

ANALISIS SUMBER KETIDAKPASTIAN PENGUKURAN METODE UJI SNI 7369:2008 REGULATOR TEKANAN RENDAH UNTUK TABUNG BAJA LPG

The Analysis of Measurement Uncertainty Source of Test Method SNI 7369:2008 Low Pressure Regulator for Steel Tube LPG

Bayu Utomo, Himma Firdaus, dan Hari Tjahjono

Pusat Penelitian Sistem Mutu dan Teknologi Pengujian-LIPI
Kawasan Puspiptek Gedung 410 Cisauk, Tangerang
e-mail: bayu_14a1@yahoo.com

Diajukan: 31 Januari 2012, Dinilai: 6 Februari 2012, Diterima: 21 Mei 2012

Abstrak

Hasil pengukuran yang tidak disertai dengan dugaan ketidakpastiannya merupakan pernyataan yang tidak lengkap bahkan mungkin tidak berarti. Hal ini disebabkan karena adanya beberapa faktor yang berkontribusi mempengaruhi hasil pengukuran. Tujuan makalah ini adalah untuk melakukan identifikasi dan analisis sumber-sumber ketidakpastian pengukuran dalam pengujian SNI 7369:2008 regulator tekanan rendah untuk tabung baja LPG mengacu ISO GUM. Dari 13 metode uji regulator tekanan rendah, terdapat 4 metode uji dengan pengamatan, 6 metode uji dengan pengukuran, 1 metode uji dengan pengamatan dan pengukuran dan 2 metode uji dengan pengukuran dan perhitungan. Ketidakpastian untuk metode uji perubahan volume dan kehilangan berat adalah paling kompleks dibandingkan metode uji lainnya karena melibatkan persamaan matematis. Kontribusi ketidakpastian terbesar ada pada ketidakpastian yang bersumber pada sertifikat kalibrasi dari peralatan. Oleh karena itu, untuk meminimalisasi ketidakpastian perlu digunakan peralatan yang memiliki resolusi yang lebih tinggi.

Kata kunci: ketidakpastian, pengukuran, SNI 7369:2008, metode uji, ISO GUM

Abstract

Measurement that is not accompanied by allegations of uncertainty is an incomplete statement, even is meaningless. This is due to several factors contributing in affecting the measurement results. The purpose of this paper is to identify and analyzes the sources of measurement uncertainty in testing ISO 7369:2008 low pressure regulator for LPG steel tube which refers to ISO GUM. Of the 13 low-pressure regulator test methods, there are four test methods by observation, six test methods by measurement, one test method by observation and measurement and two test methods by measurement and calculations. Uncertainty for test methods of lose weight and volume changes are the most complex compared to other test methods because it involves mathematical. The largest uncertainty contribution to the uncertainty was based on calibration certificate from equipment. Therefore to minimize uncertainty is necessary to use equipment that has a higher resolution.

Keywords: uncertainty, measurement, SNI 7369:2008, test method, ISO GUM

1. PENDAHULUAN

Ketergantungan masyarakat terhadap minyak tanah membawa beban subsidi pemerintah yang sangat besar. Hampir 50 triliun rupiah pemerintah keluarkan untuk subsidi BBM yang diantaranya minyak tanah. Selain dikarenakan oleh harga minyak dunia yang tidak stabil, juga tingkat efisiensi yang rendah dari pemakaian minyak tanah yang menyebabkan konsumsi minyak tanah semakin besar. Untuk mengatasi hal tersebut pemerintah pada tahun 2007 meluncurkan program konversi energi dari minyak tanah ke LPG. Program ini bertujuan untuk mengurangi beban subsidi pemerintah melalui peningkatan efisiensi penggunaan LPG. Program ini dilakukan melalui pembagian tabung

gas dan kompor serta 9 aksesorisnya termasuk regulator gas. Untuk mendukung program tersebut pemerintah mengeluarkan Peraturan Menteri Perindustrian RI no 85/M-IND/PER/11/2008 yang direvisi dengan Peraturan Menteri Perindustrian No. 129/M-IND/PER/12/2010 tentang pemberlakuan SNI terhadap 5 produk industri secara wajib.

Dengan diberlakukannya SNI wajib diharapkan produk regulator gas di pasaran aman dan layak digunakan oleh masyarakat. SNI wajib untuk regulator tekanan rendah adalah SNI 7369:2008. Penerapan SNI wajib memberikan konsekuensi kepada laboratorium pengujian untuk melakukan pengujian sesuai klausul yang ditetapkan dalam standar. Untuk menjamin mutu

hasil pengujian, laboratorium harus menerapkan SNI ISO/IEC 17025:2008. Salah satu klausul dalam SNI ISO/IEC 17025:2008 yang akan dikaji dalam tulisan ini adalah estimasi ketidakpastian pengukuran yang tertuang dalam klausul 5.4.6. Dalam klausul tersebut dinyatakan bahwa laboratorium pengujian harus mempunyai dan menerapkan prosedur untuk mengestimasi ketidakpastian pengukuran. Tujuan makalah ini adalah untuk melakukan identifikasi dan analisa sumber-sumber ketidakpastian pengukuran dalam pengujian SNI 7369:2008 regulator tekanan rendah untuk tabung baja LPG.

2. DASAR TEORI

Definisi ketidakpastian pengukuran menurut ISO GUM (*Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*) dalam Pedoman Evaluasi dan Pelaporan Ketidakpastian Pengukuran yang dikeluarkan Komite Akreditasi Nasional adalah parameter hasil pengukuran yang memberikan karakter sebaran nilai-nilai yang secara layak dapat diberikan kepada besaran ukur. Ketidakpastian pengukuran mencerminkan kurangnya pengetahuan yang pasti tentang nilai besaran ukur. Suatu hasil pengukuran yang tidak disertai dengan dugaan ketidakpastiannya merupakan pernyataan yang tidak lengkap bahkan mungkin tidak berarti. Hal ini disebabkan karena adanya beberapa faktor yang berkontribusi mempengaruhi hasil pengukuran.

