

ANALISIS KETIDAKPASTIAN KALIBRASI TIMBANGAN NON-OTOMATIS DENGAN METODA PERBANDINGAN LANGSUNG TERHADAP STANDAR MASSA ACUAN

Renanta Hayu

Peneliti pada Pusat Penelitian Kalibrasi Instrumentasi Metrologi LIPI
renanta@kim.lipi.go.id

Diajukan: 21 Oktober 2009, Diterima: 4 Januari 2010

Abstrak

Timbangan non-otomatis sangat banyak digunakan baik di laboratorium kalibrasi maupun industri. Dalam rekomendasi internasional OIML R76 dijelaskan prosedur untuk pengujian terhadap timbangan non-otomatis yang bertujuan untuk uji tipe dan verifikasi, tetapi tidak menjelaskan cara menghitung ketidakpastian untuk kalibrasi timbangan non-otomatis. Cara kalibrasi yang benar dan analisis perhitungan yang tepat sangat diperlukan untuk mengetahui besarnya penyimpangan dari penunjukkan yang ditampilkan oleh timbangan saat suatu benda diletakkan di atasnya. Dalam tulisan ini dipaparkan analisis perhitungan untuk menentukan koreksi penunjukkan dan analisis ketidakpastian dalam kalibrasi timbangan non-otomatis. Metoda yang digunakan sesuai dengan metoda yang disusun oleh Prowse, tetapi analisis perhitungan koreksi dan ketidakpastiannya disesuaikan dengan ISO GUM dan EURAMET/cg-18/v.01. Dari hasil analisis ketidakpastian terlihat bahwa faktor ketidakpastian daya ulang pembacaan dan perbedaan suhu sangat mempengaruhi ketidakpastian koreksi penunjukkan dalam kalibrasi timbangan non-otomatis.

Kata kunci: kalibrasi, ketidakpastian, timbangan non-otomatis, koreksi

Abstract

Uncertainty Analysis of Non Automatic Scale Calibration by Direct on Comparison Method to the Standard Reference Mass

Non-Automatic weighing instruments are the type of instruments widely used either by calibration laboratories as well as industries. International Recommendation OIML R76 describes recommended testing procedure for non-automatic weighing instruments, however uncertainty analysis based on described testing method is not explained in. An appropriate calibration (accuracy testing) method and data analysis is needed to estimate deviation from indicated values with a load in the balance pan. This paper describe uncertainty analysis of correction to the balance reading analyzed based on the mathematical model describe in the OIML R76. Weighing method in-line with well-known David B Prowse's balance calibration method is used in this experiments and the uncertainty analysis is aligned with ISO GUM and EURAMET/cg-18/v.01. Results of experiment shows that uncertainty due to the repeatability of reading and dispersion of temperature are the major contributor to the uncertainty of the correction in the calibration of non-automatic weighing instruments based on OIML R76.

Keywords: calibration, uncertainty, non-automatic weighing scale, correction

1. PENDAHULUAN

Timbangan non-otomatis secara umum digunakan untuk menentukan besarnya massa suatu benda, timbangan jenis ini modelnya sangat beragam dan sangat banyak penggunaannya baik di laboratorium kalibrasi, maupun di industri. Dalam OIML R76 dijelaskan secara rinci tentang persyaratan secara teknis dan metrologi tentang timbangan non-otomatis. Dokumen tersebut hanya menjelaskan prosedur untuk pengujian terhadap timbangan non-otomatis yang bertujuan untuk uji tipe dan verifikasi, tetapi tidak menjelaskan cara

menghitung ketidakpastian untuk kalibrasi timbangan non-otomatis.

