

PERBAIKAN AKUISISI DATA PADA METODE PERBANDINGAN DALAM KALIBRASI PENGUKUR ALIRAN JENIS TURBIN

Improving of the Data Acquisition on Comparison Method of Turbine Flowmeter Calibration

Jalu Ahmad Prakosa dan Bernadus H. Sirenden

Pusat Penelitian Kalibrasi, Instrumentasi dan Metrologi (KIM) LIPI
Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Banten 15314, Indonesia
e-mail: jaluahmad@gmail.com, ben@kim.lipi.go.id

Diterima: 22 Maret 2013, Direvisi: 9 Juli 2013, Disetujui: 17 Juli 2013

Abstrak

Pada SNI ISO 2715:2011 yang mengadopsi ISO 2715:1981 secara khusus dibahas mengenai pengukuran volumetrik dengan turbin meter pada medium hidrokarbon cair. Sedangkan dalam melakukan kalibrasi turbin flowmeter dengan metode perbandingan pada medium fluida yang lebih umum, Puslit KIM LIPI merujuk dokumen standar JIS Z 8765-1980. Pada akuisisi data kalibrasi turbin flowmeter secara manual yaitu melihat data kemudian mencatatnya menyebabkan ketidakpastian pengukuran yang besar. Telah dilakukan perbaikan akuisisi data pada metode perbandingan kalibrasi turbin flowmeter yaitu dengan melakukan otomatisasi akuisisi data secara *real time* ke komputer. Dari hasil analisis data didapatkan bahwa rerata perbandingan ketidakpastian antara akuisisi data secara manual dibanding secara otomatis *real time* pada turbin flowmeter berdiameter ½ inci sebesar 33,24 sedangkan untuk turbin flowmeter berdiameter 3/2 inci sebesar 2,14. Nilai perbandingan ketidakpastian pengukuran yang lebih besar dari satu membuktikan bahwa akuisisi data secara otomatis *real time* lebih akurat daripada secara manual. Dalam melakukan kalibrasi turbin flowmeter dengan metode perbandingan direkomendasikan untuk melakukan akuisisi data secara otomatis *real time*.

Kata kunci: metode perbandingan, turbin flowmeter, kalibrasi, ketidakpastian.

Abstract

At SNI ISO 2715:2011 that adopted from ISO 2715:1981 specifically discussed about volumetric measurements of the turbine meter on medium of liquid hydrocarbon. While the turbine flowmeter calibration by comparison method on medium of fluid that are more general, Puslit KIM LIPI refer the standard document of JIS Z 8765-1980. On data acquisition of the turbine flowmeter calibration manually, by looking at the data then recording them cause inaccuracies measurement and large uncertainties. Improving on data acquisition of the turbine flowmeter calibration by comparison method that is to automate data acquisition to computer in real time. From the data analysis found that the average of ratio in the relative uncertainty between data acquisition manually than automatically real-time on the turbine flowmeter that had diameter of ½ inches was 33.24 while on the turbine flowmeter that had diameter of 3/2 inches was 2.14. The ratio of measurement uncertainty that was greater than one were prove that the data acquisition automatically real-time was more accurate than manually. In the turbine flowmeter calibration by comparison method is recommended to acquire data automatically real-time.

Keywords: comparison method, turbine flowmeter, calibration, uncertain

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada Standar Nasional Indonesia (SNI) telah terdapat SNI ISO 2715:2011 "Hidrokarbon cair - Pengukuran volumetrik dengan sistem turbin meter" yang mengadopsi ISO 2715:1981 "*Liquid hydrocarbons - Volumetric measurement by turbine meter systems*" yang khusus membahas pengukuran volumetrik dengan turbin meter

