

EVALUASI KALIBRASI INTERNAL MIKROPIPET VOLUMETRIK SEBAGAI IMPLEMENTASI JAMINAN MUTU LABORATORIUM PENGUJIAN

Natalia Adventini, Indah Kusmartini, Woro Yaru Niken Syahfitri, Syukria Kurniawati

Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan – Badan Tenaga Nuklir Nasional,
Jln. Tamansari No. 71 – Bandung 40132

ABSTRAK

EVALUASI KALIBRASI INTERNAL MIKROPIPET VOLUMETRIK SEBAGAI IMPLEMENTASI JAMINAN MUTU LABORATORIUM PENGUJIAN. Pipet volumetrik banyak digunakan untuk pengujian di berbagai bidang ilmu seperti biologi sel, mikrobiologi, bioteknologi, biokimia dan kimia kuantitatif. Pipet volumetrik memberikan kontribusi terhadap ketepatan hasil pengujian sebuah analisis karena menyumbang nilai ketidakpastian di dalam proses analisisnya. Untuk mencegah ketidakakuratan hasil pengujian tersebut perlu dilakukan kalibrasi terhadap pipet volumetrik. Pada kegiatan ini, telah dilakukan kalibrasi internal serta melakukan evaluasi kinerja terhadap 3 mikropipet dengan piston 100, 500 dan 1000 μL . Akurasi masing-masing mikropipet diperoleh sebesar 0,14%; 0,11% dan 0,17% dengan presisi sebesar 0,17%; 0,1% dan 0,12%. Nilai akurasi dan presisi ditetapkan pabrik sebesar 0,6% dan 0,2%. Evaluasi kinerja mikropipet dihitung dari nilai estimasi ketidakpastian dan koreksi maksimum alat. Nilai total error ketiga mikropipet diperoleh sebesar 0,47; 2,92; dan 4,1 μL dengan nilai toleransi alat masing-masing sebesar 0,6; 3,0; dan 6,0 μL . Akurasi, presisi serta kinerja alat memiliki hasil yang baik apabila hasil perhitungan lebih kecil dari batasan yang telah ditentukan. Evaluasi kalibrasi menyimpulkan, nilai akurasi dan presisi masing-masing mikropipet memenuhi ketentuan yang telah ditetapkan. Selain itu, masing-masing mikropipet memiliki kinerja yang baik sehingga tidak perlu dilakukan koreksi pada pengukuran atau tindakan perbaikan lainnya.

Katakunci: evaluasi, mikropipet volumetrik, akurasi, presisi, estimasi ketidakpastian.

ABSTRACT

EVALUATION OF INTERNAL CALIBRATION VOLUMETRIC MICROPIPETTES AS AN IMPLEMENTATION OF QUALITY ASSURANCE TESTING LABORATORY. Volumetric pipette is widely used in many fields such as cell biology, microbiology, biotechnology, biochemistry and quantitative chemistry. Volumetric pipette contributing to the accuracy of a result due to its contribution to the value of the uncertainty in a process of an analysis. For preventing inaccuracy of an analysis result a calibration was needed to the micropipette. In this activity, an internal calibration and performance evaluation of micropipette with piston 100, 500 and 1000 μL had been carried out. The accuracy of each micropipettes were 0.14; 0.11 dan 0.17% meanwhile the precision were 0.17; 0.10; 0.12% respectively. Fabrique requirements specified for accuracy and precision were 0.6 and 0.2% respectively. Total error value of each micropipettes were 0.47; 2.92; dan 4.1 μL with tolerable value of each micropipettes were 0.6; 3.0; dan 6.0 μL respectively. Accuracy and precision as well as performance evaluation had good result if the results were less then the requirements specified. Evaluation of internal calibration concluded that the results of accuracy and precision of each micropipettes fulfilled the requirements specified. Beside that, each micropipettes had good performance as well so it did not need any corection in measurement or any other corrective action.

Keywords: evaluation, volumetric micropipette, accuracy, precision, estimation of uncertainty.