Sebagian besar laboratorium kalibrasi di Indonesia yang memiliki lingkup kalibrasi untuk timbangan non-otomatis menggunakan metoda kalibrasi yang mengacu pada metoda kalibrasi timbangan non-otomatis yang disusun oleh Prowse [7]. Dalam buku tersebut dituliskan secara rinci langkah-langkah mengkalibrasi timbangan non-otomatis dan analisis perhitungannya. Hanya saja dalam analisis perhitungan ketidakpastiannya banyak faktor-faktor yang harus disesuaikan dengan ISO GUM [5], karena dalam analisis perhitungan ketidakpastiannya banyak hal-hal yang belum

sesuai dengan ISO GUM[5]. Dalam buku tersebut juga terdapat faktor-faktor yang belum diperhitungkan dalam analisis ketidakpastiannya, diantaranya faktor ketidakstabilan standar massa yang digunakan, faktor pengaruh perbedaan suhu antara standar massa yang digunakan dan suhu pada timbangan yang dikalibrasi, dan faktor efek pembebanan tidak di pusat pan. Dalam EURAMET/cg-18/v.01 [1] faktor-faktor tersebut telah diperhitungkan dalam analisis ketidakpastian kalibrasi timbangan non-otomatis.

Cara kalibrasi yang benar dan analisis perhitungan yang tepat sangat diperlukan untuk mengetahui besarnya penyimpangan dari penunjukkan yang ditampilkan oleh timbangan saat suatu benda diletakkan di atasnya. Untuk itu dalam tulisan ini dipaparkan analisis perhitungan untuk menentukan koreksi dari pembacaan timbangan dan menganalisis satu persatu faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya koreksi tersebut. Metoda yang digunakan dalam tulisan ini sesuai dengan metoda yang ditulis oleh Prowse [7], tetapi dalam analisis perhitungan ketidakpastiannya disesuaikan dengan ISO GUM [5] dan EURAMET/cg-18/v.01 [1].

Dalam tulisan ini timbangan non-otomatis yang digunakan memiliki kapasitas 220 g dengan resolusi 0.1 mg. Dan standar massa acuan yang digunakan untuk mengkalibrasi timbangan tersebut merupakan standar massa kelas E2.

2. METODE PENGUKURAN

Metode yang digunakan untuk mengkalibrasi timbangan non-otomatis adalah dengan membandingkan pembacaan timbangan terhadap standar massa acuannya. Dalam hal ini kalibrasi dilakukan untuk menentukan besarnya daya ulang pembacaan, penyimpangan pembacaan dan efek pembebanan tidak di pusat pan.

Kalibrasi timbangan non-otomatis dilakukan di tempat dimana biasanya timbangan tersebut dioperasikan. Sebelum kalibrasi dilakukan, timbangan di-adjust sesuai dengan prosedur yang terdapat dalam manual pemakaiannya.

3. STANDAR MASSA ACUAN

Standar massa yang digunakan untuk mengkalibrasi harus tertelusur ke satuan SI, dan memiliki ketidakpastian yang lebih kecil dari 1/3 kesalahan maksimum yang diperbolehkan (MPE) dari timbangan yang dikalibrasi [3][4][7]. Dalam tulisan ini standar massa yang digunakan adalah standar massa kelas E2.

4. DAYA ULANG PEMBACAAN

Daya ulang pembacaan merupakan ukuran kemampuan timbangan untuk menunjukkan nilai yang sama pada kondisi penimbangan yang sama dan dinyatakan sebagai standar deviasi dari satu seri pengamatan.

Daya ulang pembacaan diambil pada dua titik pengukuran yaitu pada 0.5 kapasitas maksimum dan pada kapasitas maksimum timbangan. Dalam hal ini dilakukan sepuluh kali pengambilan data untuk beban yang sama [7]

Standar deviasi dihitung dari perbedaan pembacaan timbangan (I), pada saat timbangan diberi beban (I_L) dan pembacaan pada saat timbangan tidak diberi beban (I_Z):

$$I_i = I_{Li} - I_{Zi} \dots\dots\dots 1$$

dimana :
i = 1,2,3.....10
sehingga [5]:

$$std\ deviasi = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{I_i - \bar{I}}{n-1} \right)^2} \dots\dots\dots 2$$

5. PENYIMPANGAN PEMBACAAN TIMBANGAN

Untuk mengetahui besarnya koreksi yang harus diberikan pada nilai yang ditunjukkan oleh timbangan, pembacaan timbangan diperiksa pada step-step berjarak sama sepanjang range timbangan. Dalam hal ini diambil enam titik pengukuran sepanjang range timbangan dan timbangan tidak di zero-kan selama pengambilan data.