Secara umum faktor-faktor yang menjadi sumber ketidakpastian pengukuran antara lain standar dan acuan, benda ukur, peralatan, metode pengukuran, kondisi lingkungan, dan personil pelaku pengukuran. Berdasarkan sumber-sumber ketidakpastian tersebut maka ketidakpastian diklasifikasikan menjadi dua yaitu ketidakpastian tipe A dan ketidakpastian tipe B. Ketidakpastian tipe A merupakan ketidakpastian yang dievaluasi dengan analisis statistik dari serangkaian pengamatan. Ketidakpastian baku dan derajat bebas tipe A dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 1 dan 2.

$$U_i = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

$$V_i = n - 1 \quad (2)$$

dengan:

U_i adalah ketidakpastian baku

s adalah standar deviasi

n adalah banyaknya pengukuran
 V_i adalah derajat bebas

Sedangkan ketidakpastian tipe B evaluasi dilakukan dengan cara selain analisis statistik dari serangkaian pengamatan. Evaluasi biasanya dilakukan berdasarkan penetapan ilmiah menggunakan informasi yang relevan diantaranya dari data pengukuran sebelumnya, pengalaman dan pengetahuan, spesifikasi pabrik, sertifikat kalibrasi, dan ketidakpastian yang ditetapkan berdasarkan *data book*. Ketidakpastian baku tipe B dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.

$$U_i = \frac{a}{D} \quad (3)$$

dengan:

a adalah batas sebaran

D adalah jenis distribusi

Jika ketidakpastian diberikan dalam batas tertentu yaitu $\pm a$, distribusi dapat diestimasi dari informasi yang tersedia yang kemungkinan dapat berbentuk distribusi persegi, segitiga, distribusi bentuk U, maupun distribusi normal. Tabel 1 menunjukkan nilai cakupan dari setiap distribusi.

Tabel 1 Nilai Faktor Cakupan Masing-Masing Distribusi

Jenis Distribusi	D
Persegi	$\sqrt{3}$
Segitiga	$\sqrt{6}$
Bentuk U	$\sqrt{2}$
Normal 95%	1.96
Normal 99%	2.576
Normal 99.73%	3

Untuk menggabungkan ketidakpastian baku ke dalam satuan yang sama dengan satuan besaran ukur maka diperlukan penghitungan koefisien sensitifitas. Koefisien sensitifitas menunjukkan laju perubahan besaran yang diukur setiap satu satuan besaran masukan. Koefisien sensitifitas memberikan faktor konversi untuk mengubah satuan dari besaran masukan ke dalam satuan besaran yang diukur. Koefisien sensitifitas dapat dilakukan dengan turunan parsial dari fungsi yang mewakili model matematis pengukuran. Namun dapat juga ditentukan melalui eksperimental yaitu dengan memvariasikan besaran input tertentu dan menjaga besaran input lainnya tetap konstan. Koefisien sensitifitas ini digunakan

untuk menghitung ketidakpastian gabungan. Ketidakpastian gabungan merupakan taksiran simpangan baku dari pengukuran. Nilai ini sangat penting untuk menentukan besarnya kontribusi ketidakpastian pengukuran suatu hasil pengukuran. Secara matematis ketidakpastian gabungan dihitung dengan menggunakan Persamaan 4 berikut.

$$U_c = \sqrt{\sum_{i=1}^n (C_i U_i)^2} \quad (4)$$

dengan:

U_c adalah ketidakpastian gabungan
 C_i adalah koefisien sensitifitas

Pendugaan nilai ketidakpastian hanya dilakukan pada pengujian yang didalamnya terdapat proses pengukuran atau perhitungan sehingga hasil ujinya berupa suatu nilai numerik (kuantitatif). Sedangkan untuk pengujian yang dilakukan dengan cara pengamatan dan hasil ujinya bersifat kualitatif, maka pendugaan nilai ketidakpastian tidak diperlukan. Analisis ketidakpastian pengukuran ini akan semakin penting pada saat dilakukan perbandingan hasil pengukuran, baik antar operator maupun antar laboratorium, juga pada saat membandingkannya dengan suatu batasan nilai yang ditetapkan dalam spesifikasi/standar.

2.1 Cara Uji Regulator Gas Untuk Tabung Baja LPG

Pada umumnya hasil pengujian didapatkan melalui pengamatan, pengukuran dan gabungan antara pengamatan dan pengukuran. Hasil uji yang didapatkan melalui pengamatan artinya pengambilan data pengujian dilakukan dengan cara observasi melalui indera penglihatan, pendengaran, atau penciuman. Sedangkan pengukuran, hasil uji diperoleh dengan cara pengukuran dengan menggunakan alat ukur.

Dalam SNI 7369:2008 Regulator tekanan rendah untuk tabung baja LPG terdapat 9 syarat mutu yang harus dipenuhi. Syarat mutu yang harus dipenuhi diantaranya bunyi dan getaran, tekanan keluar, tekanan pengaman (*lock up*), ketahanan jatuh, daya ketahanan kunci pemutar, ketahanan penggunaan, suhu, kebocoran dan ketahanan komponen bahan karet. Untuk bisa memenuhi syarat mutu tersebut maka regulator harus dilakukan pengujian sesuai metode uji yang terdapat pada standar. Pada SNI

7369:2008 terdapat 13 cara uji yang harus dilakukan.

2.2 Cara Menghitung Perubahan Volume Karet

Bahan uji yaitu karet membran (*rubber diaphragm*), bantalan katup dan cincin perapat masing-masing diuji pada suhu $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$. Sebelumnya bahan uji dibersihkan dengan *ethyl alcohol* dan air bersih untuk menghilangkan gelembung udara (*air bubble*) di permukaan bahan uji.