1. PENDAHULUAN

Pipet volumetrik merupakan alat yang banyak digunakan untuk pengujian di berbagai bidang ilmu seperti biologi sel, mikrobiologi, bioteknologi, biokimia dan kimia kuantitatif. Fungsi pipet volumetrik membantu teknisi laboratorium dalam menangani cairan dengan pengukuran yang tepat. Terdapat beberapa jenis pipet volumetrik yang biasa digunakan di laboratorium diantaranya adalah:

1. Pipet serologis: terbuat dari pipa kaca silinder yang lurus dan memiliki skala volume. Ketelitian pipet serologis sesuai dengan skala terkecilnya.
2. Pipet volumetrik volume tetap: pipet jenis ini hanya memiliki 1 garis tera dengan volume tertentu, berbentuk silinder tetapi bagian tengahnya lebih gendut dengan ketelitian hingga 0,01 mL untuk pipet volumetrik *grade A*.
3. Pipet volumetrik dengan piston: mulai berkembang pada tahun 1960-an. Pipet jenis ini lebih disukai karena volumenya yang dapat diatur, memiliki akurasi dan presisi yang tinggi serta penggunaan yang mudah.

Pipet volumetrik memiliki 2 istilah dalam fungsinya yaitu: mikropipet dan makropipet. Pipet yang melepaskan 1 sampai 1000 μL cairan disebut sebagai mikropipet sedangkan makropipet melepaskan volume cairan yang lebih besar [1]. Pipet volumetrik memberikan kontribusi terhadap ketepatan hasil pengujian sebuah analisis karena menyumbang nilai ketidakpastian di dalam proses analisisnya. Untuk mencegah ketidakakuratan hasil pengujian tersebut perlu dilakukan kalibrasi terhadap pipet volumetrik [2]. Selain itu, kalibrasi pipet volumetrik dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja dan masa pakai sebuah pipet.

Mikropipet volumetrik dengan piston (Gambar 1) perlu dikalibrasi berkala karena gerak mekanik pada piston berpengaruh pada ketepatan volume sampel yang diambil.



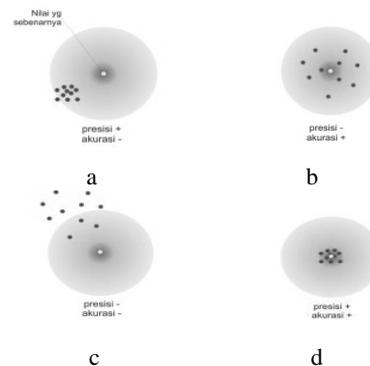
Gambar 1. Mikropipet volumetrik dengan piston

Parameter kalibrasi yang dilakukan meliputi uji akurasi dan presisi yang merupakan faktor utama kinerja pipet volumetrik. Laboratorium PSTNT merupakan laboratorium pengujian yang menerapkan sistem mutu ISO/IEC 17025:2005 dan telah diakreditasi oleh Komite Akreditasi Nasional (KAN). Kalibrasi internal dan eksternal mikropipet volumetrik dengan piston volume 100, 500 dan 1000 μL secara berkala dilakukan untuk memenuhi persyaratan sistem mutu ISO/IEC 17025:2005. Laboratorium ini juga mengaplikasikan estimasi ketidakpastian mikropipet pada metode yang digunakan. Hal ini dilakukan untuk menentukan kontribusi kesalahan mikropipet terhadap hasil pengukuran serta untuk mengevaluasi kinerja alat. Estimasi ketidakpastian merupakan kegiatan menghitung rentang nilai yang di dalamnya diperkirakan terletak nilai kuantitas yang diukur [3,4]. Menghitung rentang nilai tersebut dikenal sebagai pengukuran ketidakpastian.

Pada kegiatan ini, telah dilakukan kalibrasi internal mikropipet volumetrik dengan piston 100, 500 dan 1000 μL pada rentang tahun 2012-2013. Dari kegiatan yang dilakukan, diharapkan dapat diperoleh kinerja antar waktu, nilai ketidakpastian yang menyumbang nilai *error* pada pengujian serta melakukan evaluasi kinerja ketiga mikropipet volumetrik.