Masing-masing koreksi pembacaan pada setiap titik pengukuran dapat dihitung dengan :

$$C_i = m_{ref-i} - I_i \dots\dots\dots 3$$

dimana

$$m_{ref-i} = m_{N-i} + \delta m_{C-i} + \delta m_{B-i} + \delta m_{D-i} + \delta m_{conv-i} \dots\dots 4$$

$$I_i = I_{Li} + \delta I_{resLi} + \delta I_{rep-i} + \delta I_{ecc-i} - (I_{Zi} + \delta I_{resZi}) \dots\dots 5$$

dimana:

- C_i = koreksi pembacaan timbangan ke-i
- m_{ref-i} = massa konvensional standar massa acuan ke-i
- I_i = pembacaan timbangan ke-i
- m_{N-i} = massa nominal standar massa acuan ke-i
- δm_{C-i} = koreksi standar massa acuan ke-i
- δm_{B-i} = koreksi bouyancy udara
- δm_{D-i} = koreksi ketidakstabilan standar massa acuan

δm_{conv-i} = koreksi pengaruh perbedaan suhu
 δl_{res} = koreksi daya baca timbangan
 δl_{rep-i} = koreksi daya ulang pembacaan

6. EFEK PEMBEBANAN TIDAK DI PUSAT PAN

Kesalahan pengukuran dapat terjadi apabila pusat massa suatu benda yang ditimbang tidak berada pada pusat pan. Untuk itu perlu dilakukan pengukuran untuk mengetahui besarnya kesalahan pengukuran akibat peletakan suatu benda yang tidak dilakukan di pusat pan.

Dalam hal ini timbangan diberi beban sebesar setengah kapasitas maksimum timbangan, diletakkan di tengah pan, kemudian secara berurutan diletakkan di sebelah depan, kiri, belakang, dan kanan pan dengan jarak sekitar ¼ jari-jari dari pusat pan. Perlakuan tersebut diulang kembali dgn arah terbalik, yaitu belakang, kiri, depan, kanan dan kembali lagi ke pusat pan [7]

Besarnya efek pembebanan tidak di pusat pan, dapat dihitung sebagai :

$$\Delta l_{ecc-i} = (l_i - l_0) \dots \dots \dots 6$$

dimana :

l_i = pembacaan timbangan pada saat beban diletakkan pada posisi tidak di pusat pan

l_0 = pembacaan timbangan pada saat beban diletakkan pada pusat pan

7. KETIDAKPASTIAN PENGUKURAN

Berdasarkan persamaan (3), persamaan ketidakpastian dari koreksi pembacaan timbangan dapat dituliskan:

$$u^2(C_i) = u^2(m_{ref-i}) + u^2(l_i) \dots \dots \dots 7$$

dengan:

(m_{ref-i}) = ketidakpastian standar massa acuan

$U(l_i)$ = Ketidakpastian pembacaan timbangan

Berdasarkan persamaan (4) dan (5) faktor-faktor ketidakpastian standar massa acuan dan pembacaan timbangan masing-masing dapat dihitung sebagai berikut:

7.1 Ketidakpastian Massa Konvensional

Besarnya koreksi massa konvensional dari standar massa acuan, δm_c , dan dapat diperoleh ketidakpastian massa konvensional dari standar massa acuan yang digunakan diperoleh dari sertifikat kalibrasinya. Apabila standar massa acuan yang digunakan lebih dari satu maka ketidakpastiannya merupakan jumlah

δl_{ecc-i} = koreksi efek pembebanan tidak di pusat pan
 l = 1,2,3.....10

ketidakpastian dari masing-masing standar massa acuan. Besarnya ketidakpastian baku standar massa acuan [1][5]:

$$u(\delta m_c) = U(m_c)/k \dots \dots \dots 8$$

dimana k merupakan faktor cakupan yang terdapat dalam sertifikat kalibrasi.

