

PENGEMBANGAN SISTEM KALIBRASI ALIRAN GAS MENGGUNAKAN *BELL PROVER* PADA UJI BANDING APMP.M.FF-K6.2018

DEVELOPMENT OF A GAS FLOW CALIBRATION SYSTEM USING BELL PROVER IN THE APMP.M.FF-K6.2018 COMPARISON

Hafid¹, Fahmy Munawar Cholil², Gigin Ginanjar¹, Renanta Hayu Kresiani², Rudi Anggoro Samodro¹, Feizar Mahendra², Yonan Prihhapso¹

¹Pusat Riset Teknologi Pengujian dan Standar, Badan Riset dan Inovasi Nasional

²Direktorat Satuan Nasional Standar Ukuran Mekanika, Radiasi, dan Biologi, Badan Standardisasi Nasional

Email: hafid191281@gmail.com

ABSTRAK

Sistem pengukuran aliran gas (udara) menggunakan *bell prover* di SNSU-BSN telah digunakan untuk mengikuti uji banding APMP.M.FF-K6.2018. Pengukuran aliran dilakukan berdasarkan pengukuran perubahan volume udara pada *bell prover* dalam waktu tertentu dan memperhitungkan perubahan densitas udara didalamnya. Perubahan volume ditentukan berdasarkan perubahan ketinggian *bell prover* yang memiliki luas area relatif homogen menggunakan *rotary encoder*. Waktu ditentukan menggunakan *PCI-card timer* dengan resolusi 0,001 detik. Perubahan densitas udara ditentukan berdasarkan pengukuran suhu dan tekanan udara yang terjadi. Parameter waktu, nilai pulsa *rotary encoder*, pulsa *rotary gas meter* (artefak), suhu dan tekanan udara direkam secara *real time* dengan menggunakan kamera untuk memudahkan analisis yang dilakukan setelah proses pengambilan data. Pengukuran aliran udara yang dihasilkan memiliki kesalahan terbesar 0,43% terhadap nilai nominal dengan ketidakpastian sebesar 0,30%. Hasil ini sesuai dengan tipikal kurva kalibrasi *rotary gas meter* yang digunakan sebagai artefak dalam uji banding yang memiliki akurasi 0,50%.

Kata kunci: *bell prover*, pengukuran aliran gas, *rotary gas meter*.

ABSTRACT

The gas (air) flow measurement system using a bell prover in SNSU-BSN has been used to take part in the APMP.M.FF-K6.2018 comparative test. Flow measurement is carried out based on measuring changes in air volume in the bell prover within a certain time and considering the changes in air density. Volume changes are determined using a rotary encoder based on changes in the height of the bell prover, which has a relatively homogeneous area. The time is determined using a PCI card timer with a resolution of 0.001 seconds. Changes in air density are determined based on temperature and air pressure measurements during tests. Time parameters, rotary encoder pulse values, rotary gas meter pulses (artefacts), temperature, and air pressure are recorded in real-time using a camera to simplify the analysis after the measurements process. The airflow measurement result has a max error of 0.43 % to the nominal value with an uncertainty of 0.30%. This result is in accordance with the typical rotary gas meter calibration curve used as an artefact in this comparative test which has an accuracy of about 0.50%.

Keywords: bell prover, flow measurement, rotary gas meter.

1. PENDAHULUAN

Direktorat Standar Nasional Satuan Ukuran – Badan Standardisasi Nasional (SNSU-BSN) sebagai pengelola SNSU bertanggung jawab untuk menjamin ketertelusuran kalibrasi peralatan ukur yang ada di Indonesia salah satunya untuk besaran aliran gas (udara). Untuk itu SNSU-BSN telah mengikuti uji banding APMP.M.FF-K6.2018 yang diadakan oleh *Asia Pacific Metrology Programme* (APMP) pada *Technical Committee for Fluid Flow* (TCFF) dengan rentang ukur 10 m³/jam sampai dengan 70 m³/jam.