2. TEORI

Dalam kalibrasi dikenal parameter akurasi dan presisi sebagai nilai ukur. Akurasi menunjukkan kedekatan hasil pengukuran dengan nilai sesungguhnya sedang presisi menunjukkan seberapa dekat perbedaan nilai pada saat dilakukan pengulangan pengukuran [5]. Sebuah pengujian mungkin dapat memberikan hasil seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2a - 2d.



Gambar 2. Ilustrasi akurasi dan presisi

Hasil pengujian diharapkan memberikan data yang akurat namun juga presisi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2d. Dengan hasil tersebut maka kalibrasi mikropipet diharapkan akan memenuhi nilai ketentuan yang ditetapkan oleh pabrik.

Pada kalibrasi internal, untuk menghitung akurasi dan presisi mikropipet digunakan beberapa persamaan di bawah ini:

a. Volume mikropipet dihitung menggunakan rumus:

$$V_{20^{\circ}C} = w_{air(T)} \times \frac{\rho_{20^{\circ}C}}{\rho_T} \quad (1)$$

dimana: $V_{20^{\circ}C}$ = volume air pada suhu $20^{\circ}C$;
 $w_{air(T)}$ = massa air pada suhu T, ρ_T = densitas air pada suhu T, $\rho_{20^{\circ}C}$ = densitas air pada suhu $20^{\circ}C$.

b. Nilai rata-rata dihitung menggunakan rumus:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (2)$$

Dengan:

\bar{x} = nilai rata – rata ; x_i = angka anggota data;

n = banyaknya data

c. Nilai akurasi pipet dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Akurasi} = \left(\frac{ABS(\bar{x} - vol_{pipet})}{vol_{pipet}} \right) \times 100\% \quad (3)$$

dengan: ABS = angka absolut; vol pipet = volume pipet.

d. Nilai simpangan baku dihitung menggunakan rumus:

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

dengan: s=simpangan baku, x_i = nilai x ke i, N=jumlah data

e. Sedang presisi merupakan nilai relatif yang dihitung sebagai berikut:

$$RSD(\%) = \frac{s}{\bar{x}} \times 100\% \quad (5)$$

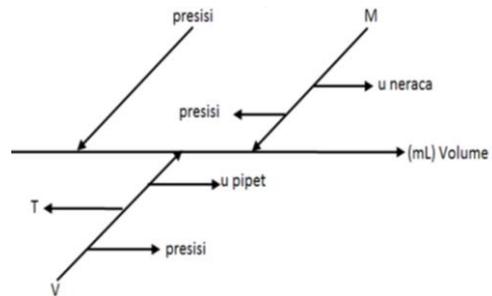
dengan: \bar{x} = nilai x rata-rata; s = simpangan baku; RSD = simpangan baku relatif.

f. Nilai koreksi untuk evaluasi kinerja dihitung sebagai berikut:

$$ABS(x \cdot vol_{pipet}) \quad (6)$$

Dalam melakukan estimasi ketidakpastian mikropipet, ada beberapa langkah yang biasa dilakukan [6], yaitu:

1. Menggunakan rumus perhitungan. Volume mikropipet dihitung menggunakan persamaan (1).
2. Melakukan identifikasi sumber-sumber ketidakpastian seperti presisi, efek temperatur dan lain-lain. Sumber ketidakpastian mikropipet dapat dilihat dari diagram *Fish Bone* pada Gambar 2 di bawah ini:



Gambar 3. Diagram Fish Bone sumber ketidakpastian mikropipet

3. Melakukan kuantifikasi nilai ketidakpastian. Tahap ini dilakukan setelah seluruh sumber ketidakpastian diidentifikasi dan hubungan antara sumber yang satu dengan yang lain diketahui. Data ketidakpastian yang berasal dari masing-masing sumber perlu dikonversi terlebih dahulu menjadi ketidakpastian baku (μ) agar dapat digunakan dalam perhitungan ketidakpastian akhir. Ada 2 kelompok ketidakpastian baku yaitu tipe A dan B. Ketidakpastian baku tipe A didasarkan pada pekerjaan eksperimental dan dihitung dari rangkaian pengamatan berulang sedangkan ketidakpastian baku tipe B berdasarkan informasi yang dapat dipercaya. Kedua tipe ketidakpastian baku ini digunakan dalam menghitung ketidakpastian baku (μ) dari sumber ketidakpastian yang telah diidentifikasi. Tabel 1 menunjukkan contoh tipe ketidakpastian baku yang digunakan dalam estimasi ketidakpastian baku pipet mikro. Berdasarkan ketidakpastian baku tipe A, estimasi ketidakpastian baku dihitung menggunakan rumus:

$$\mu = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (7)$$

Apabila data disajikan dalam bentuk RSD atau koefisien variasi (CV) maka simpangan dihitung menggunakan persamaan:

$$s = \left(\frac{CV}{100} \right) / 100 \cdot \bar{x} \quad (8)$$

Tabel 1. Tipe ketidakpastian baku mikropipet

Sumber ketidakpastian	Tipe ketidakpastian baku	
	A	B
Presisi	√	
Ketidakpastian kalibrasi eksternal mikropipet (sertifikat)		√
Ketidakpastian kalibrasi eksternal neraca (sertifikat)		√
Volume ± 5 °C variasi suhu		√

Untuk ketidakpastian tipe B dihitung menggunakan cara:

- a. Apabila informasi datanya disertai dengan keterangan tingkat kepercayaan 95% maka ketidakpastian baku dihitung menggunakan rumus:

$$\mu(x) = \frac{s}{2} \text{ atau } \frac{s}{1,96} \quad (9)$$

- b. Apabila informasi datanya tidak disertai dengan keterangan apapun maka dianggap sebagai distribusi *rectangular*

$$\mu(x) = \frac{s}{\sqrt{3}} \quad (10)$$

Simpangan volume cairan dalam pipet akibat perbedaan temperatur, dihitung menurut rumus [8]:

$$\mu(V_T) = V \times \mu(T) \times \alpha \quad (11)$$

dimana: V_T =volume pipet; $\mu(T)$ = simpangan baku dari variasi temperatur kalibrasi; α = koefisien muai volum sebesar 0,00021/°C.

4. Menghitung ketidakpastian baku gabungan (u_c) menggunakan kaidah penjumlahan:
a. Persamaan untuk unit yang sama:

$$\mu_c = \sqrt{(\mu_a)^2 + (\mu_b)^2 + (\mu_c)^2 + \dots} \quad (12)$$

- b. Persamaan untuk unit yang berbeda:

$$\mu_c/C = \sqrt{\left(\frac{\mu_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\mu_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\mu_c}{c}\right)^2 + \dots} \quad (13)$$

5. Menghitung ketidakpastian baku diperluas dengan menggunakan rumus:

$$\mu = k \times \mu(x) \quad (14)$$

dimana: k nilai cakupan = 2 dengan tingkat kepercayaan 95%.

3. TATA KERJA (BAHAN DAN METODE)

3.1. Bahan dan peralatan

Bahan yang diperlukan adalah air demineralisasi. Peralatan yang digunakan adalah mikropipet Eppendorf Comforpette 4800 dengan piston ukuran 100, 500 dan 1000 μ L, neraca analitis terkalibrasi, konduktivitasmeter, termometer serta peralatan pendukung lainnya.

3.2. Persiapan kalibrasi

Neraca yang digunakan haruslah neraca terkalibrasi serta air demineralisasi yang digunakan terlebih dahulu diukur suhu dan konduktivitasnya. Sepuluh buah vial kaca bersih dan kering berukuran 1,5 mL sebagai wadah kosong untuk masing-masing mikropipet ditimbang menggunakan neraca yang sudah dikalibrasi.

3.3. Kalibrasi mikropipet

Air demineralisasi dipipet menggunakan mikropipet ukuran 100, 500 dan 1000 μ L yang akan dikalibrasi kemudian dimasukkan ke dalam 10 buah vial kosong yang telah diketahui beratnya lalu ditimbang.

3.4. Estimasi ketidakpastian baku mikropipet

Estimasi ketidakpastian baku mikropipet dilakukan berdasarkan hasil identifikasi sumber ketidakpastian pada diagram *Fish Bone* lalu

dihitung menurut persamaan (7) sampai dengan (14).