1. Sebelum bahan uji direndam ke dalam cairan n-hexane, berat ditimbang dengan metode penimbangan di udara.
2. Sebelum bahan uji direndam ke dalam cairan n-hexane, berat ditimbang dengan metode penimbangan di air.
3. Setelah direndam dengan cairan n-hexane selama 70 jam, diambil dan dikeringkan dengan kain; dalam waktu 30 detik berat ditimbang dengan metode penimbangan di udara.
4. Setelah ditimbang dengan metode penimbangan di udara; kemudian dalam masa 30 detik berat ditimbang dengan metode penimbangan di air.
5. Hitung perubahan volume dengan Persamaan 5 berikut,

$$\Delta V = \frac{(M_3 - M_4) - (M_1 - M_2)}{M_1 - M_2} \times 100 \quad (5)$$

dengan:

- M_1 adalah berat sebelum bahan uji direndam dengan cairan n-hexane dengan metode ditimbang di udara.
- M_2 adalah berat sebelum bahan uji direndam dengan cairan n-hexane dengan metode ditimbang di air.
- M_3 adalah berat bahan uji setelah direndam dengan cairan n-hexane selama 70 jam dengan metode ditimbang di udara.
- M_4 adalah berat bahan uji setelah direndam dengan cairan n-hexane selama 70 jam dengan metode ditimbang di air.
- 100 adalah faktor penambahan/penyusutan volume.

2.3 Cara Menghitung Kehilangan Berat

Bahan uji yaitu karet membran (*rubber diaphragm*), bantalan katup dan cincin perapat masing-masing diuji pada suhu $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$. Sebelumnya bahan uji dibersihkan dengan *ethyl alcohol* dan air bersih untuk menghilangkan gelembung (*air bubble*) di permukaan bahan uji. Pada umumnya langkah uji kehilangan berat

dengan perubahan volume adalah sama. Perbedaannya adalah pada uji kehilangan berat, penimbangan berat bahan uji setelah direndam di cairan n-hexane tidak dilakukan, akan tetapi bahan uji setelah itu dikeringkan dan disimpan di suhu $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ selama tidak kurang dari 70 jam. Kemudian berat ditimbang dengan metode penimbangan di udara. Kehilangan berat dihitung dengan menggunakan Persamaan 6 berikut.

$$\Delta W = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \dots\dots\dots 6$$

dengan:

- M1 adalah berat sebelum bahan uji direndam dengan cairan n-hexane selama 70 jam dengan metode ditimbang di udara.

- M2 adalah berat setelah bahan uji disimpan di udara terbuka selama 70 jam dengan metode ditimbang di udara.
- 100 adalah faktor penambahan/penyusutan berat.

3. METODOLOGI

Metode yang digunakan mengacu pada ISO GUM (*Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter-parameter uji dan parameter ukur regulator tekanan rendah SNI 7369:2008 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Parameter Uji dan Ukur Regulator Tekanan Rendah

Klausul Uji	Klausul	Cara Pengujian	Parameter yang diukur	Alat ukur yang digunakan
Bunyi dan getaran	8.1	Pengamatan	Bunyi dan getaran regulator	-
Tekanan keluar	8.2	Pengukuran	Tekanan keluar	<i>Pressure gauge</i>
Tekanan pengaman	8.3	Pengukuran	Tekanan pengaman	<i>Pressure gauge</i>
Ketahanan jatuh	8.4	Pengamatan dan pengukuran	Keretakan, bunyi dan getaran, tekanan keluar dan pengaman	<i>Pressure gauge</i>
Daya kunci pemutar	8.5	Pengamatan	Kunci pemutar regulator	-
Ketahanan penggunaan	8.6	Pengukuran	Tekanan pengaman	<i>Pressure gauge</i>
<i>Uji suhu</i>				
$0^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$	8.7.1	Pengukuran	Tekanan keluar dan tekanan pengaman	<i>Pressure gauge</i>
$20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$	8.7.2	Pengukuran	Tekanan keluar dan pengaman tekanan	<i>Pressure gauge</i>
$50^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$	8.7.3	Pengukuran	Tekanan keluar dan pengaman tekanan	<i>Pressure gauge</i>
<i>Kebocoran</i>				
Kebocoran pada tekanan rendah	8.8.1	Pengamatan	Bagian penutup regulator	-
Kebocoran pada tekanan tinggi	8.8.2	Pengamatan	Bagian kunci pemutar	-
<i>Ketahanan komponen bahan karet</i>				
Perubahan volume	8.9.1	Pengukuran dan Perhitungan	Berat membran, bantalan, cincin perapat	Timbangan digital
Kehilangan berat	8.9.2	Pengukuran dan Perhitungan	Berat membran, bantalan, cincin perapat	Timbangan digital

Pada Tabel 2 dapat dilihat dari semua klausul uji terdapat 5 item uji yang pengukurannya menggunakan satu alat ukur yaitu menggunakan *pressure gauge*, sehingga sumber ketidakpastiannya sama. Kelima item uji tersebut adalah tekanan keluar, tekanan pengaman, ketahanan jatuh, ketahanan