pada medium hidrokarbon cair. Dalam melakukan kalibrasi turbin flowmeter dengan metode perbandingan pada medium fluida yang lebih umum, Puslit KIM LIPI merujuk standar *Japanese Industrial Standard* (JIS) Z 8765-1980 "*Method of Flow Measurement by Turbine Meters*". Sebelumnya pada saat mengkalibrasi turbin flowmeter konsumen menggunakan master standar turbin flowmeter Puslit KIM LIPI dengan metode perbandingan masih dilakukan secara manual yaitu akuisisi data turbin

flowmeter konsumen dilakukan operator dengan melihat kemudian mencatatnya. Hasil akuisisi data secara manual menghasilkan ketidakpastian yang besar. Hal ini mungkin terjadi karena ada jeda waktu antara melihat data kemudian mencatatnya secara manual dan juga kesalahan pembacaan data oleh mata operator kalibrasi. Perlu dilakukan perbaikan dalam akuisisi data dalam melakukan kalibrasi turbin flowmeter dengan metode perbandingan tersebut. Untuk mengurangi jeda waktu tersebut maka dalam akuisisi data turbin flowmeter standar dan *Unit Under Test* (UUT) dapat dilakukan secara *real time*. Kabel pickoff turbin dari standar dan UUT dihubungkan pada data akuisisi untuk dikirim dan disimpan pada komputer. Perlu dibuat software yang dapat mengakuisisi data dari standar dan UUT secara *real time* bersamaan sehingga diharapkan pengukuran dapat mengurangi ketidakpastian pengukurannya.



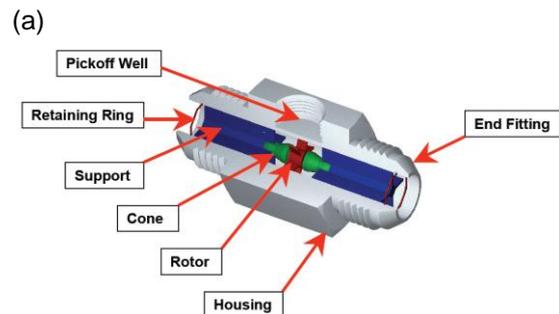
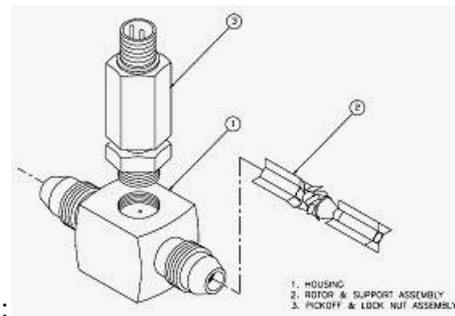
Gambar 1 Alat ukur aliran jenis turbin.

1.2 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah untuk memperbaiki cara akuisisi data pada metode perbandingan dalam kalibrasi pengukur aliran jenis turbin. Dengan memperbaiki akuisisi data yang sebelumnya secara manual menjadi secara otomatis *real time* maka diharapkan pengukuran dapat lebih akurat dan mengurangi ketidakpastian pengukurannya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Turbin flowmeter merupakan salah satu jenis alat ukur laju aliran fluida, didalamnya terdiri sebuah baling-baling yang kecepatan perputarannya sebanding dengan besar laju aliran fluida yang melalui flowmeter tersebut. Setiap kali baling-baling berotasi menghasilkan pulsa elektrik pada *pickoff* yang terpasang pada selubung flowmeter. Setiap pulsa tersebut menunjukkan volume fluida diskrit yang melewatinya. Frekuensi dari pulsa menunjukkan laju alir volumetrik dan total akumulasi pulsa menunjukkan volume total fluida yang terukur. Berikut ini gambar turbin flowmeter



(a)

Gambar 2 (a) Turbin flowmeter (b) Isi bagian dalam turbin flowmeter.

Faktor_K adalah jumlah pulsa yang dihasilkan flowmeter untuk setiap satuan volume dari fluida yang melewatinya. Nilai Faktor_K diperlukan sebagai sebuah konstanta dalam pengukuran besaran laju aliran fluida menggunakan alat ukur turbin flowmeter ini. Berikut ini perumusan dari Faktor_K.

$$Faktor_K = \frac{N}{V} \quad (1)$$

dimana:

Faktor_K = Jumlah pulsa tiap satuan volume turbin flowmeter, pulsa/liter.

