

PERBANDINGAN METODE PENENTUAN FAKTOR-K PENGUKUR JENIS TURBIN UNTUK ALIRAN AIR RENDAH RENTANG 0,03–0,3 LITER/MENIT

THE COMPARISON OF K-FACTOR DETERMINATION METHOD OF TURBINE METER FOR LOW WATER FLOW RANGE OF 0.03–0.3 L/MIN

Jalu Ahmad Prakosa

Puslit Metrologi LIPI, Puspiptek Serpong, Tangerang, Banten
jaluahmad@gmail.com, jalu@kim.lipi.go.id

ABSTRAK

Dalam diseminasi pengukuran laju aliran menggunakan standar transfer pengukur aliran jenis turbin di Puslit Metrologi LIPI, umumnya digunakan nilai faktor-K tunggal dari perhitungan reratanya. Padahal, nilai faktor-K itu berubah-ubah secara nonlinear sesuai dengan besar laju alirannya terutama pada aliran rendah di bawah 0,3 liter/menit yang memiliki koefisien variasi sebesar 33,86% dan belum dapat tertelusur secara mandiri. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis metode penentuan faktor-K pengukur aliran jenis turbin yang terbaik dalam diseminasi pengukuran laju aliran air rendah. Telah dilakukan kalibrasi sebuah rotameter sebagai standar cek terhadap pengukur aliran jenis turbin. Dilakukan tiga metode penentuan faktor-K yang digunakan, yaitu nilai tunggal perhitungan rerata, *curve fitting*, dan nilai tunggal perhitungan median. Dari hasil pengukuran dan analisis data pada rentang ukur 0,03–0,3 liter/menit dengan ketiga metode tersebut, didapatkan rata-rata kemungkinan kesalahan maksimum pembacaan sebesar 36,7%, 22,7%, dan 29,8%. Oleh karena itu, penentuan faktor-K dengan *curve fitting* merupakan metode terbaik karena memiliki kesalahan terkecil dan direkomendasikan menjadi prosedur kerja. Khusus titik ukur 0,1 liter/menit direkomendasikan menggunakan metode nilai tunggal perhitungan rerata. Pengembangan standar primer besaran laju aliran air rendah di bawah 0,3 liter/menit perlu dilakukan agar dapat tertelusur secara mandiri.

Kata kunci: perbandingan metode, faktor-K, pengukur aliran jenis turbin, diseminasi, laju aliran air rendah

ABSTRACT

Dissemination of the flow rate measurement using a transfer standard of turbine flow meter at Research Center of Metrology LIPI usually use a single K-factor value from its mean calculation. Whereas the K-factor value fluctuates non linearly according to its flow rate especially on low flow rate below 0.3 L/min that has variation coefficient of 33.86% and hasn't been traceable independently. The purpose of this study is to analyze the best method of K-factor determination of turbine flow meter in the dissemination of low water flow rate measurement. A rotameter has been calibrated as standard check against the turbine flow meter. The 3 methods are used to determined the K-factor, which are a single value of the mean calculation, curve fitting, and a single value of the median calculation. From the results of measurement and data analysis in measuring range from 0.03 to 0.3 L/min obtained an average of maximum possibility error of reading of 36.7%, 22.7%, and 29.8%. Therefore, the K-factor determination by curve fitting is the best method because it has the smallest error and recommended to be working procedure. Special case at measuring point of 0.1 L/min is recommended to use a value of the mean calculation. Development of primary standard for low water flowrate below 0.3 L/min is urgent to be traceable independently.

Keywords: method comparison, K-factor, turbine flow meter, dissemination, low water flow rate

1. PENDAHULUAN

Pengukur aliran jenis turbin merupakan salah satu jenis alat ukur laju aliran air yang dijadikan standar transfer di berbagai laboratorium kalibrasi (Gambar 1). Pengukur aliran jenis turbin memiliki baling-baling yang kecepatan perputarannya sebanding dengan besar laju aliran air yang melalui turbin tersebut. Setiap kali baling-baling berotasi, akan menghasilkan pulsa elektrik pada bagian ujung magnet yang terpasang pada selubung turbin tersebut. Setiap pulsa tersebut menunjukkan volume air diskrit yang melewatinya. Dengan demikian, faktor-K merupakan jumlah pulsa yang dihasilkan turbin untuk setiap satuan volume dari air yang melewatinya. Nilai faktor-K tersebut berperan sangat penting dalam melakukan diseminasi pengukuran besaran laju aliran air menggunakan alat pengukur aliran jenis turbin ini.¹

Agar dapat menentukan nilai faktor-K suatu pengukur aliran jenis turbin, dapat digunakan standar primer sistem kalibrasi laju aliran air, seperti *piston prover* ataupun *weighing scale system* atau metode perbandingan dengan sesama standar transfer.² Hasil kalibrasi pengukur aliran jenis turbin terhadap standar primer berupa nilai faktor-K yang dilaporkan dalam bentuk sertifikat kalibrasi. Dalam diseminasi pengukuran laju aliran menggunakan standar transfer pengukur aliran jenis turbin tersebut, di Puslit Metrologi LIPI biasanya menggunakan nilai faktor-K tunggal dari perhitungan nilai reratanya. Padahal, nilai faktor-K pada sertifikat kalibrasi pengukur aliran jenis turbin itu berubah-ubah sesuai dengan besar laju alirannya, terutama pada turbin untuk aliran rendah yang memiliki kurva grafik nonlinear dan koefisien variasi yang besar, yaitu 33,86%.

