

ANALISIS KETIDAKPASTIAN PADA KALIBRASI WATER-METER UNTUK UJI KELAS AKURASI

Oleh:
Entjie Mochamad Sobbich*

Abstrak

Kalibrasi dilakukan pada umumnya untuk mendapatkan nilai “true value” dari sebuah besaran-ukur. Dari kalibrasi pula dapat ditentukan kelas akurasi sebuah alat-ukur, yaitu melalui analisis ketidakpastian. Dari analisis ketidakpastian inilah akhirnya ditetapkan apakah alat-ukur masih pantas ataukah sudah harus tereduksi ke kelas lebih rendah dari yang tercantum pada laporan atau sertifikat dari pabrik pembuatnya.

Analisis ketidakpastian dari hasil kalibrasi sebuah water meter dari kelas akurasi 1 % skala penuh dengan mempertimbangkan unsur-unsur ketidakpastian berupa : alat-ukur standar, koefisien muai termal, beda suhu, daya-baca alat, dan daya-ulang. Dari persyaratan bahwa nilai absolut dari nilai koreksi plus ketidakpastian harus berada didalam 1/3 dari nilai kelas akurasinya ternyata dihasilkan nilai yang memenuhi persyaratan ini. Dengan demikian diambil ketetapan bahwa water meter masih berkelas 1% dari skala penuhnya sebagaimana tercantum dalam sertifikat pabrik dan tidak perlu diturunkan ke kelas akurasi lainnya.

Kata-kunci : analisis ketidakpastian, water meter, kalibrasi, kelas akurasi.

Abstract

Calibration of a measuring quantity was done generally to get its true value. From here then accuracy class of the instrument can be determined , i.e. by analysis of uncertainty. And, this can be used to judged whether the instrument still passing its accuracy class or should be reduced from its value which cited on the report or certificate issued by the instrument factory.

Uncertainty analysis of calibration result of a water meter of accuracy class 1 % of full scale was performed by considering many affected components which consist of standard or reference instrument, coefficient of thermal expansion, temperature difference, readability, and repeatability. From the requirement that the absolute value of correction plus uncertainty should within 1/3 of the value of accuracy class there got a value that fulfill this requirement. Therefore can be judged that water meter still having accuracy class 1 % of full scale as noted on the factory’s certificate and should not be lower anymore.

Key words: uncertainty analysis, water meter, calibration, accuracy class.

1. PENDAHULUAN

Ada dua jalan atau proses yang dapat ditempuh dan menjadi perhatian kita bersama pada saat mencoba menentukan nilai dari besaran-ukur, seperti : laju-aliran, massa, tekanan, suhu, dan lain sebagainya. Kedua jalan atau proses itu adalah : kalibrasi dan mengukur. Lalu, apa beda dari keduanya. Mengukur adalah menggunakan sebuah alat-ukur untuk menentukan nilai dari besaran yang diukur, sesungguhnya demikian pula halnya dengan kalibrasi. Namun, terdapat perbedaan mendasar dari keduanya yaitu : pada kalibrasi, proses dilakukan dengan mempertimbangkan lingkungan, operator, alat-alat bantu, perangkat-perangkat keras maupun perangkat lunak sebagai faktor-pengaruh. Faktor-faktor pengaruh apapun adanya diharapkan agar nilainya sekecil mungkin. Proses yang umum dilakukan pada kalibrasi adalah perbandingan dengan standar atau referensi. Pada pengukuran, tidak diperlukan standar pembanding karena alat-ukur sudah memiliki sertifikat kalibrasi yang selain menunjukkan kelas akurasi juga menunjukkan keabsahan dari alat-ukur untuk digunakan dengan keyakinan tertentu. Disini, upaya serupa pada kalibrasi, yaitu pertimbangan terhadap faktor-pengaruh bisa diupayakan sebaik-baiknya tetapi tidak sekuat seperti halnya pada kalibrasi. Oleh karena itu, proses kalibrasi nampak mengutamakan analisis ketidakpastian kalibrasi dimana faktor-faktor pengaruh yang umum dipandang sebagai faktor yang bakal signifikan menjadi parameter-parameter yang perlu diperhitungkan.

*Peneliti Puslit KIM-LIPI Puspiptek Serpong

Di Pusat Penelitian Kalibrasi, Instrumentasi dan Metrologi-Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (Puslit KIM-LIPI), kalibrasi water-meter dilakukan di Laboratorium Gaya-Massa yang membawahi atau bertanggung jawab (*custody*) atas beberapa besaran mekanik ditambah dengan Laboratorium Aliran (*flow laboratory*). Aliran sendiri merupakan sebuah besaran-ukur yang memerlukan pengamatan nilai massa yang mengalir per satuan waktu (*mass flowrate*) atau volume cairan yang mengalir per satuan waktu (*volume flowrate*) sehingga memang terdapat keterkaitan langsung dengan besaran massa dan volume, atau umum dikenal dengan proses gravimetri.