N = Jumlah pulsa yang dihasilkan turbin flowmeter, pulsa.

V = Volume fluida yang melalui turbin flowmeter, liter.

Oleh karena itu laju aliran fluida dapat diketahui dari nilai Faktor_K tersebut yaitu dinyatakan sebagai persamaan(2) berikut ini.

$$Q = \frac{V}{t_m} = \frac{N}{t_m \cdot (Faktor_K)} = \frac{f \cdot (60)}{Faktor_K} \quad (2)$$

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

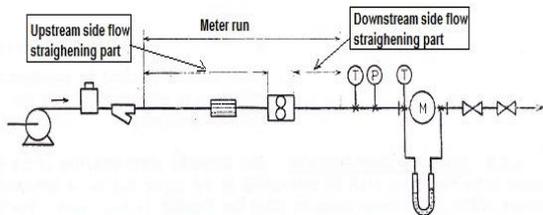
dimana:

- Q = Laju aliran fluida yang melewati turbin flowmeter, liter/ menit.
- F = Frekuensi *pickoff* yaitu jumlah pulsa yang dihasilkan tiap satuan sekon, pulsa/ sekon atau Hz.
- t_m = Waktu dalam menit, menit.
- t_s = Waktu dalam sekon, sekon.

(Flow Technology Incorporated, 2006).

3. METODE PENELITIAN

Turbin flowmeter akan dikalibrasi sesuai metode perbandingan pada JIS Z 8765-1980 "Method of Flow Measurement by Turbine Meters" yaitu pada metode perbandingan ini, pengukur aliran yang telah diketahui akurasi digunakan sebagai kalibrator standar. Walaupun sistem kalibrasi dengan metode perbandingan lebih sederhana daripada metode penimbangan atau pun volumetrik tetapi akurasi kalibrasi cenderung menjadi lebih rendah sampai batas tertentu. Dalam pemilihan kalibrator standar pada sistem ini direkomendasikan menggunakan yang dapat direkalibrasi menggunakan pipa prover atau sejenisnya. Terlihat pada Gambar 3 contoh diagram yang merepresentasikannya.



	Standardized calibrator		Strainer		Thermometer
	Flow meter to be calibrated		Valve		Pressure gauge
	Flow straightener		Pump		
	Air separator		Manometer		

Gambar 3 Diagram metode perbandingan (JIS Z 8765-1980 sub pasal 6.1.3 *Comparison Method*)

Pada item *standardized calibrator* menggunakan master turbin flowmeter milik Puslit KIM LIPI sebagai standar sedangkan item *flow meter to be calibrated* menggunakan turbin flowmeter milik konsumen sebagai UUT. Pada akuisisi data sebelumnya tahun 2012, masih menggunakan cara manual yaitu operator melihat data pada indikator turbin flowmeter UUT kemudian mencatatnya. Untuk mengurangi jeda waktu selama operator melihat kemudian

mencatat data maka dalam akuisisi data UUT dapat dilakukan secara *real time*. Kabel *pickoff* turbin dari standar dan UUT dihubungkan pada data akuisisi untuk dikirim dan disimpan pada komputer. Pembuatan software dilakukan untuk mengakuisisi data dari standar dan UUT secara *real time*.

Dalam menganalisis perbandingan ketidakpastian relatif *of reading* laju alir pada akuisisi data secara manual dibandingkan secara otomatis *real time* digunakan perumusan sebagai berikut:

$$\alpha = \frac{(U_{ex\%})_{\text{manual}}}{(U_{ex\%})_{\text{otomatis}}} \quad (4)$$

keterangan :

- α = Perbandingan ketidakpastian relatif *of reading* laju alir pada akuisisi data secara manual dibandingkan secara otomatis *real time*.
- $U_{ex\%}$ = Ketidakpastian relatif *of reading* laju alir pada saat akuisisi data secara manual atau secara otomatis *real time*.