Salah satu cara untuk memeriksa standar transfer pengukur aliran jenis turbin tersebut adalah pengecekan nilai pengukuran laju aliran dengan standar primer yang lebih tinggi ataupun menggunakan *meter under test* (MUT) pengukur aliran jenis yang lebih rendah sebagai standar cek nilai pembandingnya.³ Kalibrator *piston prover* yang dimiliki Puslit Metrologi LIPI

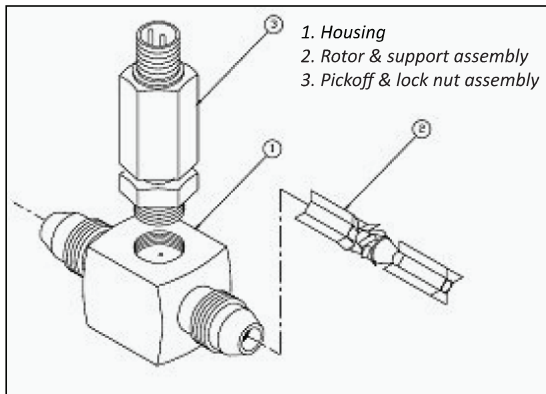
tidak dapat mengkalibrasi standar pengukur aliran jenis turbin pada rentang ukur aliran rendah, yaitu 0,03~0,30 liter/menit sehingga masih tertelusur ke satuan SI melalui *National Metrology Institute* (NMI) negara lain. Oleh karena itu, penelitian ini akan melakukan cek standar transfer pengukur aliran jenis turbin menggunakan MUT jenis rotameter sebagai cek standar. Analisis data yang digunakan adalah dengan beberapa metode penentuan faktor-K, yaitu nilai tunggal perhitungan rerata, *curve fitting*, dan nilai tunggal perhitungan median. Dari analisis data kalibrasi MUT pengukur aliran jenis dengan standar transfer pengukur aliran jenis turbin menggunakan beberapa metode penentuan faktor-K turbin tersebut, diharapkan mendapatkan metode paling akurat untuk mendiseminasikan nilai pengukuran laju alirannya. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis metode penentuan faktor-K pengukur aliran jenis turbin yang terbaik dalam diseminasi pengukuran laju aliran rendah pada fluida air. Dengan mengetahui metode penentuan faktor-K yang terbaik di antara ketiga metode tersebut, dapat direkomendasikan metode yang paling akurat sebagai standar perhitungan analisis data dalam dokumen prosedur kerja.



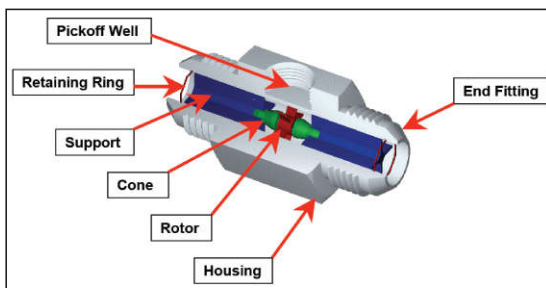
Gambar 1. Contoh Pengukur Aliran Jenis Turbin

2. DASAR TEORI

Pada pengukur aliran jenis turbin, setiap kali baling-baling berotasi akan dihasilkan pulsa elektrik pada *pickoff* yang terpasang di selubung turbin, seperti pada Gambar 2. Setiap pulsa menunjukkan volume fluida diskrit yang melewatinya. Frekuensi pulsa menunjukkan laju alir volumetrik dan total akumulasi pulsa menunjukkan volume total fluida yang terukur.



(a)



(b)

Gambar 2. (a) Pengukur Aliran Jenis Turbin; (b) Komponen Penyusunnya¹

Faktor-K adalah jumlah pulsa yang dihasilkan pengukur aliran jenis turbin untuk setiap satuan volume dari fluida yang melewatinya. Nilai faktor-K diperlukan sebagai sebuah faktor konversi dalam pengukuran besaran laju aliran fluida yang menggunakan alat ukur ini.

$$\text{Faktor-K} = \frac{N}{V} \quad (1)$$

Keterangan:

Faktor-K = Jumlah pulsa tiap satuan volume pengukur aliran jenis turbin, pulsa/liter

N = Jumlah pulsa yang dihasilkan pengukur aliran jenis turbin, pulsa

V = Volume fluida yang melalui pengukur aliran jenis turbin, liter

Laju aliran fluida dapat diketahui dari nilai faktor-K tersebut, yaitu dinyatakan sebagai persamaan (2) berikut ini:⁴

$$Q = \frac{V}{t_m} = \frac{N}{t_m \cdot (\text{Faktor-K})} = \frac{f \cdot (60)}{\text{Faktor-K}} \quad (2)$$

$$f = \frac{N}{t_s} \quad (3)$$

Keterangan:

Q = Laju aliran fluida yang melewati pengukur aliran jenis turbin, liter/menit

f = Frekuensi *pickoff* (jumlah pulsa yang dihasilkan tiap satuan sekon), pulsa/sekon atau Hz

t_m = Waktu pengukuran, menit

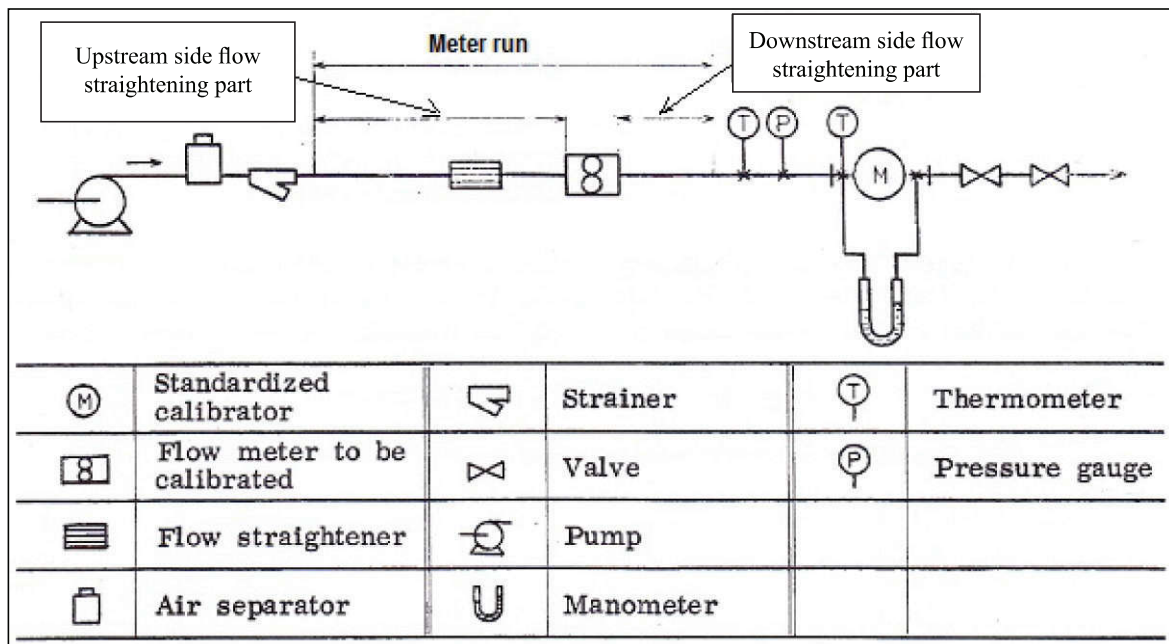
t_s = Waktu pengukuran, sekon

Pengukur aliran jenis turbin mempunyai spesifikasi akurasi yang teliti, yaitu 0,25% sehingga umumnya dijadikan standar transfer di banyak laboratorium kalibrasi.^{5,6}

3. METODE PENELITIAN

Pengukur aliran jenis turbin akan dikalibrasi dengan menggunakan metode perbandingan yang tersaji pada JIS Z 8765-1980 *Method of Flow Measurement by Turbine Meters*.^{7,8} Pada metode perbandingan ini (Gambar 3), pengukur aliran yang telah diketahui akurasiya digunakan sebagai kalibrator standar. Walaupun sistem kalibrasi dengan metode perbandingan lebih sederhana daripada metode penimbangan ataupun volumetrik, akurasi kalibrasi cenderung menjadi lebih rendah sampai batas tertentu. Dalam pemilihan kalibrator standar, pada sistem ini direkomendasikan menggunakan pengukur yang dapat direkalibrasi menggunakan pipa *prover* atau sejenisnya.

Standardized calibrator menggunakan *master* pengukur aliran jenis turbin milik Puslit Metrologi LIPI sebagai standar, sedangkan *flow meter to be calibrated* menggunakan pengukur aliran jenis rotameter milik konsumen sebagai MUT sekaligus standar cek transfer pengukur aliran jenis turbin tersebut. Standar transfer pengukur aliran jenis turbin yang digunakan tipe FTO-2AIU3 dengan rentang ukur aliran rendah, yaitu (0,03~0,30) liter/menit dengan ketidakpastian relatif pembacaan sebesar 0,13% yang telah tertelusur ke satuan SI melalui TUBITAK UME Turki. Tabel 1 berisi data nilai faktor-K yang merupakan hasil kalibrasi terhadap standar primer TUBITAK UME Turki dengan metode gravimetrik-10 kg *weighing scale system*.⁹