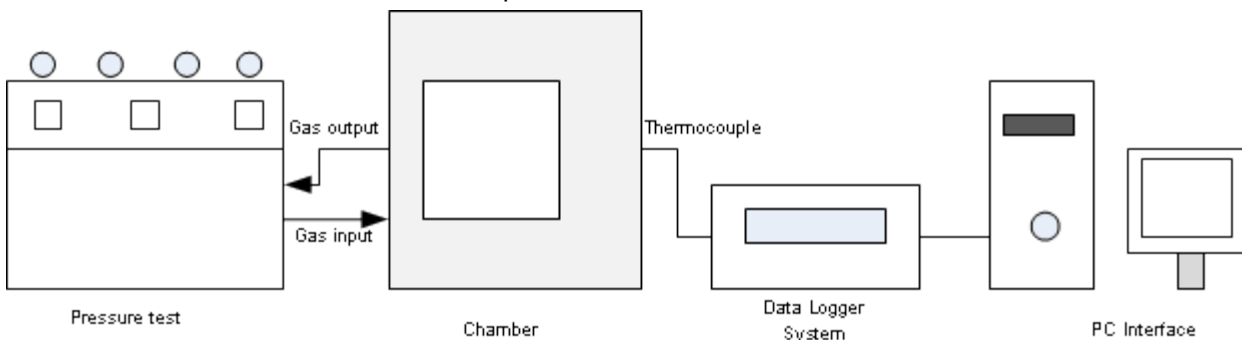
penggunaan dan uji suhu. Karena hanya menggunakan satu alat ukur, setidaknya ada dua sumber ketidakpastian tipe B yaitu resolusi alat dan ketidakpastian baku dari sertifikat kalibrasi alat. Data ketidakpastian baku dari *pressure gauge* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Nilai Ketidakpastian untuk Sistem Uji dengan Menggunakan Satu Alat Ukur

Sumber Ketidakpastian	Resolusi	Faktor Cakupan (k)	Koefisien Sensitifitas (Ci)	Ketidakpastian Baku (U)	Ketidakpastian Gabungan Uc
Resolusi pressure gauge input	0.02 MPa	2.449	0.24652	0.0041 MPa	1.01 x 10 ⁻³
Ketidakpastian dari sertifikat kalibrasi	0.01 MPa	1.96	0.24652	0.0051 MPa	1.2573 x 10 ⁻³
Resolusi pressure gauge output dan lock up (pengaman)	0.2 kPa	2.449	1	0.041 kPa	0.041
Ketidakpastian dari sertifikat kalibrasi	0.07 kPa	1.96	1	0.0357 kPa	0.0357

Pengujian ketahanan jatuh, ketahanan penggunaan regulator dan uji suhu dilakukan dengan pengukuran tekanan keluar dan tekanan pengaman sehingga ketidakpastian pengukuran tipe B untuk kedua uji tersebut mengacu pada ketidakpastian uji tekanan keluar dan uji tekanan pengaman. Dari Tabel 3 untuk pengujian dengan satu alat ukur kontribusi sumber ketidakpastian

terbesar ada pada resolusi dari *pressure gauge output* dan *lock up* (pengaman). Hal ini dapat dilihat pada nilai ketidakpastian gabungannya yang cukup besar. Oleh karena itu, untuk meminimalisasi sumber ketidakpastian digunakan *pressure gauge* dengan resolusi yang lebih tinggi.



Gambar 2 Skema Uji Suhu

Dari Gambar 2 setelah regulator dimasukkan ke dalam *chamber*, kemudian suhu diatur sesuai metode uji yang ada di standar seperti pada Tabel 2. Kemudian regulator diberi tekanan masuk dari *pressure test system*. Pengukuran dilakukan untuk tekanan keluar dan tekanan pengaman yang dapat diamati pada *pressure test system*. Sehingga sumber ketidakpastian pengukurannya adalah *chamber*

dan *pressure gauge* tekanan masuk dan *pressure gauge* tekanan keluar dan pengaman. Ketidakpastian dari *chamber* bersumber dari termokopel dan *data logger system*. Termokopel digunakan untuk mengukur suhu *chamber* yang dihubungkan dengan *data logger system* dan *PC interface* untuk mengetahui kondisi suhu di dalam *chamber*. Nilai-nilai ketidakpastian tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Nilai-Nilai Ketidakpastian untuk Klausul Uji Suhu

Sumber Ketidakpastian	Resolusi	Faktor Cakupan	Koefisien Sensitifitas	Ketidakpastian Baku	Ketidakpastian Gabungan
<i>Ketidakpastian pressure gauge input</i>					
Resolusi pressure gauge input	0.01 MPa	2.449	-0.17778	0.00204 MPa	-3.62671x10 ⁻⁴
Ketidakpastian dari sertifikat kalibrasi	0.007 MPa	1.96	-0.17778	0.357 MPa	-0.063
<i>Ketidakpastian dari chamber</i>					
Resolusi DLS	0.1 °C	1.732	C _{DLS}	0.0259 °C	Tabel 5
Ketidakpastian	0.1 °C	1.96	C _{DLS}	0.051 °C	Tabel 5

dari sertifikat kalibrasi					
Ketidakpastian dari sertifikat kalibrasi termokopel	(0.09+0.06 %t) °C	1.96	C_{termo}	(0.09+0.06%t)/ 1.96°C	Tabel 5

Dari Tabel 3 dan 4, untuk menentukan jenis distribusi dari resolusi alat tergantung pada jenis alatnya. Untuk alat ukur digital maka distribusi yang dipakai adalah persegi, sedangkan jika alat ukurnya analog dapat dianggap memiliki distribusi segitiga. *Pressure gauge* yang digunakan adalah analog maka distribusinya dianggap distribusi segitiga yang mempunyai faktor cakupan bernilai $\sqrt{6}$ (=2.449) dan nilai sebarannya adalah setengah nilai dari resolusi alat, sehingga nilai ketidakpastian baku dapat dihitung menggunakan Persamaan 3. Untuk ketidakpastian yang bersumber dari *chamber* berasal dari DLS dan termokopel. *Data logger system (DLS)* yang digunakan adalah digital sehingga distribusinya dapat dianggap distribusi persegi yang mempunyai faktor cakupan sebesar $\sqrt{3}$ (=1.732).