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 berikut ini :

$$u_i = \frac{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2}}{\sqrt{n}} \quad (\text{Tipe A repeatability}) \quad (5)$$

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

$$u_i = \frac{1}{2} \cdot \frac{res}{\sqrt{3}} \quad (\text{Tipe B Resolusi}) \quad (7)$$

$$u_i = \frac{U_{ex}}{k} \quad (\text{Tipe B Sertifikat}) \quad (8)$$

$$v_i = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{100}{R} \right)^2 \quad (\text{Tipe B}) \quad (9)$$

$$c_i = \frac{\partial F(x)}{\partial x} \quad (10)$$

$$u_c = \sqrt{\sum c_i^2 \cdot u_i^2} \quad (11)$$

$$v_{\text{eff}} = \frac{u_c^4}{\sum \frac{c_i^4 \cdot u_i^4}{v_i}} \quad (12)$$

$$U_{\text{ex}} = k \cdot u_c \quad (13)$$

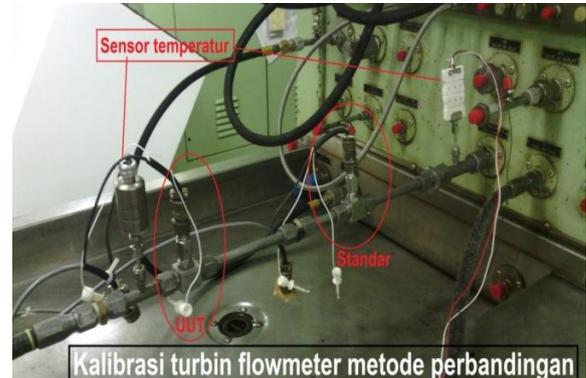
dimana:

- u_i = Ketidakpastian data ke-i pengukuran
- u_c = Ketidakpastian gabungan pengukuran
- s = Nilai simpangan baku atau standar deviasi
- x_i = Nilai data ke-i
- a = Rentang paruh
- res = Resolusi alat ukur
- 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

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

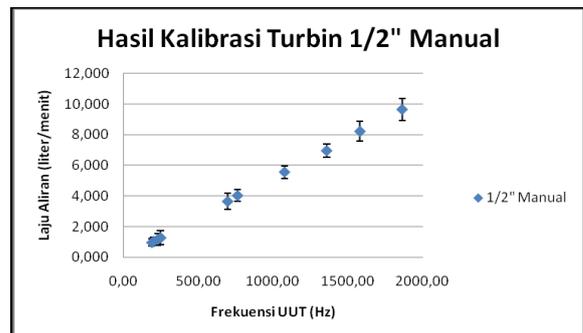
Susunan sistem kalibrasi turbin flowmeter dengan metode perbandingan mengikuti Gambar 3 pada dokumen standar JIS Z 8765-1980 sub pasal 6.1.3 *Comparison Method*. Karena dianggap tidak ada kebocoran atau diabaikan antara pipa pada UUT dengan standar maka dianggap tidak ada tekanan yang hilang. Oleh sebab itu tidak diperlukan sensor tekanan dalam

mengkalibrasi turbin flowmeter dengan metode perbandingan pada media fluida tidak termampatkan. Sensor temperatur dipasang untuk mengukur temperatur fluida.



Gambar 4 Kalibrasi turbin flowmeter dengan metode perbandingan di lapangan.