Gambar 1. Bell prover SNSU-BSN

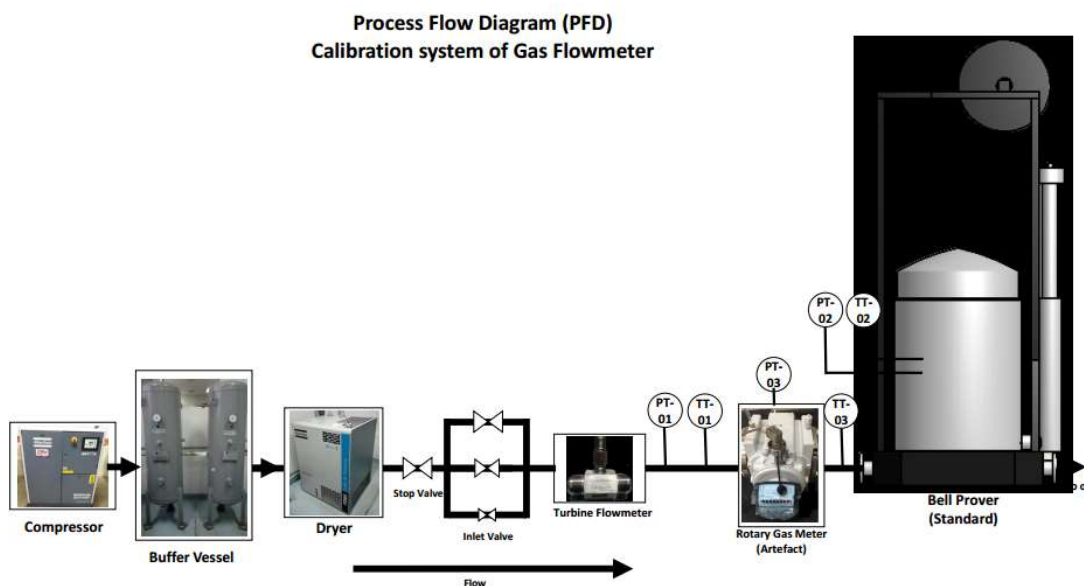
Dalam mengikuti uji banding ini SNSU-BSN menggunakan sistem *bell prover* sebagai standar acuan, sistem ini telah banyak digunakan pada tingkat laboratorium metrologi untuk mengukur laju aliran gas volumetrik [1-4]. Sistem *bell prover* pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.

Telah dilakukan pengembangan pada sistem standar bell prover yaitu data akuisisi, penggunaan rpm4 untuk pengukuran tekanan dan pt100 dengan kabel untuk pengukuran suhu. Uji banding APMP.M.FF-K6.2018 ini pada ujungnya digunakan sebagai pembuktian peningkatan kemampuan pengukuran aliran gas dengan ketidakpastian pengukuran yang lebih kecil serta peningkatan jaminan ketertelusuran pengukuran aliran gas nasional. Saat ini berdasarkan akreditasi KAN tahun 2016 ketidakpastian pengukuran sistem *bell prover* ini memiliki CMC sebesar 0,8% [4]. Sedangkan pada ILC ini dilakukan *prover* tersebut. Gambar 2 menunjukkan standar pengukuran aliran gas tipe *bell prover* yang dimiliki SNSU-BSN. Sistem ini dibuat sedemikian rupa

estimasi kembali terhadap kemampuan pengukuran menggunakan sistem bell prover karena telah dilakukan pengembangan sistem pengukuran perubahan ketinggian yang sebelumnya menggunakan sensor ultrasonik menjadi menggunakan *rotary encoder*.

2. TEORI DASAR

Keikutsertaan uji banding internasional (APMP.M.FF-K6.2018), merupakan kesempatan untuk membuktikan kemampuan pengukuran agar nantinya mendapatkan pengakuan internasional untuk lingkup pengukuran sehingga dapat mendefinisikan besarnya aliran gas yang diukur, berdasarkan perubahan volume gas di dalam *bell prover* terhadap waktu [3].