Nilai batas sebaran untuk distribusi persegi adalah setengah dari nilai resolusi alat sehingga dengan menggunakan Persamaan 3 ketidakpastian bakunya dapat dihitung yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4. Nilai ini juga sama dengan nilai untuk klausul uji perubahan volume karet dan kehilangan berat karet, karena timbangan dan *stopwatch* (SW) yang digunakan adalah digital seperti yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7. Untuk ketidakpastian berasal dari sertifikat kalibrasi diambil dari data sertifikat kalibrasi di laboratorium Teknologi Pengujian P2SMTP-LIPI. Distribusi ketidakpastian dari sertifikat kalibrasi dapat dianggap memiliki distribusi normal dengan nilai faktor cakupan besarnya 1.96. Nilai batas sebaran dari sertifikat kalibrasi adalah nilai penuh dari resolusi alat, sehingga dengan menggunakan Persamaan 3 ketidakpastian baku dapat dihitung. Koefisien sensitifitas resolusi *pressure gauge input* dan ketidakpastian dari sertifikat kalibrasi *pressure gauge input* pada Tabel 3 serta koefisien sensitifitas resolusi *pressure gauge input* dan ketidakpastian dari

sertifikat kalibrasi pada Tabel 4 ditentukan dengan metode eksperimen dengan bervariasi nilai inputnya. Nilai koefisien sensitifitas merupakan turunan pertama regresi dari persamaan grafik tekanan keluar dan pengaman terhadap variasi tekanan input. Karena keduanya berkaitan dengan pengaruh tekanan input terhadap tekanan keluar, maka nilai koefisien sensitifitasnya dianggap sama. Koefisien sensitifitas resolusi *pressure gauge input* dan ketidakpastian dari sertifikat kalibrasi *pressure gauge input* pada Tabel 3 serta koefisien sensitifitas resolusi *pressure gauge input* dan ketidakpastian dari sertifikat kalibrasi pada Tabel 4 yang diperoleh dari hasil eksperimen untuk uji tekanan keluar dan uji tekanan pengaman berturut-turut adalah 0.24652 dan -0.17778. Sedangkan nilai tekanan keluar dan pengaman pada *pressure gauge output* dan *lock up* (pengaman) pada Tabel 3 didapatkan dari nilai pembacaan tekanan ditambah faktor koreksi atau secara matematis dapat dituliskan $P = P_{\text{baca}} + \text{koreksi}$. Nilai koefisien sensitifitas merupakan turunan parsial dari persamaan tersebut yang bernilai 1. Sehingga nilai ketidakpastian gabungan dapat dihitung menggunakan Persamaan 4.

Koefisien C_{DLS} dan C_{termo} didapatkan dengan bervariasi suhu *chamber* kemudian dilihat pengaruhnya terhadap tekanan keluar dan pengaman. Nilai koefisien sensitifitasnya didapatkan dari turunan pertama regresi grafik tekanan keluar dan pengamannya terhadap variasi suhu *chamber*. Karena DLS dan termokopel digunakan untuk mengukur suhu *chamber*, maka nilai koefisien sensitifitas keduanya dianggap sama yaitu berkaitan dengan pengaruh perubahan suhu terhadap hasil pengukuran tekanan. Nilai koefisien sensitifitas C_{DLS} dan C_{termo} yang diperoleh dari hasil eksperimen serta ketidakpastian gabungannya ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Koefisien Sensitifitas Suhu (C_{DLS} Dan C_{termo})

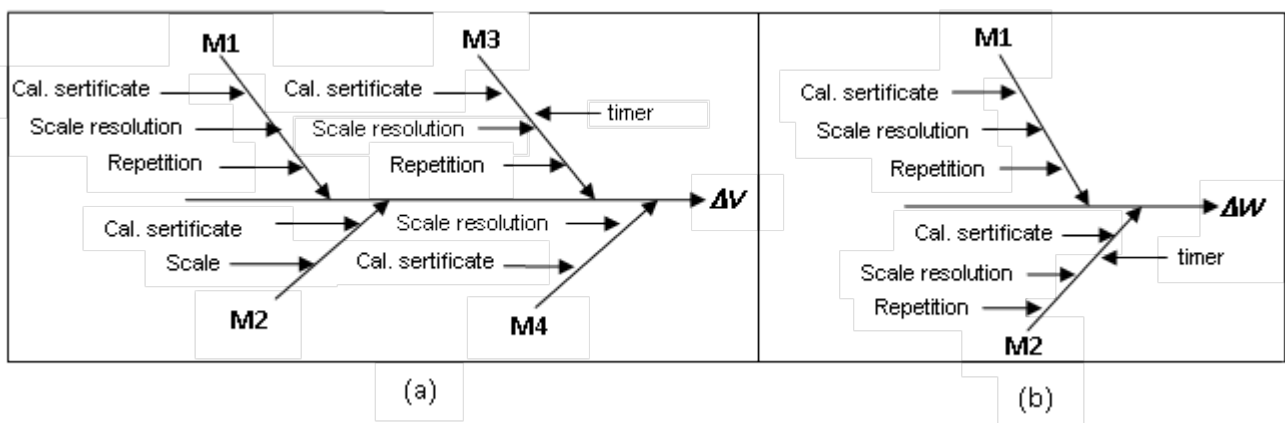
Pengukuran	Input (MPa)	C_{DLS} C_{termo}	Ketidakpastian Gabungan (U_c)		
			Resolusi DLS	ketidakpastian sertifikat kalibrasi DLS	Ketidakpastian sertifikat kalibrasi termokopel
<i>Uji Suhu 0 °C ± 2 °C</i>					
Tek. Keluar	0.02	0.342	8.858×10^{-3}	0.017	0.016
Tek. Pengaman	0.02	-0.261	-6.76×10^{-3}	-0.013	-0.012
Tek. Keluar	0.1	-0.261	-6.76×10^{-3}	-0.013	-0.012