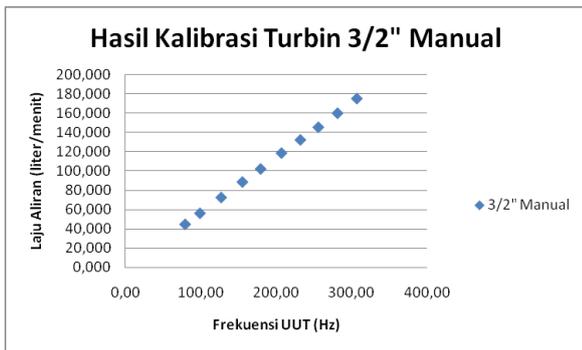
Digunakan dua sampel turbin flowmeter yaitu yang memiliki diameter ½ inci dan 3/2 inci. Pengukuran dilakukan dengan enam kali pengulangan pengambilan data. Berikut ini hasil akuisisi data secara manual kalibrasi turbin flowmeter dengan metode perbandingan pada tahun 2012.



Gambar 5 Grafik hasil kalibrasi turbin flowmeter berdiameter ½ inci secara manual.

Tabel 1 Hasil kalibrasi turbin flowmeter berdiameter ½ inci secara manual tahun 2012

Frekuensi UUT (Hz)	Laju Alir Aktual (liter / menit)	Ketidakpastian laju alir (liter/ menit)	Ketidakpastian relatif (%)
188,74	0,959	0,249	25,99
200,60	1,042	0,264	25,30
228,24	1,168	0,389	33,31
247,23	1,273	0,462	36,28
695,30	3,645	0,519	14,24
761,90	4,030	0,381	9,46
1076,00	5,561	0,407	7,31
1358,00	6,959	0,412	5,93
1581,00	8,221	0,661	8,03
1863,00	9,655	0,717	7,43
Ketidakpastian relatif terbesar (%)			36,28

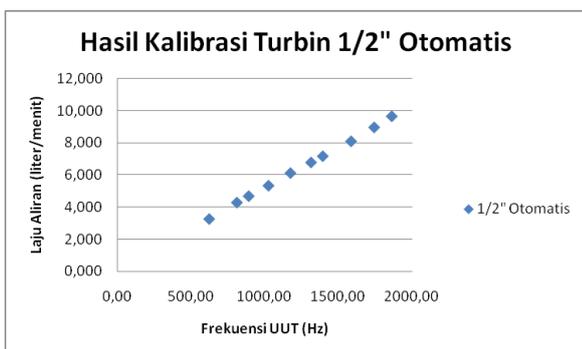


Gambar 6 Grafik hasil kalibrasi turbin flowmeter berdiameter 3/2 inci secara manual.

Tabel 2 Hasil kalibrasi turbin flowmeter berdiameter 3/2 inci secara manual tahun 2012

Frekuensi UUT (Hz)	Laju Alir Aktual (liter / menit)	Ketidakpastian laju alir (liter / menit)	Ketidakpastian relatif (%)
78,65	44,450	0,249	0,56
98,43	55,965	0,264	0,47
126,70	72,371	0,389	0,54
154,93	88,483	0,462	0,52
179,23	102,059	0,519	0,51
206,99	118,588	0,381	0,32
232,18	132,291	0,407	0,31
256,05	145,409	0,412	0,28
281,55	159,994	0,661	0,41
307,32	175,267	0,717	0,41
Ketidakpastian relatif terbesar (%)			0,56

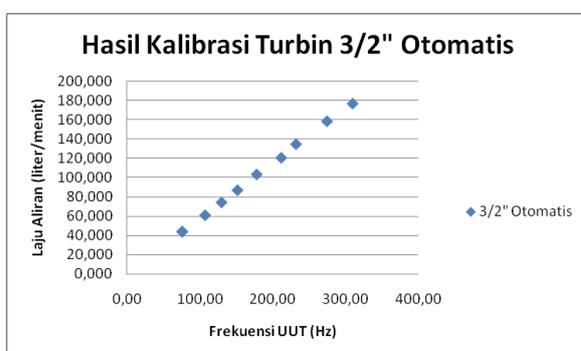
Sedangkan untuk hasil akuisisi data secara otomatis *real time* pada kalibrasi turbin flowmeter dengan metode perbandingan tahun 2013, sebagai berikut.