7.2 Ketidakpastian Bouyancy Udara

Besarnya koreksi bouyancy udara dapat dituliskan [2][6]:

$$\delta m_B = - (\rho_a - \rho_0)(1/\rho - 1/\rho_c).m_N \dots \dots \dots 9$$

dimana:

ρ_a = densitas udara pada saat kalibrasi, kg/m^3

ρ_0 = 1.2 kg/m^3

ρ = densitas standar massa acuan, kg/m^3

ρ_c = 8000 kg/m^3

Dalam perhitungan massa konvensional koreksi bouyancy udara diabaikan. Ketidakpastian baku koreksi bouyancy udara dapat dihitung sebesar:

$$u^2(\delta m_B) = u^2(\rho_a) (1/\rho - 1/\rho_c)^2.m_N^2 + (\rho_a - \rho_0)^2.m_N^2. u^2(\rho)/\rho^4 + u^2(\rho_a) m_N^2. u^2(\rho)/\rho^4 \dots \dots \dots 10$$

7.3 Ketidakpastian Ketidakstabilan Standar Massa Acuan

Besarnya koreksi ketidakstabilan standar massa acuan, δm_D , diabaikan. Ketidakpastian baku ditentukan berdasarkan data dari nilai massa konvensional standar massa acuan yang terdapat dalam sertifikat – sertifikat kalibrasinya.

Apabila terdapat n buah nilai massa konvensional dari n buah sertifikat standar massa acuan untuk nilai nominal yang sama maka besarnya ketidakpastian baku dari ketidakstabilan standar massa acuan adalah [1][5]:

$$u(\delta m_D) = Stdev(m_c)/\sqrt{n} \dots \dots \dots 11$$

7.4 Ketidakpastian Pengaruh Perbedaan Suhu

Untuk meminimalkan perbedaan antara suhu timbangan yang dikalibrasi dengan suhu pada standar massa acuan, standar massa acuan perlu dikondisikan terlebih dahulu di dekat timbangan yang akan dikalibrasi, ini dikarenakan perbedaan yang cukup besar diantara keduanya sangat berpengaruh terhadap hasil pengukuran.

Besarnya perubahan nilai massa, Δm_{conv} , akibat adanya perbedaan suhu, ΔT , dapat diestimasi berdasarkan Tabel 1 [1].

Ketidakpastian baku perubahan nilai massa akibat perbedaan suhu dapat dihitung sebesar:

$$u(\delta m_{conv}) = \Delta m_{conv} / \sqrt{3} \dots\dots\dots 12$$

Tabel 1 Perubahan Nilai Massa, Δm_{conv} , Akibat Perbedaan Suhu

Change Δm_{conv} in mg of standard weights, for selected temperature differences ΔT								
	ΔT in K							
m in kg	20	15	10	7	5	3	2	1
50	113,23	87,06	60,23	43,65	32,27	20,47	14,30	7,79
20	49,23	38,00	26,43	19,25	14,30	9,14	6,42	3,53
10	26,43	20,47	14,30	10,45	7,79	5,01	3,53	1,96
5	14,30	11,10	7,79	5,72	4,28	2,76	1,96	1,09
2	6,42	5,01	3,53	2,61	1,96	1,27	0,91	0,51
1	3,53	2,76	1,96	1,45	1,09	0,72	0,51	0,29
0,5	1,96	1,54	1,09	0,81	0,61	0,40	0,29	0,17
0,2	0,91	0,72	0,51	0,38	0,29	0,19	0,14	0,08
0,1	0,51	0,40	0,29	0,22	0,17	0,11	0,08	0,05
0,05	0,29	0,23	0,17	0,12	0,09	0,06	0,05	0,03
0,02	0,14	0,11	0,08	0,06	0,05	0,03	0,02	0,01
0,01	0,08	0,06	0,05	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01