Pengukuran	Input (MPa)	C _{DLS} C _{termo}	Ketidakpastian Gabungan (U _c)		
			Resolusi DLS	ketidakpastian sertifikat kalibrasi DLS	Ketidakpastian sertifikat kalibrasi termokopel
Tek. Pengaman	0.1	-0.176	-4.56x10 ⁻³	-8.976x10 ⁻³	-8.082x10 ⁻³
<i>Uji Suhu 20°C ± 5°C</i>					
Tek Keluar	0.02	0	0	0	0
Tek Pengaman	0.02	0	0	0	0
Tek Keluar	0.3	0	0	0	0
Tek Pengaman	0.3	0.02	5.18x10 ⁻⁴	1.02x10 ⁻³	1.04x10 ⁻³
<i>Uji Suhu 50°C ± 5°C</i>					
Tek. Keluar	0.1	0	0	0	0
Tek. Pengaman	0.1	0	0	0	0
Tek. Keluar	0.6	0	0	0	0
Tek. Pengaman	0.6	0	0	0	0

Pada Tabel 5 terlihat bahwa ketidakpastian gabungan untuk komponen resolusi DLS, ketidakpastian sertifikat kalibrasi DLS dan ketidakpastian sertifikat kalibrasi termokopel sangat kecil dan mendekati nol. Hal tersebut menunjukkan bahwa pengaruh suhu pengujian pada rentang ujinya tidak berpengaruh signifikan pada hasil pengukuran tekanan keluar dan pengaman. Sementara pada Tabel 4 terlihat bahwa kontribusi sumber ketidakpastian terbesar ada pada ketidakpastian dari sertifikat kalibrasi *pressure gauge input*. Hal ini dapat dilihat dari nilai ketidakpastian gabungannya yang cukup besar. Oleh karena itu, untuk meminimalisasi ketidakpastian digunakan *pressure gauge input* dengan resolusi yang lebih tinggi.

4.1 Ketidakpastian Pengukuran pada Klausul Uji Perubahan Volume dan Kehilangan Berat

Perubahan volume karet membran, bantalan katup, dan cincin perapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 5. Sedangkan kehilangan berat karet dihitung dengan menggunakan Persamaan 6. Karena melibatkan banyak besaran masukan maka sumber ketidakpastian dapat diidentifikasi dengan menggunakan diagram *cause effect* untuk menghindari taksiran ketidakpastian *overestimate* maupun *underestimate*. Gambar 3(a) menunjukkan *cause effect* diagram untuk klausul uji perubahan volume karet dan Gambar 3(b) untuk klausul uji kehilangan berat karet. Pada Gambar 3 terlihat bahwa sumber yang memberikan ketidakpastian diantaranya resolusi dan sertifikat kalibrasi alat yang digunakan yaitu timbangan digital, pengukuran berulang (*repetition*) serta *timer* yang menggunakan *stopwatch digital*. Peralatan yang digunakan untuk uji perubahan volume dan kehilangan karet adalah sama. Nilai-nilai ketidakpastian klausul uji dapat dilihat pada Tabel 6.



Gambar 3 Cause Effect Diagram: (a) perubahan volume (b) kehilangan berat

Tabel 6 Nilai-Nilai Ketidakpastian Klausul Uji Perubahan Volume Karet dan Kehilangan Berat

Sumber Ketidakpastian	Resolusi	Faktor Cakupan	Ketidakpastian Baku	Koefisien Sensitifitas	
				ΔV	ΔW
<i>Ditimbang di udara sebelum direndam di cairan n-hexane</i>					
Resolusi timbangan	0.01 g	1.732	0.00289	C _{VM1}	C _{WM1}

Sumber Ketidakpastian	Resolusi	Faktor Cakupan	Ketidakpastian Baku	Koefisien Sensitifitas	
				ΔV	ΔW
Ketidakpastian dari sertifikat kalibrasi timbangan	0.01 g	1.96	0.0051	C_{VM1}	C_{WM1}
<i>Ditimbang di air sebelum direndam di cairan n-hexane untuk uji perubahan volume</i>					
Resolusi timbangan	0.01 g	1.732	0.00289	C_{VM2}	-
Ketidakpastian dari sertifikat kalibrasi timbangan	0.01 g	1.96	0.0051	C_{VM2}	-
<i>Ditimbang di udara setelah direndam cairan n-hexane untuk uji perubahan volume</i>					
Resolusi timbangan	0.01 g	1.732	0.00289	C_{VM3}	-
Ketidakpastian dari sertifikat kalibrasi timbangan	0.01 g	1.96	0.0051	C_{VM3}	-
Resolusi stopwatch	0.1 s	1.732	0.0289 s	C_{VTIME}	-
Ketidakpastian dari sertifikat kalibrasi SW	0.62 s	1.96	0.316 s	C_{VTIME}	-
<i>Ditimbang di air setelah direndam cairan n-hexane untuk uji perubahan volume</i>					
Resolusi timbangan	0.01 g	1.732	0.00289	C_{VM4}	-
Ketidakpastian dari sertifikat kalibrasi timbangan	0.01 g	1.96	0.0051	C_{VM4}	-
<i>Ditimbang di udara setelah dibiarkan di udara terbuka untuk uji kehilangan berat</i>					
Resolusi alat	0.01 g	1.732	0.00289	-	C_{WM2}
Ketidakpastian dari sertifikat kalibrasi timbangan	0.01 g	1.96	0.0051	-	C_{WM2}
Resolusi stopwatch	0.1 s	1.732	0.0289 s	-	C_{WTIME}
Ketidakpastian dari sertifikat kalibrasi SW	0.62 s	1.96	0.316 s	-	C_{WTIME}