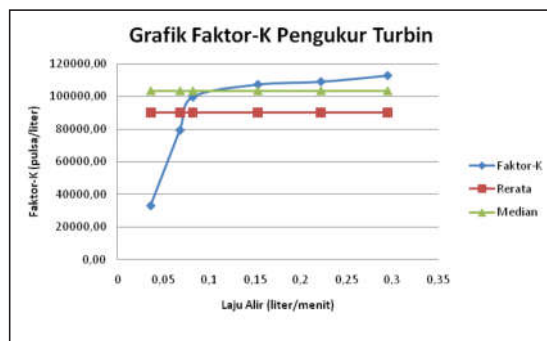


Sumber: (JIS Z 8765-1980 subpasal 6.1.3 *Comparison Method*)

Gambar 3. Diagram Metode Perbandingan

Tabel 1. Hasil Kalibrasi Pengukur Aliran Jenis Turbin Tipe FTO-2AIU3

Q_{STD} (liter/menit)	Faktor-K (pulsa/liter)
0,036	32855,54
0,068	79285,19
0,082	99670,22
0,15	107378,60
0,22	109111,90
0,3	112849,80
Rerata ($\bar{x}$)	90191,88
Simpangan baku (s)	30538,45
Koefisien variasi (Cv)	33,86%



Gambar 4. Grafik Nilai Faktor-K Hasil Kalibrasi Pengukur Aliran Jenis Turbin

Terlihat pada Tabel 1, nilai faktor-K pengukur aliran jenis turbin berubah-ubah secara nonlinear sesuai dengan perubahan nilai laju alirannya.⁵ Pada rentang ukur laju alir (0,03~0,30) liter/menit nilai faktor-K berubah-ubah dengan rerata 90191,88 pulsa/liter dan standar deviasi sebesar 30538,45 pulsa/liter. Perubahan nilai faktor-K pengukur aliran jenis turbin tersebut sangat besar dan kurang stabil, terbukti dengan memiliki koefisien variasi sebesar 33,86%. Hasil nilai faktor-K tersebut jauh lebih labil dibandingkan dengan hasil kalibrasi pengukur aliran jenis turbin dari KRISS Korea pada rentang aliran menengah, yaitu (0,74~1.475) liter/menit pada Tabel 2.¹⁰⁻¹³

Tabel 2. Hasil Penentuan Nilai Faktor-K pada Berbagai Tipe Rentang Ukur pada Pengukur Aliran Jenis Turbin

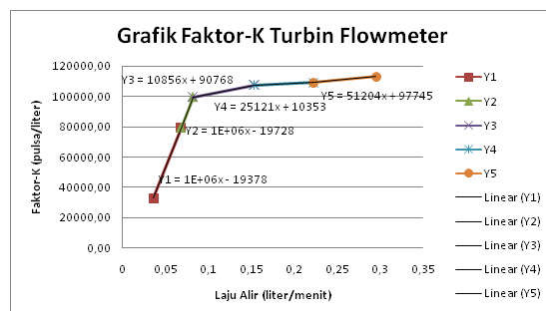
Tipe	Rentang Ukur (liter/menit)	Koefisien Variasi (Cv)
FT4-8	0,74 ~ 9,73	0,39%
FT12	4 ~ 70	0,57%
FT24	50 ~ 550	2,12%
FT40	137 ~ 1.475	0,57%
FTO-2AIU3	0,03~0,30	33,86%

Dari perbandingan koefisien variasi nilai faktor-K turbin dari beberapa rentang ukur pada Tabel 2 di atas, untuk laju aliran air rendah di bawah 0,3 liter/menit tidak disarankan menggunakan pengukur aliran jenis turbin sebagai standar transfer karena memiliki koefisien variasi sangat besar dibandingkan dengan tipe dan rentang ukur turbin yang lain.^{14,15} Oleh karena itu, diperlukan metode penentuan faktor-K yang efektif agar dapat melakukan diseminasi pengukuran laju aliran dengan akurat. Grafik nilai faktor-K pengukur aliran jenis turbin aliran rendah pada Gambar 4 berbentuk nonlinear, tetapi dapat didekati dengan *curve fitting* persamaan linear yang terbentuk antara dua titik yang berdekatan dalam menentukan titik ukur yang belum diketahui pada data sertifikat kalibrasi tersebut. Beberapa metode penentuan faktor-K yang digunakan dalam analisis data adalah nilai tunggal perhitungan rerata, *curve fitting*, dan nilai tunggal perhitungan median. Berikut ini hasil penentuan nilai faktor-K pengukur aliran jenis turbin dengan beberapa metode tersebut.

Tabel 3. Hasil Penentuan Nilai Faktor-K dengan Beberapa Metode

	Rerata	Median	Curve Fitting
	(pulsa/liter)		
Faktor-K	90191,9	103524,4	$Y = m.x + c$

Pada penentuan nilai Faktor-K dengan *curve fitting*, digunakan data pada Tabel 1 untuk menentukan gradien dan konstantanya. Gambar 5 dan Tabel 4 berisi komponen *curve fitting* persamaan linear untuk menentukan Faktor-K berdasarkan laju alirannya dari dua titik ukur yang berdekatan.



