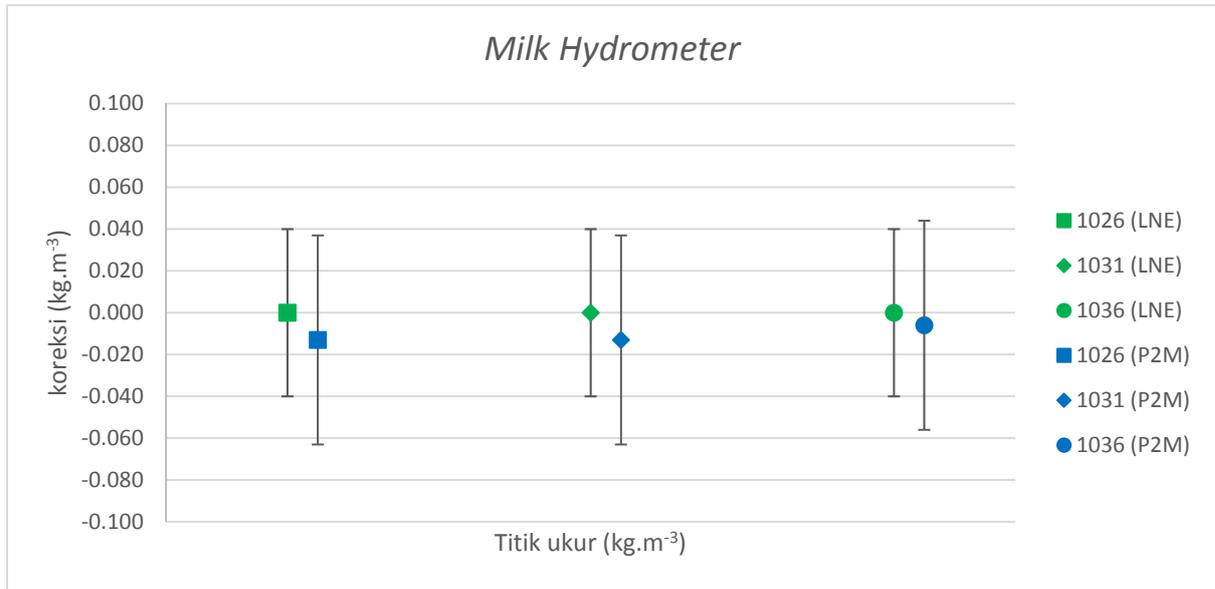
Nominal $\text{kg.m}^{-3}$	P2M – LIPI		LNE – Perancis		Normalized error En
	Densitas $\text{kg.m}^{-3}$	Ketidakpastian (k=2) $\text{kg.m}^{-3}$	Densitas $\text{kg.m}^{-3}$	Ketidakpastian (k = 2) $\text{kg.m}^{-3}$	
1 026	1 025.882	0.050	1 025.895	0.040	-0.20
1 031	1 031.068	0.050	1 031.081	0.040	-0.20
1 036	1 036.270	0.050	1 036.276	0.040	-0.09

Tabel 9 Perbandingan hasil pengukuran *alcoholometer* antara P2M - LIPI dan LNE - Perancis.

Nominal $\text{kg.m}^{-3}$	P2M – LIPI		LNE – Perancis		Normalized error En
	Densitas $\text{kg.m}^{-3}$	Ketidakpastian (k = 2) $\text{kg.m}^{-3}$	Densitas $\text{kg.m}^{-3}$	Ketidakpastian (k = 2) $\text{kg.m}^{-3}$	
825.83	825.896	0.060	825.919	0.024	-0.36
811.38	811.409	0.060	811.443	0.022	-0.53
794.25	794.281	0.070	794.333	0.038	-0.65



Gambar 5 Normalisasi hasil pengukuran P2M – LIPI terhadap LNE – Perancis untuk *alcoholometer*.



Gambar 6 Normalisasi hasil pengukuran P2M – LIPI terhadap LNE – Perancis untuk *milk hydrometer*.

Melihat kesetaraan antara hasil pengukuran P2M – LIPI dan LNE – Perancis pada ILC bilateral tersebut dilakukan melalui penggambaran grafis. Nilai hasil pengukuran P2M – LIPI dan LNE – Perancis di normalisasi dengan nilai acuan LNE – Perancis.