Gambar 2. Sistem pengukuran aliran gas SNSU-BSN

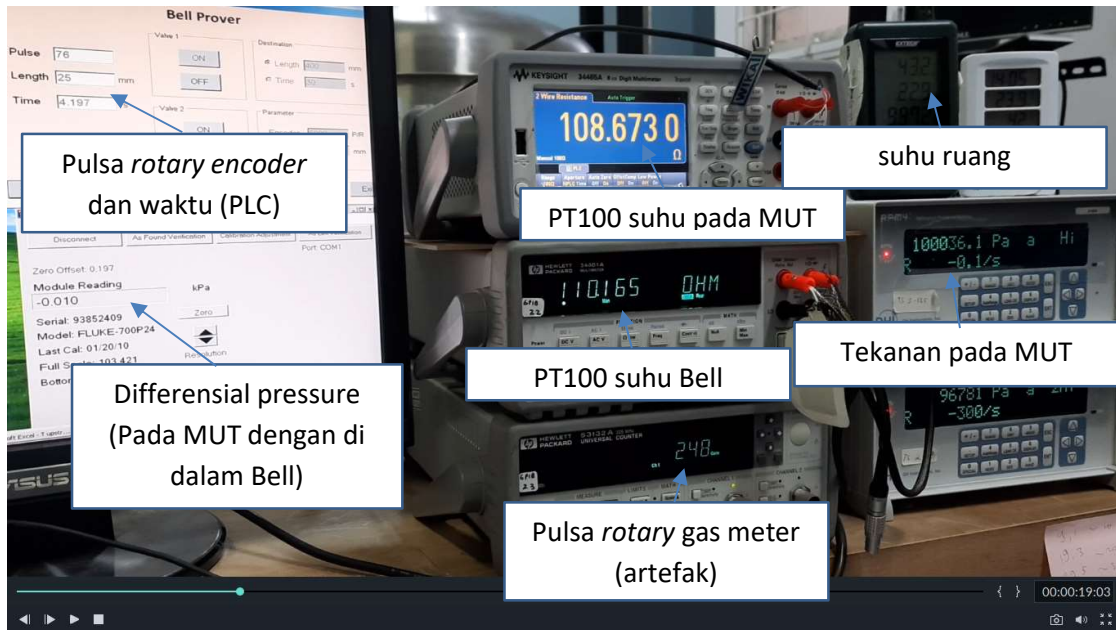
Pengukuran tekanan dan suhu merupakan bagian yang penting pada pengukuran ini karena sangat berpengaruh terhadap besarnya densitas gas yang digunakan [5]. Tekanan *meter under test* (MUT) dan tekanan di dalam *bell* diukur menggunakan PT03 dan PT02, pengukuran tekanan dalam *bell* diukur ditunjukkan pada PT02, dan sebagai alternatifnya perbedaan tekanan di antara keduanya dapat digantikan dengan *differensial pressure*. Suhu MUT diukur menggunakan TT03 dan suhu dalam *bell* diukur menggunakan TT02.

Ukuran pipa penghubung mempengaruhi besarnya tekanan udara dan suhu pada saat pengukuran. Oleh karena itu, ukuran pipa penghubung perlu disesuaikan dengan *rotary gas meter* yang digunakan agar pengukuran tekanan yang didapatkan lebih stabil.

3. PENENTUAN ALIRAN GAS DAN KETIDAKPASTIANNYA

Pengukuran aliran gas dilakukan berdasarkan pengukuran perubahan

volume udara pada *bell prover* dalam waktu tertentu dengan memperhitungkan perubahan densitas udara di dalamnya. Karena luas area dalam *bell prover* relatif homogen, perubahan volume ditentukan berdasarkan perubahan ketinggian *bell* menggunakan *rotary encoder*. Sedangkan ketinggian oli diasumsikan tetap karena telah diberikan beban pengimbang (*counterweight*) [6], waktu ditentukan berdasarkan aplikasi perangkat lunak pada komputer dengan resolusi 0,001 detik dan perubahan densitas udara ditentukan berdasarkan pengukuran suhu dan tekanan udara di dalam *bell*. Sebuah kamera digunakan untuk merekam data yang dipasang sedemikian rupa sehingga hasil pembacaan pengukuran dapat direkam secara bersamaan. Hasil pengukuran berupa waktu, nilai pulsa *rotary encoder*, pulsa *rotary meter* (artefak), suhu dan tekanan udara, secara *real time* untuk mempermudah analisis hasil pengukuran pada proses selanjutnya. Contoh perekaman data dapat dilihat pada Gambar 3 berikut:



Gambar 3. Perekaman Data Kalibrasi Menggunakan Kamera

Perekaman data dilakukan pada rentang perubahan ketinggian *bell* dari 0 mm sampai dengan 400 mm. Berdasarkan data perekaman dari awal hingga akhir tersebut, dapat ditentukan nilai ukur yang diperlukan untuk proses analisis data.

Semua data yang berada pada rentang pengukuran pada dasarnya dapat dipilih, akan tetapi pada kegiatan/ penelitian ini, data ukur pada titik awal

dan titik akhir saja yang dipilih untuk menjaga konsistensi hasil pengukuran. Perbedaan data ukur dalam rentang tersebut diestimasikan telah tercakup dalam ketidakpastian hasil pengukuran.