Gambar 5. Grafik Persamaan Linear dengan *Curve Fitting*

Tabel 4. Komponen Persamaan Linear Faktor-K dengan *Curve Fitting*

Rentang Ukur (Y) dalam liter/menit	Gradien (m)	Konstanta (c)
0,036~0,068	1450927	-19377,8
0,068~0,082	1456074	-19727,8
0,082~0,153	108568,3	90767,6
0,153~0,222	25121,16	103535
0,222~0,295	51203,97	97744,7

Dari analisis data kalibrasi MUT dengan standar transfer pengukur aliran jenis turbin menggunakan beberapa metode penentuan faktor-K, pengukur aliran jenis turbin tersebut diharapkan mendapatkan metode paling akurat untuk mendiseminasikan nilai pengukuran laju alirannya.

Sumber-sumber ketidakpastian yang diperhitungkan berasal dari frekuensi *pickoff*, temperatur fluida, resolusi, standar, dan *repeatability*, sedangkan sumber ketidakpastian lainnya diabaikan dalam perhitungan. Untuk evaluasi ketidakpastian pengukuran data tipe A dan B dihitung dengan perumusan pada persamaan 4 s.d. 15. Ketidakpastian tipe A didapatkan dari pengukuran berulang (*repeatability*) sedangkan tipe B didapatkan selain dari tipe A.^{15,16}

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (4)$$

$$u = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{\sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}}}{\sqrt{n}} \quad (\text{tipe A}) \quad (5)$$

$$v_i = n - 1 \quad (\text{tipe A}) \quad (6)$$

$$u_i = \frac{a_i}{D} = \frac{1}{2} \cdot \frac{res}{\sqrt{3}} \quad (\text{tipe B}) \quad (7)$$

$$v_i = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{100}{R} \right)^2 \quad (\text{tipe B}) \quad (8)$$

$$c_i = \frac{\partial F(x)}{\partial x} \quad (9)$$

$$u_c = \sqrt{\sum c_i^2 \cdot u_i^2} \quad (10)$$

$$V_{\text{eff}} = \frac{u_c}{\sum \frac{c_i^4 \cdot u_i^4}{v_i}} \quad (11)$$

$$U_{ex} = k \cdot u_c \quad (12)$$

$$Q_{error} = Q_{MUT} - Q_{STD} \quad (13)$$

$$e_{max} = |Q_{error}| + U_{ex} \quad (14)$$

$$Cv = s / \bar{x} \quad (15)$$

Keterangan:

u_i	= Ketidakpastian baku data ke-i pengukuran
u_c	= Ketidakpastian gabungan pengukuran
s	= Nilai simpangan baku atau standar deviasi
x_i	= Nilai data ke-i
$\bar{x}$	= Nilai rata-rata
n	= Jumlah data
a	= Rentang paruh
res	= Resolusi alat ukur
D	= Distribusi/sebaran
R	= Tingkat keraguan
c_i	= Koefisien sensitivitas data ke-i
$F(x)$	= Model matematis
v_i	= Derajat kebebasan data ke-i pengukuran
v_{eff}	= Derajat kebebasan efektif pengukuran
k	= Faktor cakupan sesuai faktor-t student
U_{ex}	= Ketidakpastian terentang
Q_{MUT}	= Pembacaan laju alir MUT
Q_{STD}	= Pembacaan laju alir standar
Q_{error}	= Kesalahan pembacaan laju alir
e_{max}	= Kemungkinan eror maksimum
C_v	= Koefisien variasi

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kalibrasi MUT pengukur aliran jenis rotameter dengan standar transfer pengukur aliran jenis turbin dilakukan pada 27 September 2012 dalam kondisi ruangan bertemperatur ($23,1 \pm 0,1$)°C dan kelembapan relatif (RH) ($44,9 \pm 0,2$)% di laboratorium aliran Puslit Metrologi LIPI (Gambar 6). Tabel 5, 6, dan 7 merupakan hasil kalibrasi pengukur aliran jenis sebagai cek standar transfer dengan pengukur aliran jenis turbin menggunakan analisis data nilai tunggal perhitungan rerata faktor-K sebesar 90191,9 pulsa/liter.



Gambar 6. Standar Cek Pengukur Aliran Jenis Turbin dengan MUT Jenis Rotameter

Tabel 5. Hasil Kalibrasi Pengukur Aliran Jenis dengan Analisis Data Nilai Tunggal Perhitungan Rerata

Q_{MUT}	Q_{error}	U_{ex}	Q_{error}	U_{ex}	e_{max}
	liter/menit			%	
0,03	0,02	0,0089	61,1%	27,0%	88,1%
0,05	0,035	0,0056	70,1%	11,1%	81,2%
0,07	0,021	0,0056	32,0%	8,3%	40,4%
0,10	-0,001	0,0056	-1,3%	5,6%	6,9%
0,13	-0,02	0,0056	-15,9%	4,2%	20,1%
0,15	-0,031	0,0056	-20,4%	3,7%	24,1%
0,17	-0,036	0,0056	-21,7%	3,3%	25,0%
0,20	-0,049	0,0056	-24,3%	2,8%	27,1%
0,23	-0,057	0,0056	-24,5%	2,4%	26,9%
0,27	-0,067	0,0056	-25,0%	2,1%	27,1%
Rerata					36,7%