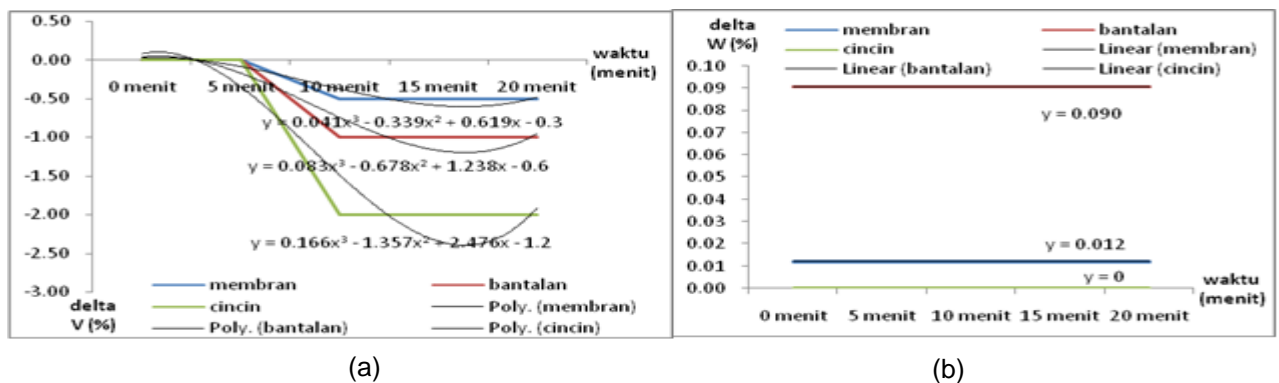
Koefisien sensitifitas dari uji perubahan volume diperoleh dari penurunan parsial Persamaan 5 dan hasilnya sebagai berikut:

$$C_{VM1} = \frac{\partial \Delta V}{\partial M_1} = \frac{(M_4 - M_3)}{(M_1 - M_2)^2} \quad C_{VM2} = \frac{\partial \Delta V}{\partial M_2} = \frac{(M_3 - M_4)}{(M_1 - M_2)^2} \quad C_{VM3} = \frac{\partial \Delta V}{\partial M_3} = \frac{1}{M_1 - M_2} \quad C_{VM4} = \frac{\partial \Delta V}{\partial M_4} = \frac{1}{M_2 - M_1}$$

Sedangkan uji kehilangan berat, koefisien sensitifitas diperoleh dari turunan parsial dari Persamaan 6 dan hasilnya sebagai berikut:

$$C_{WM1} = \frac{\partial \Delta W}{\partial M_1} = \frac{M_2}{M_1^2} \quad C_{WM2} = \frac{\partial \Delta W}{\partial M_2} = -\frac{1}{M_2}$$

Nilai koefisien sensitifitas masing-masing didapatkan dengan memasukkan nilai massa hasil percobaan dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 7. Sementara itu C_{VTIME} dan C_{WTIME} diperoleh dari bervariasi waktu perendaman terhadap perubahan volume dan kehilangan berat.



Gambar 4 Pengaruh Waktu Terhadap: (a) Perubahan Volume (b) Kehilangan Berat

Gambar 4 (a) Menunjukkan Hasil Eksperimen untuk Mengetahui Pengaruh Waktu Terhadap Perubahan Volume bahan karet sedangkan Gambar 4(b) pengaruh waktu

terhadap kehilangan berat dengan menetapkan kelebihan waktu pengujian rata-rata sebesar 5 menit. Nilai koefisien sensitifitas C_{VTIME} didapatkan dari turunan pertama regresi grafik

Gambar 4(a) sedangkan C_{WTIME} didapatkan dari turunan pertama regresi grafik Gambar 4(b). Gambar 4(a) menunjukkan bahwa pada uji perubahan volume karet semakin lama waktu perendaman, sample uji semakin menyusut. Untuk meminimalisasi ketidakpastian pengukuran, sample uji diangkat dari perendaman tepat pada saat akhir pengujian sesuai persyaratan standar dengan urutan penimbangan sample uji mulai dari cincin perapat, bantalan katup dan kemudian membran. Pada Gambar 4(b) menunjukkan bahwa nilai C_{WTIME} untuk waktu uji membran,

bantalan katub, dan cincin perapat diperoleh nilai yang sama yaitu nol. Dengan demikian penambahan waktu hingga 20 menit tidak menyebabkan perubahan hasil pengujian atau tidak memberikan kontribusi secara signifikan kepada ketidakpastian pengukuran pada pengujian kehilangan berat. Nilai koefisien sensitifitas dan ketidakpastian gabungan komponen bahan karet untuk uji perubahan volume dan kehilangan berat dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 Koefisien Sensitifitas dan Ketidakpastian Gabungan pada Uji Bahan Karet