Analisis ketidakpastian kalibrasi pada sebuah alat-ukur memerlukan pemahaman terhadap apa saja faktor-faktor yang dipandang bakal signifikan. Pada sebuah water meter, kalibrasi umumnya dilakukan dengan mempertimbangkan factor-faktor pengaruh yang terdiri atas : alat-ukur standar, koefisien-muai termal dari cairan, suhu-ruang, resolusi alat yang dikalibrasi, dan repetibilitas pengamatan.

Berbagai hal menjadi perhatian sebelum melakukan kalibrasi water-meter agar proses kalibrasi nantinya dapat memberikan hasil yang bagus. Diantara hal-hal tersebut adalah : kelas dari alat-ukur standar pembanding, terjadinya aliran laminar, kedekatan posisi antara standard an alat-ukur, tidak terjadi udara terjebak dan beberapa upaya lainnya.

2. TEORI DASAR

2.1. Ketertelusuran

Ketertelusuran (*traceability*) adalah istilah penting yang menjadi patokan utama didalam pengukuran atau didalam penggunaan alat-ukur. Istilah ini menunjukkan adanya rantai keterhubungan antara alat-ukur dengan standar nasional atau standar internasional. Keterhubungan ini bisa terjadi secara langsung atau tak-langsung melalui suatu proses pengukuran komparatif yang umum dikenal dengan kalibrasi. Tanpa lewat kalibrasi maka sebuah alat-ukur perlu dipertanyakan kelayakannya untuk dipergunakan dengan benar. Bahkan alat-ukur yang dipergunakan untuk keperluan niaga tertentu dapat dikenakan sanksi sesuai dengan undang-undang metrologi.

2.2. Langkah-langkah Analisis Ketidakpastian

Didalam Laporan atau Sertifikat Kalibrasi pada umumnya dicantumkan tiga nilai, yaitu :

- nilai nominal
- nilai koreksi, yaitu penyimpangan dari nilai nominal
- nilai ketidakpastian dari besarnya koreksi yang dihasilkan.

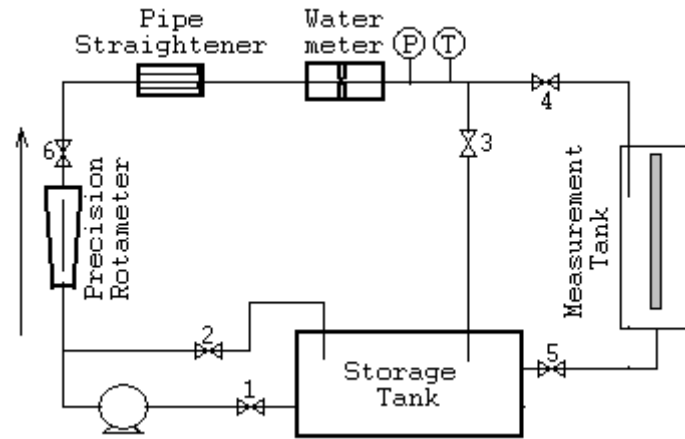
Oleh karena kerumitan dalam mendapatkan nilai ketidakpastian laju-aliran karena nilainya ditentukan dari proses propagasi ketidakpastian dari besaran-pengaruh maka umumnya orang melakukan perhitungan mengikuti tahapan-tahapan sebagai berikut :

- menghitung ketidakpastian-baku masing-masing besaran-pengaruh
- menghitung koefisien sensitivitas dari besaran yang dihitung terhadap masing-masing besaran-pengaruh
- menghitung ketidakpastian gabungan
- mengambil koefisien-cakupan $k = 2$
- menghitung ketidakpastian bentangan

Tahapan perhitungan-perhitungan yang banyak sebagaimana diuraikan di atas menunjukkan kerumitan dalam menemukan nilai ketidakpastian yang akan dilaporkan dalam sertifikat kalibrasi. Perhitungan rinci dari masing-masing tahapan perhitungan dapat disederhanakan tampilannya dengan menuajikannya dalam format tabulasi yang umum disebut dengan Bajet Ketidakpastian.

2.3. Sistem dan Prosedur Kalibrasi Water-meter

Sistem kalibrasi Water meter dapat diskemakan seperti Gambar 2.1 berikut ini. Mengawali percobaan pengukuran aliran, selalu lakukan pemeriksaan pendahuluan untuk men-cek ada kebocoran atau tidak.