Sesuai dengan gradien (m) dan konstanta (c) pada Tabel 4 nilai faktor-K (Y) dapat ditentukan dari nilai laju alirnya (x) berdasarkan persamaan linear ($Y = m \cdot x + c$) tersebut. Tabel 6 merupakan hasil kalibrasi pengukur aliran jenis sebagai cek standar transfer dengan pengukur aliran jenis turbin menggunakan analisis data *curve fitting* faktor-K.

Tabel 7 merupakan hasil kalibrasi pengukur aliran jenis sebagai cek standar transfer dengan pengukur aliran jenis turbin menggunakan analisis data nilai tunggal perhitungan median faktor-K sebesar 103524,4 pulsa/liter.

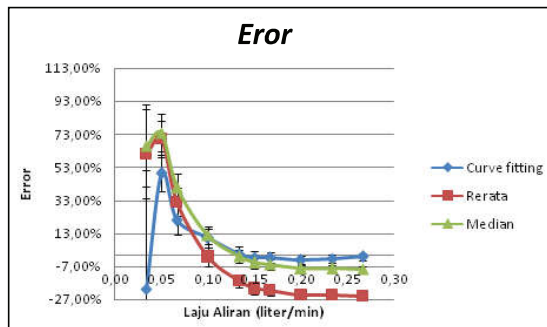
Tabel 6. Hasil Kalibrasi Pengukur Aliran Jenis dengan analisis Data *Curve Fitting* Faktor-K

Q_{MUT}	Faktor-K	Q_{error}	U_{ex}	Q_{error}	U_{ex}	e_{max}
liter/menit	pulsa/liter	liter/menit			%	
0,03	28986,40	-0,0069	0,024	-20,8%	72,1%	92,9%
0,05	53168,51	0,027	0,0056	49,3%	11,1%	60,4%
0,07	77350,62	0,014	0,0056	20,7%	8,3%	29,1%
0,10	101624,45	0,01	0,0056	10,1%	5,6%	15,6%
0,13	105243,39	0,0009	0,0056	0,7%	4,2%	4,9%
0,15	107052,87	-0,002	0,0056	-1,4%	3,7%	5,1%
0,17	107721,89	-0,0031	0,0056	-1,9%	3,3%	5,2%
0,20	108559,26	-0,0065	0,0056	-3,3%	2,8%	6,1%
0,23	109692,24	-0,0055	0,0056	-2,3%	2,4%	4,7%
0,27	111399,04	-0,0033	0,0056	-1,2%	2,1%	3,3%
Rerata						22,7%

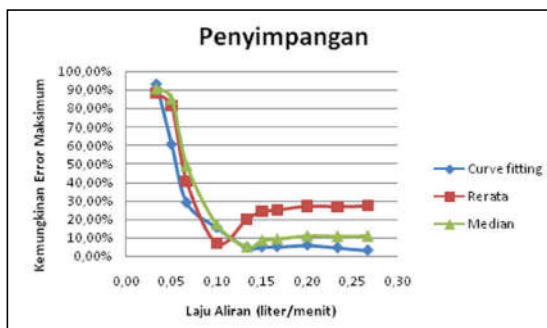
Tabel 7. Hasil Kalibrasi Pengukur Aliran Jenis dengan Analisis Data Nilai Tunggal Perhitungan Median

Q_{MUT}	Q_{error}	U_{ex}	Q_{error}	U_{ex}	e_{max}
	liter/menit			%	
0,03	0,022	0,008	66,1%	24,7%	90,8%
0,05	0,037	0,0056	73,9%	11,1%	85,1%
0,07	0,027	0,0056	40,8%	8,3%	49,1%
0,10	0,012	0,0056	11,7%	5,6%	17,3%
0,13	-0,0013	0,0056	-1,0%	4,2%	5,1%
0,15	-0,0073	0,0056	-4,9%	3,7%	8,6%
0,17	-0,01	0,0056	-6,0%	3,3%	9,3%
0,20	-0,017	0,0056	-8,3%	2,8%	11,1%
0,23	-0,02	0,0056	-8,4%	2,4%	10,8%
0,27	-0,024	0,0056	-8,9%	2,1%	11,0%
Rerata					29,8%

Hasil kalibrasi pengukur aliran jenis dengan ketiga metode analisis data faktor-K yang berbeda tersebut ditampilkan pada grafik di bawah ini.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Nilai Error Ketiga Metode Analisis Data



Gambar 8. Grafik Perbandingan Nilai Kemungkinan Error Maksimum Ketiga Metode Analisis Data