3.1. PERHITUNGAN ALIRAN GAS

Besaran aliran gas ditentukan berdasarkan Persamaan 1 [4].

$$Q_{MUT} = A_{eff,20} \cdot (1 + \alpha_B \cdot (T_a - 20))^2 \cdot \frac{\Delta L \cdot (1 + \alpha_L \cdot (T_a - 20))}{\Delta t} \cdot \frac{P_{Bf} \cdot T_{MUT} \cdot Z_{(P_{MUT}, T_{MUT})}}{P_{MUT} \cdot T_{Bf} \cdot Z_{(P_{Bf}, T_{Bf})}} + \frac{V_S}{\Delta t} \cdot \frac{\Delta \rho_S}{\rho_{MUT}} \quad [1]$$

Di mana		T_a	Suhu ruangan
$A_{eff,20}$	Area efektif pada suhu 20 °C	α_L	Koefisien muai baja karbon
ΔL	Posisi perubahan ketinggian dari <i>bell</i> pada suhu 20 °C	P_{Bf}	Pengukuran tekanan pada kondisi akhir kubah <i>bell</i>
α_B	Koefisien muai dari 316 SST	T_{MUT}	Pengukuran suhu pada sistem <i>bell</i>

$Z_{(P_{MUT}, T_{MUT})}$	Koefisien kompresibilitas densitas gas pada sistem <i>bell</i>
P_{MUT}	Pengukuran tekanan pada sistem <i>bell</i>
T_{Bf}	Pengukuran suhu pada kondisi akhir kubah <i>bell</i>
$Z_{(P_{Bf}, T_{Bf})}$	Koefisien kompresibilitas densitas gas pada kondisi akhir kubah <i>bell</i>
V_S	Volume penyimpanan
$\Delta\rho_S$	Perubahan densitas gas
ρ_{MUT}	Densitas gas pada sistem <i>bell</i>
Δt	Waktu

3.2. PERHITUNGAN KETIDAKPASTIAN

Ketidakpastian dari pengukuran besaran aliran gas diperoleh dengan mengikuti langkah-langkah berikut:
Ketidakpastian gabungan ditentukan mengacu pada Persamaan 2 [7].

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 u^2(x_i) \quad [2]$$

Dengan memperhitungkan seluruh variabel pada Persamaan 1 didapatkan nilai ketidakpastian baku dan koefisien sensitifitas dari masing-masing variabel, diperoleh ketidakpastian gabungan dari sistem kalibrasi aliran gas menggunakan *bell prover*, sesuai dengan Persamaan 3.

$$u^2(Q_{MUT}) = c_1^2 u^2(A_{eff,20}) + c_2^2 u^2(\Delta L) + c_3^2 u^2(\alpha_B) + c_4^2 u^2(T_a) + c_5^2 u^2(\alpha_L) + c_6^2 u^2(P_{Bf}) + c_7^2 u^2(T_{MUT}) + c_8^2 u^2(Z_{PMUT, TMUT}) + c_9^2 u^2(P_{MUT}) + c_{10}^2 u^2(T_{Bf}) + c_{11}^2 u^2(Z_{PBf, TBf}) + c_{12}^2 u^2(V_S) + c_{13}^2 u^2(\Delta\rho_S) + c_{14}^2 u^2(\rho_{MUT}) + c_{15}^2 u^2(\Delta t) \quad [3]$$

Di mana:

$$\begin{aligned} c_1 &= \frac{\partial(Q_{MUT})}{\partial(A_{eff,20})} & c_6 &= \frac{\partial(Q_{MUT})}{\partial(P_{Bf})} & c_{11} &= \frac{\partial(Q_{MUT})}{\partial(Z_{PBf, TBf})} \\ c_2 &= \frac{\partial(Q_{MUT})}{\partial(\Delta L)} & c_7 &= \frac{\partial(Q_{MUT})}{\partial(T_{MUT})} & c_{12} &= \frac{\partial(Q_{MUT})}{\partial(V_S)} \\ c_3 &= \frac{\partial(Q_{MUT})}{\partial(\alpha_B)} & c_8 &= \frac{\partial(Q_{MUT})}{\partial(Z_{PMUT, TMUT})} & c_{13} &= \frac{\partial(Q_{MUT})}{\partial(\Delta\rho_S)} \\ c_4 &= \frac{\partial(Q_{MUT})}{\partial(T_a)} & c_9 &= \frac{\partial(Q_{MUT})}{\partial(P_{MUT})} & c_{14} &= \frac{\partial(Q_{MUT})}{\partial(\rho_{MUT})} \end{aligned}$$

$$c_5 = \frac{\partial(Q_{MUT})}{\partial(\alpha_L)} \quad c_{10} = \frac{\partial(Q_{MUT})}{\partial(T_{Bf})} \quad c_{15} = \frac{\partial(Q_{MUT})}{\partial(\Delta t)}$$

Selain komponen ketidakpastian dari variabel pada Persamaan 3 tersebut, terdapat sumber ketidakpastian lain yang ditambahkan yaitu stabilitas jangka panjang dari sistem pengukuran volume gas dan pengulangan (*reproducibility*) dari data pengukuran aliran gas tersebut.