Gambar.2.1 : Sistem Kalibrasi Water Meter

Apabila sistem sudah yakin tidak terjadi kebocoran (dan juga dari kemungkinan adanya udara terjebak) lakukan pendataan dari lima titik-ukur berbeda dengan pengulangan “naik” lalu diikuti dengan pengamatan “turun”.

3. PENGAMBILAN DATA, ANALISIS DAN PENYUSUNAN BAJET KETIDAKPASTIAN

3.1. Pengambilan Data

Untuk aliran arah naik dan turun didapatkan data sebagai berikut :

Titik-ukur, (m ³)	Pembacaan Water meter, (m ³)		Suhu (°C)	Tekanan (bar)
	Arah naik	Arah turun		
5	5,001	5	26,0	1,0
10	10,000	10,002	26,0	1,2
15	15,002	15,003	26,3	1,4
20	20,001	20,002	26,3	1,6
25	25,000	25,000	26,4	2,0

3.2. Model Matematika Pengukuran Laju Aliran

Nilai-nilai yang perlu dipersiapkan untuk menentukan besarnya laju aliran tidak cukup berupa apa yang terbaca dari alat-ukur. Ini perlu difahami oleh semua orang, lebih-lebih oleh pemilik alat-ukur. Beberapa besaran tambahan perlu disertakan, yaitu :

- volume cairan yang diukur pada suhu acuan t_s , Q_{t_s}
- pembacaan alat-ukur, Q_t
- koefisien muai termal dari air, α
- suhu air terukur, t_i

Nilai laju aliran volumetrik ditentukan dari :

$$Q_{t_s} = Q_t (1 - \alpha(t_i - t_s))$$

Nilai Laju Aliran Volume hasil pengamatan yang berulang dirata-ratakan mengikuti persamaan :

$$\bar{Q}_t = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^5 Q_{t,i} \dots\dots\dots(1)$$

Besarnya nilai koreksi C dari water meter ditentukan dari selisih antara penunjukan Rotameter dan nilai rata-rata yang dihasilkan dari alat-ukur yang dikalibrasi, atau :

$$C = \text{pembacaan standar} - \text{rata-rata alat-ukur}$$

3.3. Unsur-unsur Ketidakpastian yang Dipertimbangkan

Unsur-unsur yang perlu menjadi pertimbangan dari proses kalibrasi terdiri dari :

- alat-ukur standar
- nilai koefisien muai termal
- fluktuasi suhu ruang
- daya-baca dari alat-ukur yang dikalibrasi
- pengamatan berulang

Ketidakpastian Baku dan Koefisien Sensitivitas dari masing-masing unsur adalah :

1. dari alat-ukur standar

$$u(Q_{ts}) = \frac{U_{\text{kalibrator}}}{k} \quad (k = 2)$$

$$c(Q_{ts}) = \frac{\partial Q_{ts}}{\partial Q_t} = 1 - \alpha(t_i - t_s) \approx 1$$

2. dari koefisien muai termal

$$u(\alpha) = \frac{100 \text{ ppm} \times \alpha}{\sqrt{3}}$$

$$c(\alpha) = \frac{\partial Q_{ts}}{\partial \alpha} = -Q_t \cdot (\Delta t)$$

3. dari fluktuasi suhu ruang

$$u(\Delta t) = \frac{\Delta t}{\sqrt{3}}$$

$$c(\Delta t) = \frac{\partial Q_{ts}}{\partial \Delta t} = -Q_t \cdot \alpha$$

4. dari daya-baca alat-ukur

$$u(\text{read}) = \frac{\text{daya} - \text{baca}}{2\sqrt{3}}$$

5. dari pengamatan berulang

$$u(\text{repeat}) = \frac{|\text{max} - \text{min}|}{\sqrt{3}}$$

3.4. Ketidakpastian Gabungan dan Ketidakpastian Bentangan

Penggabungan lima unsur ketidakpastian diatas disatukan menjadi sebuah nilai ketidakpastian gabungan yang bentuknya menjadi :

$$u_c = \sqrt{[c(Q_t) \cdot u(Q_t)]^2 + [c(\alpha) \cdot u(\alpha)]^2 + [c(\Delta t) \cdot u(\Delta t)]^2 + [u(\text{read})]^2 + [u(\text{repeat})]^2}$$

Catatan :

Koefisien sensitivitas untuk *read* dan *repeat* adalah 1.

3.5. Pengisian Bajet Ketidakpastian

Berikut ini adalah tabulasi Bajet Ketidakpastian untuk titik-ukur 5 m³.