Sumber Ketidakpastian	Komponen Bahan Karet							
	Perubahan Volume				Kehilangan Berat			
<i>Ditimbang di udara sebelum direndam di cairan n-hexane</i>								
		Membran	Bantalan	Cincin		Membran	Bantalan	Cincin
Resolusi Alat	C_{VM1}	-50	-100	-100	C_{WM1}	0.24	8.26	16.67
K.Gabungan	U_c	-0.145	-0.289	-0.289	U_c	6.94×10^{-4}	0.024	0.048
Sert. Kalibrasi	C_{VM1}	-50	-100	-100	C_{WM1}	0.24	8.26	16.67
K.Gabungan	U_c	-0.255	-0.51	-0.51	U_c	1.22×10^{-3}	0.042	0.085
<i>Ditimbang di air sebelum direndam di cairan n-hexane untuk uji perubahan volume karet</i>								
Resolusi Alat	C_{VM2}	50	100	100	-	-	-	-
K.Gabungan	U_c	0.1445	0.289	0.289	-	-	-	-
Sert. Kalibrasi	C_{VM2}	50	100	100	-	-	-	-
K.Gabungan	U_c	0.255	0.51	0.51	-	-	-	-
<i>Ditimbang di udara setelah direndam cairan n-hexane</i>								
Resolusi Alat	C_{VM3}	50	100	100	-	-	-	-
K.Gabungan	U_c	0.145	0.289	0.289	-	-	-	-
Sert. Kalibrasi	C_{VM3}	50	100	100	-	-	-	-
K.Gabungan	U_c	0.255	0.51	0.51	-	-	-	-
<i>Ditimbang di udara setelah direndam cairan n-hexane</i>								
Resolusi Alat	C_{VTIME}	0.304	0.608	1.356	-	-	-	-
K.Gabungan	U_c	8.786×10^{-3}	0.018	0.039	-	-	-	-
Sert. Kalibrasi	C_{VTIME}	0.304	0.608	1.356	-	-	-	-
K.Gabungan	U_c	0.096	0.192	0.428	-	-	-	-
<i>Ditimbang di air setelah direndam cairan n-hexane</i>								
Resolusi Alat	C_{VM4}	-50	-100	-100	-	-	-	-
K.Gabungan	U_c	-0.145	-0.289	-0.289	-	-	-	-
Sert. Kalibrasi	C_{VM4}	-50	-100	-100	-	-	-	-
K.Gabungan	U_c	-0.145	-0.289	-0.289	-	-	-	-
<i>Ditimbang di udara setelah dibiarkan di udara terbuka untuk uji kehilangan berat</i>								
Resolusi Alat	-	-	-	-	C_{WM2}	-0.25	-10	-16.67
K.Gabungan	-	-	-	-	U_c	-7.23×10^{-4}	-0.0289	-0.048
Sert. Kalibrasi	-	-	-	-	C_{WM2}	-0.25	-10	-16.67
K.Gabungan	-	-	-	-	U_c	-1.28×10^{-3}	-0.051	-0.085
Resolusi Alat	-	-	-	-	C_{WTIME}	0	0	0
K.Gabungan	-	-	-	-	U_c	0	0	0
Sert. Kalibrasi	-	-	-	-	C_{WTIME}	0	0	0
K.Gabungan	-	-	-	-	U_c	0	0	0

Pada Tabel 7 terlihat bahwa kontribusi ketidakpastian terbesar ada pada ketidakpastian sertifikat kalibrasi timbangan. Hal ini dapat dilihat dari nilai ketidakpastian gabungannya yang relatif besar. Oleh karena itu untuk meminimalisasi ketidakpastian perlu digunakan

timbangan yang memiliki resolusi yang lebih tinggi.

Berdasarkan analisa diatas kontribusi ketidakpastian terbesar ada pada ketidakpastian yang bersumber pada sertifikat kalibrasi dari peralatan. Oleh karena itu untuk meminimalisasi ketidakpastian perlu digunakan peralatan yang

memiliki resolusi yang lebih tinggi sehingga diharapkan ketidakpastian kalibrasinya akan lebih kecil. Sementara itu perhitungan ketidakpastian untuk klausul perubahan volume dan kehilangan berat lebih kompleks karena melibatkan persamaan matematis.

5. KESIMPULAN

Dari analisa diatas dapat disimpulkan

1. Dari 13 metode uji regulator tekanan rendah, terdapat 4 metode uji yang hasilnya ujinya didapatkan melalui pengamatan sehingga tidak perlu perhitungan ketidakpastian pengukuran. Kemudian 6 metode uji dengan pengukuran, 1 metode uji dengan pengamatan dan pengukuran dan 2 metode uji dengan pengukuran dan perhitungan.
2. Dari analisis menunjukkan kompleksitas perhitungan ketidakpastian dipengaruhi oleh banyaknya sumber ketidakpastian diantaranya jumlah alat ukur yang digunakan dan persamaan matematis yang ada. Perhitungan ketidakpastian untuk klausul perubahan volume dan kehilangan berat lebih kompleks karena melibatkan persamaan matematis.
3. Kontribusi ketidakpastian terbesar ada pada ketidakpastian yang bersumber pada sertifikat kalibrasi dari peralatan. Oleh karena itu, untuk meminimalisasi ketidakpastian perlu digunakan peralatan yang memiliki resolusi yang lebih tinggi

Lira, Ignacio. (2002). *Evaluating The Measurement Uncertainty*. USA: Institute of Physics Publishing.

Menteri Perindustrian Republik Indonesia. (2010). *Peraturan Menteri Perindustrian Nomor: 129/M-IND/PER/12/2010 tentang Perubahan Atas Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 85/M-IND/PER/11/2008 tentang Pemberlakuan Standar Nasional Indonesia (SNI) Terhadap Lima (5) Produk Industri Secara Wajib*. Jakarta

Pertamina. "Progam Konversi", <http://gasdom.pertamina.com/>

Supradinata. (2010). *Program Konversi Minyak Tanah ke LPG Diluncurkan*", <http://www.bakinnews.com/index.php>

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 7369:2008. *Regulator tekanan rendah untuk tabung baja LPG*. Jakarta
- Badan Standardisasi Nasional. (2006). SNI ISO/IEC 17025:2006. *Persyaratan umum kompetensi laboratorium pengujian dan laboratorium kalibrasi*. Jakarta
- International Organization for Standardization. (1995). *ISO Guide to The Expression of Uncertainty in Measurement*. Geneva
- Komite Akreditasi Nasional. (2003). *Pedoman Evaluasi dan Pelaporan Ketidakpastian Pengukuran*. Jakarta
- Kusnandar, Nanang. (2009) . *Analisa Ketidakpastian Pengukuran Pada Pengujian Kompor Gas LPG Satu Tungku Berdasarkan SNI 7368:2007*. Prosiding Amteq 2009, P2SMTP LIPI, Serpong.