Ketidakpastian luas efektif *bell* ditentukan dari hasil pengukuran diameter *bell* menggunakan pi-tape dan ketebalan dari *bell*, ketidakpastian perubahan ketinggian *bell* didapatkan dari hasil kalibrasi *rotary encoder* dengan membandingkannya terhadap hasil pengukuran *height gauge*. Untuk ketidakpastian pengukuran tekanan dan suhu didasarkan pada ketidakpastian alat

ukur yang digunakan. Sedangkan, komponen ketidakpastian yang lainnya diasumsikan berdasarkan estimasi kemungkinan ketidakpastian terbesarnya.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran aliran gas, bujet ketidakpastian dan karakterisasi *rotary* gas meter (artefak ILC) dibahas pada bagian ini:

4.1. HASIL PENGUKURAN ALIRAN GAS

Tabel 1 menunjukkan hasil pengukuran aliran gas pada titik ukur 10 m³/h, 20 m³/h, 30 m³/h, 40 m³/h, 50 m³/h, 60 m³/h dan 70 m³/h, sesuai dengan protokol ILC.

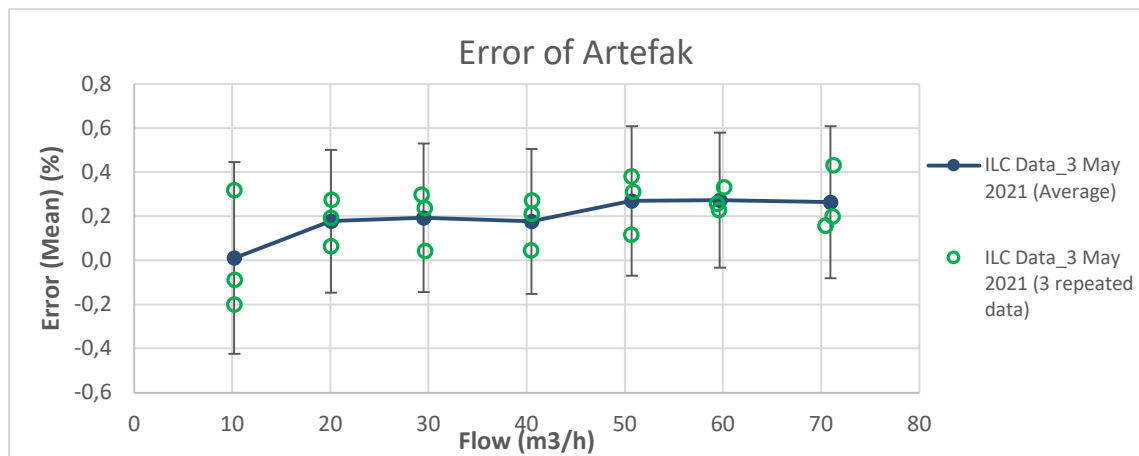
Tabel 1. Hasil pengukuran aliran gas sebagai data ILC APMP.M.FF-K6.2018

Tanggal: 3-Mei-20				
Laju aliran dari transfer standard (m ³ /h)	Tekanan absolut di dalam transfer standard (Pa)	Suhu di dalam transfer standard (°C)	Kesalahan dari transfer standard e (%)	Ketidakpastian terentang dari pengukuran U (k=2) (%)
10,1851	100131	22,10	-0,20	0,44
10,2078	100146	22,05	0,32	
10,2159	100140	22,04	-0,09	
20,0447	100190	21,82	0,19	0,32
20,0515	100186	21,82	0,07	
20,1015	100183	21,84	0,28	
29,6122	100166	22,04	0,24	0,34
29,6199	100167	22,05	0,04	

29,2684	100166	21,97	0,30	
40,4321	100183	22,07	0,05	0,33
40,5244	100191	22,10	0,27	
40,4929	100188	22,10	0,21	
50,6328	100217	22,07	0,12	0,34
50,8244	100218	21,96	0,31	
50,6628	100216	21,90	0,38	
59,3798	100243	21,84	0,26	0,31
60,0788	100246	21,58	0,33	
59,5812	100244	21,59	0,23	
71,2410	100313	21,70	0,43	0,35
70,4284	100310	21,68	0,16	
71,1587	100318	21,68	0,20	