Bentuk grafik error dan kemungkinan error maksimum pada Gambar 7 dan 8 relatif menurun terhadap semakin besarnya laju aliran karena nilai pembacaan standar pengukur aliran jenis turbin lebih besar daripada pembacaan MUT jenis rotameter. Pada titik ukur di bawah 0,1 liter/menit, hasil pengukurannya lebih buruk yang kemungkinan terjadi akibat sifat kelembaman pergerakan awal baling-baling pada pengukur aliran jenis turbin dibandingkan dengan hasilnya pada laju aliran di atas titik ukur 0,1 liter/menit yang relatif lebih baik. Sesuai dengan hukum Newton I, baling-baling turbin cenderung akan tetap diam sampai ada torsi yang menggerakkannya. Baling-baling turbin berputar tidak stabil pada titik ukur di bawah 0,1 liter/menit karena sifat kelembaman malas bergerak sampai ada torsi yang cukup untuk menggerakkannya, yaitu pada titik ukur mulai 0,1 liter/menit ke atas. Nilai torsi pada rentang ukur 0,1~0,3 liter/menit cukup untuk memutar baling-baling lebih stabil

sehingga hasil pengukurannya lebih baik.¹⁷ Sekilas terlihat pada Gambar 7 dan 8, metode penentuan faktor-K secara *curve fitting* memiliki error dan kemungkinan error maksimum paling kecil di hampir semua titik ukur.

Nilai error terbesar terdapat di titik ukur 0,05 liter/menit, yaitu sebesar 73,95% pada analisis data nilai tunggal perhitungan median faktor-K sesuai dengan Tabel 7. Sementara itu, nilai ketidakpastian terbesar terdapat di titik ukur 0,03 liter/menit, yaitu sebesar 72,06% pada analisis data *curve fitting* faktor-K sesuai dengan Tabel 6. Untuk analisis perbandingan nilai kemungkinan error maksimum ketiga metode analisis data yang terlihat pada Gambar 8, nilai rerata kemungkinan error maksimum terkecil yaitu sebesar 22,7% terdapat pada analisis data *curve fitting* faktor-K, sedangkan nilai rerata kemungkinan error maksimum terbesar yaitu sebesar 36,7% terdapat pada analisis data nilai tunggal perhitungan rerata faktor-K.

Pada semua titik ukur, metode penentuan faktor-K dengan *curve fitting* memiliki hasil paling baik dalam semua rentang kecuali di titik ukur 0,1 liter/menit, yaitu metode dengan nilai tunggal perhitungan rerata faktor-K memiliki hasil yang lebih baik. Namun, secara statistika sesuai dengan peluang jumlah kejadian sebesar 0,9 dan mayoritas hasil pengukuran terbaik pada seluruh rentang ukur didominasi oleh metode penentuan faktor-K dengan *curve fitting*. Sesuai dengan perbandingan secara umum, hasil ketiga metode analisis data, terutama dari nilai rerata kemungkinan error maksimum, dapat diduga bahwa analisis data *curve fitting* faktor-K merupakan metode diseminasi pengukuran laju aliran paling akurat pada pengukur aliran jenis turbin. Hal ini mungkin terjadi karena nilai faktor-K sebenarnya lebih tepat didekatkan melalui persamaan linear yang terbentuk dari dua titik ukur yang berdekatan sesuai dengan Gambar 5 dan Tabel 4 sehingga nilai faktor-K tersebut berubah-ubah secara dinamis berdasarkan laju alirnya. Walaupun metode penentuan nilai faktor-K dengan *curve fitting* lebih rumit dan sulit perhitungannya, metode tersebut lebih akurat. Oleh karena itu, metode penentuan nilai faktor-K dengan *curve fitting* dapat direkomendasikan sebagai metode standar

dalam mendiseminasikan nilai pengukuran laju aliran air rendah pengukur aliran jenis turbin pada prosedur kerja. Khusus titik ukur 0,1 liter/menit direkomendasikan menggunakan metode dengan nilai tunggal perhitungan rerata faktor-K karena memiliki hasil terbaik. Untuk lebih mudah, percaya diri, dan yakin dalam menguji kebenaran nilai faktor-K pengukur aliran jenis turbin, sebaiknya standar primer besaran laju aliran air rendah di bawah 0,3 liter/menit seperti TUBITAK UME–NMI Turki dengan metode gravimetrik *weighing scale system* harus segera dikembangkan agar terbangun ketertelusuran mandiri di Puslit Metrologi LIPI pada besaran tersebut.

5. KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran dan analisis data dengan tiga metode pada rentang ukur 0,03~0,3 liter/menit, didapatkan rata-rata kemungkinan kesalahan maksimum pembacaan nilai tunggal perhitungan rerata, *curve fitting*, dan nilai tunggal perhitungan median faktor-K adalah sebesar 36,7%, 22,7%, dan 29,8%. Metode penentuan nilai faktor-K dengan *curve fitting* lebih rumit dan sulit perhitungannya, tetapi metode tersebut paling akurat dibandingkan dengan dua metode lainnya kecuali di titik ukur 0,1 liter/menit, yaitu metode dengan nilai tunggal perhitungan rerata faktor-K memiliki hasil yang lebih baik.