3.5. Evaluasi kalibrasi internal

Evaluasi akurasi dan presisi hasil kalibrasi dilakukan dengan menganalisis hasil kalibrasi lalu dibandingkan dengan persyaratan yang dikeluarkan pabrik. Kinerja alat dievaluasi berdasarkan nilai ketidakpastian yang telah diperoleh.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Laboratorium pengujian secara berkala mengkalibrasi alat ukur yang digunakan ke lembaga yang berwenang melakukan kalibrasi. Kalibrasi eksternal dilakukan setahun sekali atau sesuai dengan dokumen panduan mutu yang dibuat. Untuk memantau kinerja mikropipet selama selang waktu setahun, dilakukan kalibrasi internal sebagai langkah pengecekan antara yang dilakukan selang 3-4 bulan sekali sampai mikropipet tersebut dijadualkan kembali untuk kalibrasi eksternal.

Ada beberapa hal yang memengaruhi akurasi dan presisi mikropipet diantaranya adalah suhu dan kelembaban ruangan, suhu dan viskositas fluida serta keterampilan personel. Mikropipet volumetrik Laboratorium PSTNT umumnya digunakan untuk memipet air demineralisasi dan larutan standar/sampel yang diasumsikan mirip dengan matriks air.

Kalibrasi internal mikropipet volumetrik dengan piston dilakukan dengan metode gravimetri menggunakan neraca analitis semi mikro Mettler Toledo AG245. Pada dasarnya, kalibrasi alat volumetrik adalah menentukan massa air yang dikeluarkan oleh suatu alat volumetrik tertentu kemudian dengan densitas air yang diketahui maka volume dapat dihitung. National Bureau of Standards telah menetapkan 20°C sebagai suhu air acuan pada kalibrasi peralatan volumetrik. Jika suhu laboratorium saat melakukan kalibrasi berbeda maka volume pada suhu tersebut perlu dikoreksi terhadap suhu acuan karena densitas air berubah terhadap suhu [6,7].

Pada kegiatan ini, dilakukan kalibrasi internal terhadap 3 mikropipet dengan piston merk Eppendorf Comforpette 4800 volume 100, 500 dan 1000 µL. Berdasarkan perhitungan menurut persamaan (1) maka akan didapatkan data volume air dari masing-masing mikropipet. Suhu percobaan berada pada rentang 26°C-27°C. Dari hasil percobaan yang dilakukan dengan 10 kali pengulangan diperoleh nilai akurasi dan

presisi mikropipet yang dihitung menurut persamaan (2), (3), (4), dan (5). Parameter uji akurasi dan presisi mikropipet lalu dibandingkan terhadap nilai akurasi dan presisi yang ditetapkan oleh produsen yaitu sebesar $\leq 0,6\%$ untuk akurasi dan $\leq 0,2\%$ untuk presisi [9]. Dari Tabel 2 dan 3 dapat dilihat bahwa nilai akurasi dan presisi hasil percobaan masing-masing mikropipet memenuhi ketentuan yang telah ditetapkan.

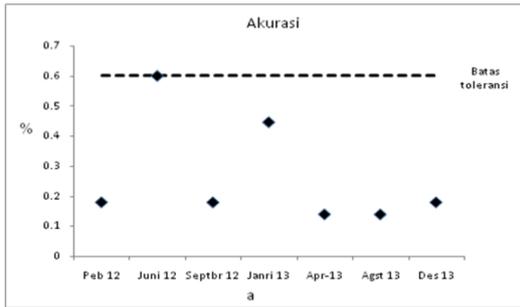
Tabel 2. Akurasi mikropipet volumetric 100, 500 dan 1000 µL

Volume (uL)	Akurasi (%)	Spesifikasi pabrik (%)	Keterangan
100	0,14	0,6	Memenuhi spesifikasi pabrik
500	0,17		
1000	0,11		

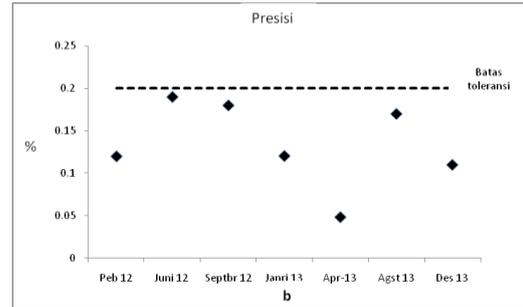
Tabel 3. Presisi mikropipet volumetric 100, 500 dan 1000 µL