Nilai aliran gas tidak boleh memiliki perbedaan lebih dari 3% [8] dari nilai nominalnya, sehingga dari tiga kali pengulangan data dari masing-masing titik ukur di atas maka dapat memenuhi persyaratan tersebut. Dari tiga kali

pengulangan data yang diambil kemudian didapatkan nilai rata-rata sebagai nilai hasil pengukurannya. Grafik hasil ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Deviasi pengukuran artefak terhadap sistem pengukuran aliran gas menggunakan *bell prover*

Dari hasil pengukuran di atas maka didapatkan kesalahan nilai aliran artefak dengan referensi *bell prover* memiliki kesalahan terbesar 0,43%, yang lebih

kecil dari batasan akurasi *rotary* gas meter dari pabrik pembuatnya [9].

4.2. BUJET KETIDAKPASTIAN

Bujet ketidakpastian sistem kalibrasi aliran gas menggunakan *bell prover* pada titik ukur 70 m³/h dapat dilihat pada Tabel 2.

Berdasarkan bujet ketidakpastian hasil pengukuran aliran udara didapatkan bahwa sumber-sumber ketidakpastian yang dominan adalah ketidakpastian luas efektif *bell*, ketidakpastian dari waktu, ketidakpastian pengukuran tekanan di dalam *bell*, ketidakpastian pengukuran tekanan pada MUT, ketidakpastian pengukuran suhu di dalam *bell*, ketidakpastian pengukuran suhu pada MUT dan ketidakpastian luas efektif *bell*. Komponen ketidakpastian ini

memiliki nilai yang besarnya lebih dari 5% dari ketidakpastian gabungannya. Sebaliknya, komponen ketidakpastian lainnya seperti ketidakpastian perubahan densitas gas, ketidakpastian koefisien kompresibilitas densitas gas pada MUT, ketidakpastian koefisien kompresibilitas densitas gas di dalam *bell*, ketidakpastian suhu ruangan, ketidakpastian volume penyimpanan, ketidakpastian koefisien muai 316 SST (material *bell*) dan ketidakpastian koefisien muai baja karbon (Material *rotary encoder*), tidak signifikan karena besarnya tidak lebih dari 5 % dari ketidakpastian gabungannya.

Tabel 2. Bujet ketidakpastian aliran udara (70 m³/h)

Komponen ketidakpastian	ketidakpastian (dm ³ /min)
Area efektif pada suhu 20 °C	0,3644
Posisi perubahan dari ketinggian <i>bell</i> pada suhu 20 °C	0,9453
Stabilitas jangka panjang	0,0001
Ketidakpastian karena koefisien muai dari 316 SST	0,0007
Ketidakpastian karena suhu ruangan	0,0162
Ketidakpastian karena koefisien muai dari baja karbon	0,0002
Ketidakpastian karena waktu	0,6275
Ketidakpastian karena pengukuran tekanan pada kondisi akhir kubah <i>bell</i>	0,5915
Ketidakpastian karena pengukuran suhu pada kondisi akhir kubah <i>bell</i>	0,4228
Ketidakpastian karena koefisien kompresibilitas dari densitas gas pada kondisi akhir kubah <i>bell</i>	0,0683
Ketidakpastian karena pengukuran tekanan pada sistem <i>bell</i>	0,5901
Ketidakpastian karena pengukuran suhu pada sistem <i>bell</i>	0,4228
Ketidakpastian karena koefisien kompresibilitas dari densitas gas pada sistem <i>bell</i>	0,0683
Ketidakpastian karena volume penyimpanan	0,0020
Perubahan densitas gas	0,0781
Ketidakpastian gabungan, u_c	1,5784
Ketidakpastian terentang, u_w (dm ³ /min)	3,1569
Ketidakpastian terentang (%)	0,27

Berdasarkan bujet ketidakpastian pada Tabel 2 didapatkan ketidakpastian bentangan hasil pengukuran aliran gas adalah 0,27%. Dalam keikutsertaan ILC ini, dari bujet tersebut ditentukan ketidakpastian sistem kalibrasi aliran gas dengan *bell prover* sebesar 0,30% dengan mempertimbangkan adanya kemungkinan sumber ketidakpastian lain yang tidak diperhitungkan.