Gambar 7 Grafik hasil kalibrasi turbin flowmeter berdiameter 1/2 inci secara otomatis

Tabel 3 Hasil kalibrasi turbin flowmeter berdiameter ½ inci secara otomatis tahun 2013

Frekuensi UUT (Hz)	Laju Alir Aktual (liter / menit)	Ketidakpastian laju alir (liter / menit)	Ketidakpastian relatif (%)
625,02	3,241	0,014	0,45
813,12	4,269	0,010	0,23
892,90	4,672	0,011	0,23
1027,49	5,324	0,012	0,23
1176,47	6,109	0,014	0,23
1316,24	6,774	0,015	0,23
1395,77	7,164	0,016	0,23
1587,57	8,093	0,018	0,23
1744,30	8,964	0,020	0,23
1863,50	9,655	0,022	0,23
Ketidakpastian relatif terbesar (%)			0,45



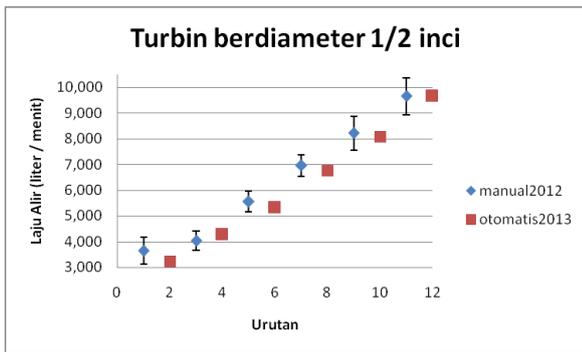
Gambar 8 Grafik hasil kalibrasi turbin flowmeter berdiameter 3/2 inci secara otomatis

Tabel 4 Hasil kalibrasi turbin flowmeter berdiameter 3/2 inci secara otomatis tahun 2013

Frekuensi UUT (Hz)	Laju Alir Aktual (liter/ menit)	Ketidakpastian laju alir (liter / menit)	Ketidakpastian relatif (%)
75,55	43,498	0,083	0,19
75,72	43,549	0,084	0,19
107,22	60,590	0,116	0,19
129,82	74,007	0,142	0,19
151,82	86,672	0,167	0,19
178,26	103,075	0,199	0,19
212,02	120,399	0,232	0,19
232,38	134,582	0,260	0,19
275,02	158,480	0,306	0,19
310,26	176,849	0,342	0,19
Ketidakpastian relatif terbesar (%)			0,19

Terlihat pada Tabel 1 dan Tabel 3, perbandingan ketidakpastian satuan absolut maupun relatif pada kalibrasi turbin flowmeter berdiameter ½ inci dengan metode perbandingan untuk titik ukur laju alir aktual yang hampir bedekatan terjadi pengurangan antara akuisisi data secara manual tahun 2012 dibandingkan secara otomatis *real time* tahun 2013. Berikut ini perbandingan ketidakpastian satuan absolut dan

relatif pada kalibrasi turbin flowmeter berdiameter ½ inci antara akuisisi data secara manual tahun 2012 dengan secara otomatis *real time* tahun 2013.



Gambar 9 Grafik perbandingan nilai pengukuran turbin flowmeter berdiameter 1/2 inci.

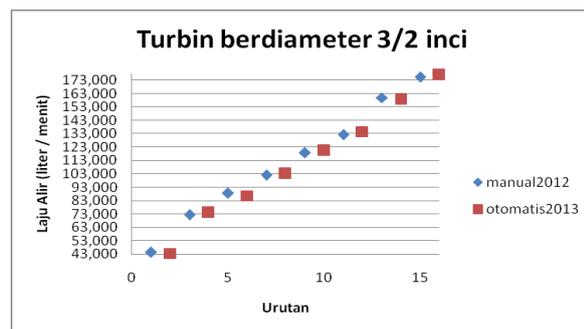
Tabel 5 Perbandingan ketidakpastian relatif kalibrasi turbin flowmeter berdiameter 1/2 inci