Volume (uL)	Presisi (%)	Spesifikasi pabrik (%)	Keterangan
100	0,17	0,2	Memenuhi spesifikasi pabrik
500	0,10		
1000	0,12		

Untuk memantau kinerja mikropipet dari waktu ke waktu, hasil kalibrasi lalu digambarkan ke dalam sebuah diagram kendali. Gambar 3, 4 dan 5 adalah diagram kendali kalibrasi internal mikropipet volumetrik 100, 500 dan 1000 µL periode tahun 2012-2013. Dari Gambar 3, 4 dan 5 dapat dilihat bahwa akurasi dan presisi masing-masing mikropipet masih berada pada batas toleransi yang diperkenankan. Dari uji akurasi dan presisi tersebut beberapa percobaan memberikan nilai yang mendekati atau sama dengan nilai yang ditetapkan oleh pabrik. Hal ini disebabkan karena keterampilan operator amat memengaruhi akurasi dan presisi mikropipet.

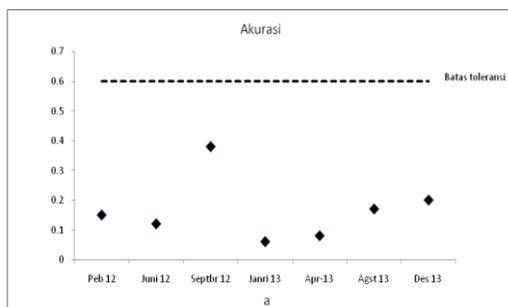


a. Akurasi

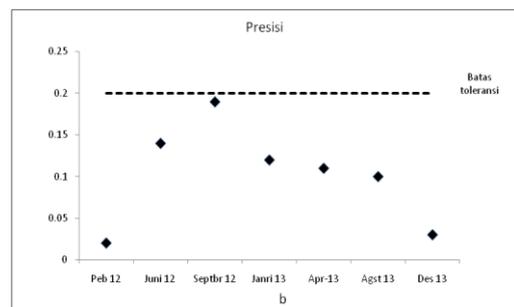


b. Presisi

Gambar 4. Diagram kendali akurasi dan presisi mikropipet volumetrik 100 µL periode tahun 2012-2013

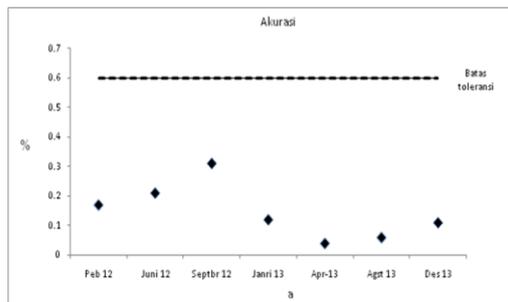


a. Akurasi

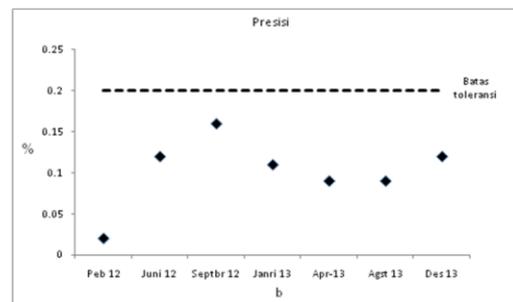


b. Presisi

Gambar 5. Diagram kendali akurasi dan presisi mikropipet volumetrik 500 µL periode tahun 2012-2013



a. Akurasi



b. Presisi

Gambar 6. Diagram kendali akurasi dan presisi mikropipet volumetrik 1000 µL periode tahun 2012-2013

Estimasi ketidakpastian baku mikropipet didasarkan pada hasil identifikasi sumber ketidakpastian seperti yang ditunjukkan diagram *Fish Bone* pada Gambar 2 yang dihitung menurut persamaan 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, dan 14. Pada diagram tersebut dapat dilihat bahwa sumber ketidakpastian mikropipet berasal dari 3 komponen utama yaitu yaitu presisi pipet, massa air dan volume air. Estimasi ketidakpastian mikropipet pada diagram tersebut dihitung sebagai berikut:

1. Ketidakpastian presisi berasal dari presisi

mikropipet periode kalibrasi 2012-2013.