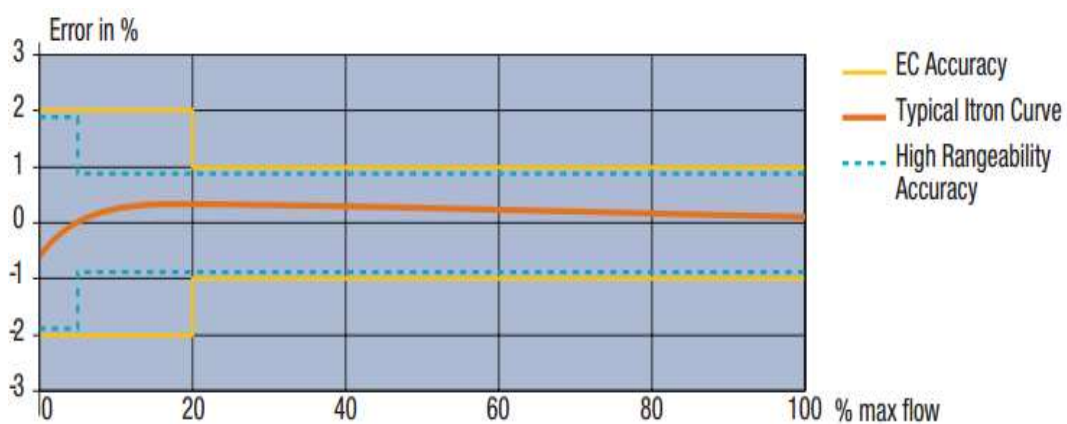
Dengan menambahkan komponen ketidakpastian pengulangan (*reproducibility*) hasil pengukuran, maka didapatkan ketidakpastian hasil kalibrasi

artefak ILC di semua titik sebagaimana yang dituliskan pada Tabel 1.

4.3. Karakterisasi *rotary* gas meter (artefak)

Rotary gas meter yang digunakan untuk uji banding adalah Itron Delta S-Flow G65 yang memiliki kapasitas maksimum 100 m³/h.

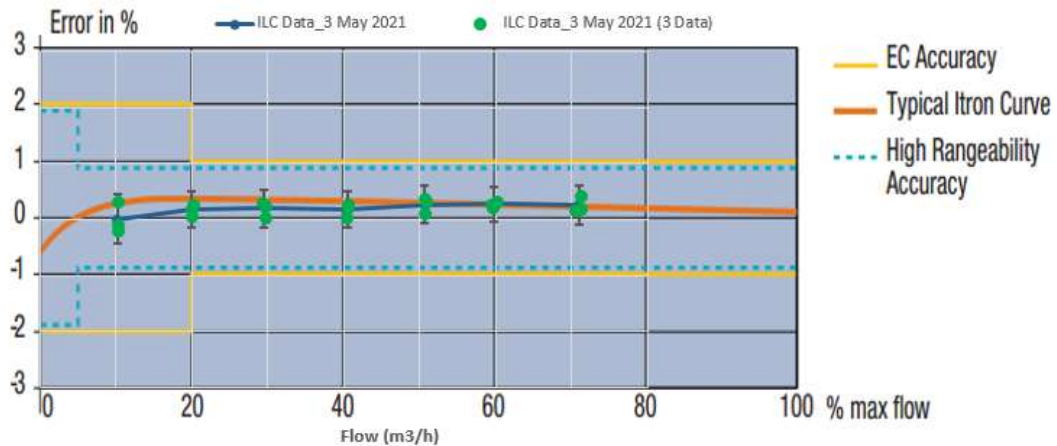
Berdasarkan data dari pabrik pembuatnya *rotary* gas meter ini memiliki akurasi $\pm 1\%$ dari Q_{min} sampai dengan $0.2 Q_{max}$ dan $\pm 0.5\%$ dari $0.2 Q_{max}$ sampai dengan Q_{max} . Grafik tipikal hasil kalibrasinya dapat dilihat pada Gambar 5 [9].



Gambar 5. Tipikal Kurva kalibrasi Rotari gas meter (Itron Delta S-Flow G65)

Gambar 6 menunjukkan perbandingan hasil ILC yang tertera pada Gambar 4 terhadap tipikal hasil kalibrasi dengan menggunakan artefak sejenis sama sesuai Gambar 5. Dari perbandingan tersebut dapat dikatakan bahwa hasil

ILC sesuai dengan tipikal hasil kalibrasi *rotary* gas meter yang digunakan sebagai artefak dalam kegiatan ini.



Gambar 6. Penggabungan kurva kalibrasi tipikal dengan hasil pengukuran

Perbandingan ini dapat digunakan sebagai data pendukung awal untuk memperkirakan keabsahan dari hasil pengukuran aliran gas menggunakan *bell prover* sebagai standar di SNSU-BSN. Sedangkan, tingkat kesetaraan pengukuran dengan peserta ILC lain dapat diketahui setelah terdapat laporan hasil uji banding APMP.M.FF-K6.2018 [10].