Otomatis 2013		Manual 2012		Perbandingan Ketidakpastian relatif
Laju Alir Aktual (liter / menit)	Ketidakpastian relatif (%)	Laju Alir Aktual (liter / menit)	Ketidakpastian relatif (%)	
3,241	0,45	3,645	14,24	31,89
4,269	0,23	4,030	9,46	41,45
5,324	0,23	5,561	7,31	32,05
6,774	0,23	6,959	5,93	26,00
8,093	0,23	8,221	8,03	35,31
9,655	0,23	9,655	7,43	32,74
Rerata perbandingan ketidakpastian relatif				33,24

Terlihat pada Tabel 5, nilai ketidakpastian relatif pada kalibrasi turbin flowmeter berdiameter 1/2 inci dengan metode perbandingan untuk akuisisi data secara otomatis *real time* tahun 2013 jauh berkurang dibanding akuisisi data secara manual tahun 2012 yaitu dengan rerata perbandingan ketidakpastian relatif sebesar 33,24. Oleh karena itu pengambilan data secara otomatis *real time* pada kalibrasi turbin flowmeter berdiameter 1/2 inci dengan metode perbandingan lebih baik daripada secara manual.

Sedangkan pada Tabel 2 dan Tabel 4, perbandingan ketidakpastian satuan absolut maupun relatif pada kalibrasi turbin flowmeter berdiameter 3/2 inci dengan metode perbandingan untuk titik ukur laju alir aktual yang hampir bedekatan terjadi pengurangan antara akuisisi data secara manual tahun 2012 dibandingkan secara otomatis *real time* tahun 2013. Berikut ini perbandingan ketidakpastian

satuan absolut dan relatif pada kalibrasi turbin flowmeter berdiameter 3/2 inci antara akuisisi data secara manual tahun 2012 dengan secara otomatis *real time* tahun 2013.



Gambar 10 Grafik perbandingan nilai pengukuran turbin flowmeter berdiameter 3/2 inci.

Tabel 6 Perbandingan ketidakpastian relatif kalibrasi turbin flowmeter berdiameter 3/2 inci

Otomatis 2013		Manual 2012		Perbandingan Ketidakpastian Relatif
Laju Alir Aktual (liter / menit)	Ketidakpastian Relatif (%)	Laju Alir Aktual (liter / menit)	Ketidakpastian Relatif (%)	
43,549	0,19	44,450	0,56	2,92
74,007	0,19	72,371	0,54	2,80
86,672	0,19	88,483	0,52	2,71

Otomatis 2013		Manual 2012		Perbandingan
Laju Alir Aktual (liter / menit)	Ketidakpastian Relatif (%)	Laju Alir Aktual (liter / menit)	Ketidakpastian Relatif (%)	Ketidakpastian Relatif
103,075	0,19	102,059	0,51	2,64
120,399	0,19	118,588	0,32	1,67
134,582	0,19	132,291	0,31	1,59
158,480	0,19	159,994	0,41	2,14
176,849	0,19	175,267	0,41	2,12
Rerata perbandingan ketidakpastian relatif				2,14

Dalam perhitungan ketidakpastian, kontribusi terbesar berasal dari *repeatability* dibanding sumber ketidakpastian lainnya. Terlihat pada Tabel 6, nilai ketidakpastian relatif pada kalibrasi turbin flowmeter berdiameter 3/2 inci dengan metode perbandingan untuk akuisisi data secara otomatis *real time* tahun 2013 berkurang dibandingkan secara manual tahun 2012 yaitu memiliki rata-rata perbandingan ketidakpastian relatif sebesar 2,14. Oleh karena itu akuisisi data secara otomatis *real time* pada kalibrasi turbin flowmeter berdiameter 3/2 inci dengan metode perbandingan lebih baik daripada secara manual.