Diseminasi nilai pengukuran standar transfer pengukur aliran jenis turbin untuk laju aliran air (0,03~0,30) liter/menit di Puslit Metrologi LIPI direkomendasikan menggunakan metode analisis *curve fitting* persamaan linear faktor-K sebagai prosedur kerja. Khusus titik ukur 0,1 liter/menit direkomendasikan menggunakan metode dengan nilai tunggal perhitungan rerata faktor-K karena memiliki hasil terbaik.

Untuk laju aliran air rendah di bawah 0,3 liter/menit tidak disarankan menggunakan pengukur aliran jenis turbin sebagai standar transfer karena memiliki koefisien variasi sangat besar, yaitu 33,86% apabila dibandingkan dengan tipe dan rentang ukur turbin yang lain. Pengembangan standar primer besaran laju aliran rendah di bawah 0,3 liter/menit perlu dilakukan di Puslit Metrologi LIPI.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada manajemen Puslit Metrologi LIPI yang telah menyediakan fasilitas pengukur aliran jenis turbin sebagai standar transfer laju aliran rendah pada medium fluida air sehingga kegiatan penelitian ini dapat berlangsung.

7. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Flow Technology Incorporated. 2006. *FT Series Turbine Flow Meter Installation, Operation and Maintenance Manual*. Arizona: FTL.
- [2] Wright, J.D. 2003. "What is the "Best" Transfer Standard for Gas Flow?" *Proceedings of FLOMEKO*. Groningen Netherlands, 12–14 Mei 2003: National Institute of Standards and Technology.
- [3] Erawan, Dede. 2012. *Jaminan Pengukuran*. Tangerang: Puslit KIM LIPI.
- [4] Flow Technology Incorporated. 2005. *Calware Variable Definition (Rev A)*. Arizona: FTL.
- [5] Lee, R. Cheesewright dan C. Clark. 2004. "The Dynamic Response of Small Turbine Flow Meter in Liquid Flows." *Flow Measurement and Instrumentation* 15 (2004) 239–248, UK: Elsevier Ltd.
- [6] Baker, R.C. 1993. "Turbine Flow Meter: II, Theoretical and Experimental Published Information." *Flow Measurement and Instrumentation* 4 123–44. UK: Butterworth-Heinemann Ltd.
- [7] Japanese Standards Association. 1980. *JIS Z 8765-1980 Method of Flow Measurement by Turbine Meters*. Japan: JSA.
- [8] Prakosa, Jalu A. dan Bernadus H.S. 2013. "Perbaikan Akuisisi Data pada Metode Perbandingan dalam Kalibrasi Pengukur Aliran Jenis Turbin". *Jurnal Standarisasi* Vol. 15 No. 3 hlm. 170-178. Jakarta: Puslitbang Standarisasi. ISSN 1411–0822.
- [9] TUBITAK UME. 2011. *Calibration Certificate of Liquid Master Turbine Flow Meter Type of FTO-2AIU3-LHA-0 Turbine, UME G2AS-0005 02-11*. Turki: UME.
- [10] KRISS. 2008. *Calibration Certificate of Turbine Flow Meter of FT4-8AEU3-LEA-0, No. 0800-04990-003*. Republik Korea: KRISS.
- [11] KRISS. 2008. *Calibration Certificate of Turbine Flow Meter of FT-12AEU3-LEA-0, No. 0800-04990-001*. Republik Korea: KRISS.

- [12] KRISS. 2008. *Calibration Certificate of Turbine Flow Meter of FT-24AEU3-LEA-0, No. 0800-04990-014*. Republik Korea: KRISS.
- [13] KRISS. 2008. *Calibration Certificate of Turbine Flow Meter of FT-40NEU3-LEA-025, No. 0800-04990-012*. Republik Korea: KRISS.
- [14] Tao Meng, Chi Wang, Feng Gao, dkk. 2013. *Design and Experimental Analysis of Transfer Standard in Water Flow Comparison*. 16th IMEKO TC9 Conference (Flomeko XVI). Paris: IMEKO.
- [15] Mattiasson, K. 2013. *Key Comparisons and the Ultimate Transfer Standard*. 16th IMEKO TC9 Conference (Flomeko XVI). Paris: IMEKO.
- [16] International Organisation for Standardisation. 1997. *ISO ISO/TR 7066-1:1997(E) Assessment of Uncertainty in Calibration and Use of Flow Measurement Devices-Part 1: Linear Calibration Relationships*. Swiss: ISO.
- [17] JCGM. 2008. *JCGM 100:2008 Evaluation of Measurement Data—Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*. Paris: BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, dan OIML.
- [18] Chen, Gang, Yulin Wu, Suhong Fu, Mingjie Li, dan Guangjun Cao. 2008. "Investigation of the Meter Factor of Turbine Meter with Unsteady Numerical Simulation." pp. 426-433. *The 4th International Symposium on Fluid Machinery and Fluid Engineering*. 24–27 November 2008. Beijing: Springer.