5. KESIMPULAN

Telah dilakukan pengambilan data pengukuran aliran gas menggunakan *bell prover* dalam mengikuti uji banding APMP.M.FF-K6.2018. Titik ukur yang diambil adalah 10 m³/h, 20 m³/h, 30 m³/h, 40 m³/h, 50 m³/h, 60 m³/h dan 70 m³/h. Hasil pengukuran memiliki perbedaan dengan *rotary* gas meter (artefak) tidak lebih dari 0,5%, dengan ketidakpastian yang didapatkan sebesar 0,31 % sampai dengan 0,44 %.

Validasi hasil pengukuran dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran dengan kurva kalibrasi tipikal *rotary* gas meter yang digunakan sebagai artefak. Perbandingan yang dihasilkan menunjukkan kesesuaian dengan mengetahui bahwa kurva kalibrasi tipikal berada dalam rentang ketidakpastian hasil pengukuran pada seluruh titik pengukuran yang diambil. Untuk membuktikan keabsahan hasil pengukuran ini belum bisa dilakukan karena masih menunggu laporan ILC APMP.M.FF-K6.2018.

Kedepannya setelah hasil ILC didapatkan maka dapat digunakan sebagai dasar evaluasi sistem pengukuran aliran gas yang telah dikembangkan. Untuk pengembangan selanjutnya disarankan membuat otomatisasi sistem perekaman data kalibrasi aliran gas menggunakan *bell prover* di

SNSU-BSN agar proses pengambilan data lebih efektif dan efisien.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang tak terkira kepada seluruh pihak yang terkait dalam kegiatan ILC dan penyelesaian tulisan ini khususnya dari manajemen SNSU-BSN, dan kepada Dr. Woong Kang dari KRISS Korea atas dukungannya dalam mengikuti program uji banding APMP.M.FF-K6.2018

7. DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Tonkonogij, A. Stankevicius, A. Bertasiene, and A. Tonkonogovas. (2015). *The new method for calibration and testing of the bell type prover*, 17th International Congress of Metrology.
- [2] J. Wildner, M. Turwoski, M. Szudarek, and A. Zadworny. (2020). *Calibration of Bell prover Test Stands with Critical Flow Venturi Nozzle*. In: Szewczyk, R., Krejsa, J., Nowicki, M., Ostaszewska-Lizewska, A. (eds) *Mechatronics 2019: Recent Advances Towards Industry 4.0*. MECHATRONICS 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1044. Springer, Cham.
- [3] H. M. Choi, K-A. Park, Y. K. Oh, and Y. M. Choi. (2010). *Uncertainty evaluation procedure and intercomparison of bell provers as a calibration system for gas flow meters*, Flow Measurement and Instrumentation, 21(4), 488-496.
- [4] Prakosa, J. A., Su, C. M., Wang, W. B., Sirenden, B. H., Zaid, G., & Darmayanti, N. C. E. (2021). *The Traceability Improvement and Comparison of Bell prover as the Indonesian National Standard of Gas Volume Flow Rate*. MAPAN, 36(1), 81-87.
- [5] M. Mir, M. Kamyab, M.J. Lariche, A. Bemani, and A. Baghban. (2018). *Applying ANFIS-PSO algorithm as a novel accurate approach for prediction of gas density*. Petroleum Science and Technology, 36(12), 820-826.
- [6] Wu Jian. "The middle range gas flow standard of SPRING Singapore" FLOMEKO 2004. Beijing, CHINA, 2004.
- [7] 4. BIPM, I., IFCC, I., ISO, I., & IUPAP, O. *Evaluation of*

- Measurement Data-Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM 1995 with minor corrections)*. Joint Committee for Guides in Metrology, JCGM, 100, 2008.
- [8] Benková, M., Makovnik, S., Mickan, B., Arias, R., Chahine, K., Funaki, T., ... & Wright, J. (2014). Final report on CIPM key comparison CCM. FF-K6. 2011: Comparison of the primary (national) standards of low-pressure gas flow. *Metrologia*, 51(1A), 07004.
- [9] Itron, “*Rotary Meter Delta*”, GA-Delta-EN-V2.0-2008.11, Germany.
- [10] Woong KANG, *APMP Key Comparison for Low-Pressure Gas Flow (APMP.M.FF-K6.2018)*, 2018, Technical Protocol Version 1.0.