Salah satu kemungkinan besar yang menyebabkan akuisisi data secara manual memiliki ketidakpastian yang lebih besar adalah jeda waktu yang terjadi ketika operator melihat indikator data pada UUT sampai mencatatnya. Karena fluktuasi perubahan data yang terjadi pada kalibrasi turbin flowmeter dengan metode perbandingan sangat cepat maka ketika operator memerlukan waktu untuk melihat kemudian mencatat data, nilai pengukuran dari data standar telah berubah. Kemungkinan kesalahan pembacaan oleh mata operator saat melakukan akuisisi data secara manual pun dapat menyebabkan ketidakpastian yang besar tersebut. Hal ini menyebabkan ketidakakuratan pengambilan data standar dengan UUT sehingga menyebabkan ketidakpastian pengukuran yang lebih besar. Salah satu solusi memecahkan masalah tersebut adalah dengan memperbaiki akuisi data menjadi secara otomatis *real time* yang telah terbukti melalui hasil penelitian ini bahwa dapat mengurangi ketidakpastian terutama *repeatability* yang ditimbulkan yaitu terlihat dari rerata perbandingan ketidakpastian relatif yang lebih besar dari satu. Oleh karena itu akuisisi data secara otomatis *real time* pada metode perbandingan kalibrasi turbin flowmeter direkomendasikan sebagai standar akuisisi data.

5. KESIMPULAN

Dari hasil analisis data didapat rerata perbandingan ketidakpastian relatif antara akuisisi data secara manual dibanding secara otomatis *real time* pada turbin flowmeter berdiameter 1/2 inci sebesar 33,24 sedangkan untuk turbin flowmeter berdiameter 3/2 inci sebesar 2,14. Nilai perbandingan ketidakpastian pengukuran yang lebih besar dari satu menyimpulkan bahwa akuisisi data secara otomatis *real time* lebih akurat dibandingkan secara manual pada kalibrasi turbin flowmeter dengan metode perbandingan. Jeda waktu yang terjadi ketika operator melihat indikator data pada UUT kemudian mencatatnya secara manual atau pun kesalahan pembacaan oleh mata operator kemungkinan besar menimbulkan ketidakpastian pengukuran yang besar tersebut.

Pada kalibrasi turbin flowmeter dengan metode perbandingan direkomendasikan standar teknis akuisisi data secara otomatis *real time*. Dalam melakukan pengukuran volumetrik dengan turbin meter pada medium hidrokarbon cair sesuai SNI ISO 2715:2011 direkomendasikan menggunakan teknik akuisisi data secara otomatis *real time*.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (2011). SNI ISO 2715:2011, *Hidrokarbon cair - Pengukuran volumetrik dengan sistem turbin meter*. Jakarta: BSN.
- Flow Technology Incorporated. (2005). *Microtrack/ Omnitrack OT-400 Calibrator Installation, Operation and Maintenance Manual TM-86611 Rev.J*. Arizona: FTI.
- Flow Technology Incorporated. (2005). *Calware Variable Definition (Rev A)*. Arizona: FTI.

- Flow Technology Incorporated. (2006). *FT Series Turbine Flowmeters Installation, Operation and Maintenance Manual*. Arizona: FTI.
- International Organisation for Standardisation. (1981). *ISO 2715:1981 Liquid hydrocarbons-Volumetric measurement by turbine meter systems*. Switzerland: ISO.
- 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*. Switzerland: ISO.
- International Organisation for Standardisation. (1998). *ISO 11631:1998(E) Measurement of fluid flow - Methods of specifying flowmeter performance*. Switzerland: ISO.
- Japanese Standards Association. (1980). *JIS Z 8765-1980 Method of Flow Measurement by Turbine Meters*. Japan: JSA.
- 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.
- Prakosa, Jalu A. (2011). *Verifikasi Pengukuran Nilai K-Faktor Pada Turbin Gas Flowmeter Menggunakan Bell Prover Autobell Sebagai Standar Primer Sistem Kalibrasi Laju Aliran Gas*. Pertemuan dan Presentasi Ilmiah(PPI) KIM Tahun 2011. Tangerang: KIM LIPI. ISSN 0852 – 002 X.