2. Ketidakpastian massa air diperoleh dari pengulangan penimbangan 10 kali serta ketidakpastian kalibrasi eksternal neraca.

3. Ketidakpastian volume air diperoleh dari pengulangan 10 kali, ketidakpastian kalibrasi eksternal mikropipet serta simpangan temperatur.

Hasil perhitungan estimasi ketidakpastian baku masing-masing mikropipet dapat dilihat pada Tabel 4 yang memberikan nilai ketidakpastianbaku diperluas sebesar $100 \pm 0,17$; $500 \pm 2,517$ dan $1000 \pm 3,73 \mu\text{L}$. Kontribusi komponen ketidakpastian mikropipet disimpulkan

pada Tabel 5. Dari Tabel 5 tersebut dapat dilihat bahwa kontribusi komponen ketidakpastian masing-masing mikropipet secara umum berasal dari volume air yang dikeluarkan pipet. Nilai

kontribusi ketidakpastian volume tersebut berkisar antara 3,2-11,9% dari nilai ketidakpastian gabungan diperluas.

Tabel 4. Estimasi ketidakpastian mikropipet volumetrik 100 µL, 5000 µL dan 1000 µL

Komponen ketidakpastian:	Mikropipet	s	U	U _c	U _{Gab}	Persamaan
Presisi mikropipet	100 µL	0,01	0,003	-	-	$s = ((\frac{CV}{100}) / 100) \cdot \bar{x} ; \mu = \frac{s}{\sqrt{n}}$
	500 µL	0,01	0,002	-	-	
	1000 µL	0,004	0,002	-	-	
Massa air (mg):						
Simpangan 10x percobaan	100 µL	0,12	0,04	-	-	$\mu = \frac{s}{\sqrt{n}}$
	500 µL	0,48	0,15	-	-	
	1000 µL	1,17	0,37	-	-	
Ketidakpastian kalibrasi neraca	100 µL	0,03	0,015	-	-	$\mu(x) = \frac{s}{2} \text{ atau } \frac{s}{1,96}$
	500 µL	0,04	0,02	-	-	
	1000 µL	0,13	0,065	-	-	
Ketidakpastian gabungan massa air	100 µL	-	-	0,01	-	$\mu_c = \sqrt{(\mu_a)^2 + (\mu_b)^2 + (\mu_c)^2 + \dots}$
	500 µL	-	-	0,07	-	
	1000 µL	-	-	0,25	-	
Volume air (uL)						
Simpangan 10x percobaan	100 µL	0,17	0,05	-	-	$\mu = \frac{s}{\sqrt{n}}$
	500 µL	0,48	0,15	-	-	
	1000 µL	1,17	0,37	-	-	
Ketidakpastian kalibrasi mikropipet	100 µL	0,02	0,01	-	-	$\mu(x) = \frac{s}{2} \text{ atau } \frac{s}{1,96}$
	100 µL	0,02	0,01	-	-	
	100 µL	0,02	0,01	-	-	
Simpangan temperatur	100 µL	0,08	0,05	-	-	$\mu(V_T) = V \times \mu(T) \times \alpha ; \mu(x) = \frac{s}{\sqrt{3}}$
	500 µL	0,11	0,06	-	-	
	1000 µL	0,21	0,12	-	-	
Ketidakpastian gabungan volume air	100 µL	-	-	0,02	-	$\mu_c = \sqrt{(\mu_a)^2 + (\mu_b)^2 + (\mu_c)^2 + \dots}$
	500 µL	-	-	0,08	-	
	1000 µL	0,21	0,12	-	-	
Ketidakpastian gabungan mikropipet	100 µL	-	-	-	0,08	$\mu_c/C = \sqrt{(\frac{\mu_a}{a})^2 + (\frac{\mu_b}{b})^2 + (\frac{\mu_c}{c})^2 + \dots}$
	500 µL	-	-	-	1,25	
	1000 µL	-	-	-	1,87	
Ketidakpastian gabungan diperluas	100 µL	-	-	-	0,17	$\mu = k \times \mu(x)$ Dengan nilai k=2; tingkat kepercayaan 95%
	500 µL	-	-	-	2,51	
	1000 µL	-	-	-	3,73	