Berdasarkan Gambar 5 dan Gambar 6, dapat dilihat bahwa nilai hasil pengukuran P2M – LIPI berada dibawah nilai hasil pengukuran LNE – Perancis pada semua titik pengukuran. Hal ini dapat menjelaskan nilai *En number* P2M – LIPI yang bernilai negatif untuk semua titik pengukuran. Dari kedua gambar tersebut juga dapat dilihat bahwa hasil pengukuran P2M – LIPI untuk sistem dan metode kalibrasi hidrometer memiliki kesetaraan dengan nilai hasil pengukuran yang dilakukan oleh LNE – Perancis.

## 5. KESIMPULAN

Proses validasi dilakukan terhadap sistem kalibrasi hidrometer dengan penimbangan hidrostatik menggunakan metode Cuckow yang dimiliki P2M – LIPI. Berdasarkan analisis hasil kalibrasi dan nilai ketidakpastian yang dilakukan oleh P2M – LIPI pada program ILC bilateral dengan LNE – Perancis, diperoleh hasil yang baik dengan nilai *En number* berada pada rentang -1 dan +1. Dapat ditarik kesimpulan bahwa sistem kalibrasi hidrometer dengan menggunakan metode Cuckow di P2M – LIPI telah tervalidasi. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa pengukuran P2M – LIPI untuk lingkup kalibrasi hidrometer menggunakan metode

Cuckow memiliki kesetaraan dengan LNE – Perancis dan negara – negara lain.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada koordinator program TSP II yang telah memfasilitasi program *bilateral comparison* ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aguilera, J., Wright, J. D. & Bean, V. E. (2007). Hydrometer calibration by hydrostatic weighing with automated liquid surface positioning. *Measurement Science and Technology*, 19, 1, 1-10.
- (2008). NIST Calibration Services for Hydrometers. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology.
- EURAMET. (2014). Technical Protocol for the Bilateral EURAMET comparison, EURAMET n<sup>o</sup>1314 "Hydrometer". Braunschweig: EURAMET.
- (2014). Bilateral Comparison Report LNE – KIM LIPI, Calibration of Two Hydrometer Standards EURAMET n<sup>o</sup>1314 — Draft B. Braunschweig: EURAMET.
- Gupta, S. V. (2002). Practical density measurement and hydrometry. Bristol: Institute of Physics Publishing.
- ISO Central Secretariat. (1977). International Standard ISO 387:1977 Hydrometers -

- principles of construction and adjustment. Geneva: ISO Central Secretariat.
- (1981). International Standard ISO 649-1:1981 Laboratory glassware - density hydrometers for general purposes - part 1: specification. Geneva: ISO Central Secretariat.
- JCGM. (2008). *JCGM 100:2008* Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement. Paris: JCGM Member Organization.
- Lorefice, S., Heinonen, M. & Madec, T. (2000). Bilateral comparisons of hydrometer calibrations between the IMGC-LNE and the IMGC-MIKES. *Metrologia*, 37, 141-147.
- Lorefice, S. & Malengo, A. (2006). Calibration of Hydrometer. *Measurement Science and Technology*, 17, 2560-2566.
- (2006). Hydrostatic weighing system at the INRiM for calibrating hydrometers. Rio de Janeiro: XVIII IMEKO World Congress.
- Mohamed, M. H. et.al. (2014). Design and Validation of an Automated Hydrometers Calibration System. *IJIRSET*, 3, 12735-12741.
- OIML. (2004). International Recommendation OIML R 111-1:2004 Weights of classes E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, M<sub>1</sub>, M<sub>1-2</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>2-3</sub> and M<sub>3</sub>. Part 1 : Metrological and technical requirements. Paris: OIML.
- Picard, A., Davis, R. S., Glaser, M., & Fujii, K. (2008). Revised formula for the density of moist air (CIPM-2007). *Metrologia*, 45, 149-155.
- Sutanto, H. & Eka, N. T. (2012). Karakterisasi Densitas Cairan Referensi terhadap Variasi Suhu Menggunakan Standar Densitas Padatan. *Instrumentasi*, 36, 1, 29-36.
- Umit, Y., Akcadag, & San, S. E. (2001). Newly established hydrometer calibration set up at UM. *Proceedings of the 17th International Conference on Force, Mass, Torque and Pressure Measurements*, 287-292.