Sumber	U	k	c _i	u = U/k	(u*c _i) ²
Kalibrator, (m ³)	0,0005	2	1	0,00025	6,25x10 ⁻⁸
α, (1/°C)	27x10 ⁻⁹	√3	- 30	1,56x10 ⁻⁸	2,187x10 ⁻¹³

$\Delta t, (^{\circ}\text{C})$	3	$\sqrt{3}$	- 0,00135	1,732051	$5,4675 \times 10^{-6}$
Read, (m^3)	0,001	$2\sqrt{3}$	1	0,000289	$8,333 \times 10^{-8}$
Repeat (m^3)	0,001	$\sqrt{3}$	1	0,000577	$3,333 \times 10^{-7}$
				Jumlah	$5,94467 \times 10^{-6}$
				u_c	0,0024385
				k	2
				$U_{95}, (\text{m}^3)$	$4,88 \times 10^{-3}$

3.6. Pembuatan Laporan Kalibrasi

Khusus berkenaan dengan data yang perlu dilaporkan maka dapat disusun tabulasi sebagai berikut :

Nilai Nominal (m^3)	Koreksi (m^3)	Ketidakpastian (m^3)
5,000	- 0,0081	$\pm 0,00488$
10,002	- 0,0181	
15,003	- 0,0283	
20,002	- 0,0359	
25,000	- 0,0431	

4. EVALUASI PASS ATAU NOT-PASS

Water meter yang dikalibrasi memiliki Laporan Verifikasi dari pabrik yang menyatakan bahwa alat-ukur ini memiliki akurasi sebesar 1 % dari skala-penuh.

Skala penuh water meter = FS = 25 m^3 maka akurasi alat = 1 % x 25 m^3 = 0,25 m^3 .

Evaluasi *pass or not pass* adalah pernyataan yang umum digunakan untuk memberikan pernyataan apakah hasil kalibrasi harus menurunkan nilai kelas akurasi dari alat-ukur ataukah memberikan kesepakatan bahwa kelas akurasi masih tetap sebagaimana pernyataan dari pabrik.

Pernyataan PASS atau NOT-PASS diberikan mengikuti keadaan :

- jika nilai absolut dari koreksi C plus nilai absolut dari ketidakpastian bentangan $U_{95} \leq 1/3 \times$ akurasi maka harus diberikan pernyataan PASS
- jika nilai absolut dari koreksi C plus nilai absolute dari ketidakpastian bentangan $U_{95} > 1/3 \times$ akurasi maka harus diberikan pernyataan NOT PASS.

Pernyataan PASS atau NOT-PASS untuk masing-masing titik ukur yang sedang dipertimbangkan ini jika ditabulasikan hasilnya adalah sebagai berikut :

Pembacaan Alat (m^3)	Koreksi C (m^3)	Ketidakpastian Bentangan U_{95} (m^3)	$ C + U_{95} $ (m^3)	1/3 x akurasi alat (m^3)	PASS atau NOT-PASS
5	-0,0081	$\pm 0,00488$	0,01298	0,083	PASS
10,002	-0,0181		0,02298		PASS
15,003	-0,0283		0,03318		PASS
20,002	-0,0359		0,04078		PASS
25	-0,0431		0,04798		PASS

5. KESIMPULAN

Telah dilakukan kalibrasi water meter dengan cara dikomparasikan terhadap Rotameter referensi. Pada table terkahir dapat dibaca bahwa angka tertinggi pada kolom-4 adalah 0,04798 sedangkan angka di kolom-5 adalah 0,083. Karena $0,04798 < 0,083$ harus diberikan ketetapan bahwa kelas 1 % dari skala-penuh ini, sesuai yang diberikan oleh pabrik, terpenuhi (*pass*) dan tidak perlu diturunkan ke kelas akurasi lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- *Method of Flow Measurement by Turbine Meters*, Japan International Standards JIS Z-8765, 1980.
- ASTM D-3195, *Standard Practice for Rotameter Calibration*, 1990.
- Streeter, V.L., and Wylie E.B., *Mekanika Fluida*, Erlangga, Jakarta, 1991.
- Permana, W., *Pengukuran dan Kalibrasi Alat-ukur Aliran, Materi Pelatihan*, Puslit KIM-LIPI, 2009.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS

Nama : Entjie Mochamad Sobich
Instansi : Puslit Kalibrasi, Instrumentasi dan Metrologi - LIPI
Puspipstek Serpong
Pendidikan : S2 - Program Instrumentasi dan Kontrol -Teknik Fisika - ITB tahun 2000 - 2003
Status Peneliti : Peneliti Utama - LIPI (TMT 2008).