Tabel 5. Kontribusi komponen ketidakpastian mikropipet volumetrik (lanjutan)

Komponen ketidakpastian	Pipet 100 μL		Pipet 500 μL		Pipet 1000 μL	
	U_c	Kontribusi (%)	U_c	Kontribusi (%)	U_c	Kontribusi (%)
Presisi mikropipet	0,003	1,8	0,002	0,1	0,002	0,1
Massa air	0,01	6,0	0,07	2,8	0,25	6,7
Volume air	0,02	11,9	0,08	3,2	0,27	7,2
U_{Gab} (Tabel 4)	0,17	-	2,51	-	3,73	-

Tabel 6. Evaluasi kinerja mikropipet volumetrik

Volume Mikropipet (μL)	Nilai			Toleransi alat (μL)	Evaluasi Kinerja
	U_{Gab} (μL)	Koreksi <i>error</i> maksimum (μL)	Total <i>error</i> (μL)		
100	0,17	0,30	0,47	0,6	Total <i>error</i> < toleransi alat
500	2,51	0,41	2,92	3,0	idem
1000	3,73	0,37	4,1	6,0	idem

Evaluasi kinerja mikropipet dihitung dari nilai ketidakpastian dan koreksi maksimum alat (koreksi alat dihitung menurut persamaan 6). Apabila nilai penjumlahan keduanya (total *error*) lebih kecil dari nilai toleransi alat maka dikatakan bahwa mikropipet tersebut memiliki kinerja yang baik. Nilai toleransi alat merupakan konversi nilai akurasi (%) menjadi satuan volume (μL). Tabel 6 menyajikan hasil evaluasi kinerja masing-masing mikropipet. Dari Tabel 6 dapat disimpulkan bahwa masing-masing mikropipet memiliki kinerja yang baik sehingga tidak perlu dilakukan koreksi pada pengukuran atau tindakan perbaikan lainnya.

5. KESIMPULAN

Telah dilakukan kalibrasi internal mikropipet volumetrik 100, 500 dan 1000 μL dengan hasil evaluasi masing-masing mikropipet memiliki akurasi dan presisi yang memenuhi spesifikasi pabrik dengan kinerja yang baik sehingga tidak perlu dilakukan koreksi pada pengukuran atau tindakan perbaikan lainnya.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. ANONIM, 2014, “Micropipettes in the laboratory”, Basic parts of micropipette faculty.buffalostate.edu/wadswogj/courses/BI

[O211%20Page/Resources/micropipetting%201ab.pdf](http://www.kimia.lipi.go.id/wp-content/uploads/2010/05/estimasi-ketidakpastian-santo.pdf), diakses 1 Nopember.

2. ISO/IEC 17025:2005, Persyaratan Umum Kompetensi Laboratorium Pengujian/Kalibrasi.

3. YOHANES SUSANTO, 2014, “Estimasi Ketidakpastian dalam pengukuran/ pengujian kimia”, <http://www.kimia.lipi.go.id/wp-content/uploads/2010/05/estimasi-ketidakpastian-santo.pdf>, diakses 11 Juli.

4. JULIA KANTASUBRATA, “Pendidikan dan Pelatihan Ketidakpastian Hasil Pengukuran untuk Lab. Penguji (ISO 17025)”, BSN-BATAN, Serpong (2003).

5. SUMARDI, “Validasi Metode Analisis, Bahan Kuliah Pelatihan Asesor Laboratorium”, Badan Standarisasi Nasional, BSN, Jakarta (2001).

6. ENTJIE MOCHAMAD SOBBICH, ARMINDA KASTONO, Model non-linier untuk datadensitas air dikembangkan berbasiskan software curveexpert 1,3 (Risalah Lokakarya Komputasi dalam Sains dan Teknologi Nuklir XIV) Juli (2003) 247-257.

7. ANONYMOUS, International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM), JCGM 200:2008.

8. Buku manual mikropipet Eppendorf.