7.5 Ketidakpastian Daya Baca Timbangan

Ketidakpastian baku daya baca timbangan pada saat timbangan diberi beban (I_L) dan timbangan tidak diberi beban (I_Z), masing-masing dapat dihitung sebesar [5]:

$$u(\delta I_{resL}) = (0.5.d) / \sqrt{3} \dots\dots\dots 13$$

$$u(\delta I_{resZ}) = (0.5.d) / \sqrt{3} \dots\dots\dots 14$$

dimana d adalah resolusi timbangan

7.6 Ketidakpastian Daya Ulang Pembacaan

Ketidakpastian baku daya ulang pembacaan dapat dihitung sebesar:

$$u(\delta I_{rep}) = stdev(I) / \sqrt{n} \dots\dots\dots 15$$

7.7 Ketidakpastian Efek Pembebanan Tidak Dipusat Pan

Besarnya ketidakpastian baku efek pembebanan tidak di pusat pan dapat dihitung [1]:

$$u(\delta I_{ecc}) = I_i]_{max} / (2 \cdot L_{ecc} \sqrt{3}) \dots\dots\dots 16$$

dimana:
 L_{ecc} = massa nominal standar massa acuan

8. HASIL

Hasil kalibrasi timbangan beserta ketidakpastian dari faktor-faktor yang berpengaruh dapat dilihat dalam Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Kalibrasi

Hasil						
Pembacaan	20.0000	59.9999	99.9998	160.0000	200.0002	g
Koreksi	0.0001	0.0000	-0.0002	-0.0004	-0.0009	g
Budget Ketidakpastian						
Titik ukur, g	20	60	100	160	200	Distribusi
Beban, g	20	10 + 50	100	100+50+10	200	
$u(\delta m_C)$, mg	0.004	0.009	0.010	0.019	0.015	normal
$u(\delta m_B)$, mg	1.36E-05	4.09E-05	6.81E-05	1.09E-04	1.36E-04	rectangular

Hasil						
$u(\delta m_D)$,mg	0.001	0.001	0.002	0.004	0.004	normal
$u(\delta m_{conv})$,mg	0.006	0.023	0.029	0.046	0.046	rectangular
$u(\delta l_{resL})$,mg	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	rectangular
$u(\delta l_{resZ})$,mg	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	rectangular
$u(\delta l_{rep})$,mg	0.067	0.067	0.067	0.112	0.112	t-student
$u(\delta l_{ecc})$,mg	0.003	0.009	0.014	0.023	0.029	rectangular
$u(C)$	0.079	0.083	0.086	0.131	0.132	mg
\square_{eff}	17.2	21	24	17	17	
$k(95\%)$	2.1	2.08	2.06	2.11	2.11	
$U(C)$	0.17	0.17	0.18	0.28	0.28	mg

9. KESIMPULAN

Dari hasil analisis ketidakpastian dapat disimpulkan bahwa faktor ketidakpastian terbesar bersumber dari faktor daya ulang pembacaan. Faktor ketidakpastian perbedaan suhu antara suhu standar massa acuan dan suhu timbangan merupakan faktor kedua terbesar, oleh karena itu standar massa acuan perlu dikondisikan terlebih dahulu di dekat timbangan yang akan dikalibrasi untuk memperkecil perbedaan suhu diantara keduanya. Terlihat juga bahwa ketidakpastian timbangan cenderung meningkat seiring dengan makin bertambahnya kapasitas timbangan.

Recommendation, International Organization of legal Metrology
 OIML R76-1, (1992): *Nonautomatic Weighing Instruments Part 1: Metrological and Technical requirements - Test*, International Recommendation, International Organization of legal Metrology

DAFTAR PUSTAKA

A. Picard, R.S Davis, M. Glaser, K. Fujii, (2008): *Revised Formula for The Density of Moist Air (CIPM-2007)*, Metrologia 45 p.149-155

David. A. Prowse, (1993): *The Calibration of Balances*, Commonwealth Scientific and Industrial research Organization, Australia

EURAMET/cg-18/v.01, (2007): *Guidelines On The Calibration Of Non-Automatic Weighing Instruments*, Calibration Guide

ISO Guide, (1993): *Guide to The Expression of Uncertainty in Measurement*, ISO

OIML R111-1, (2004): *Weight of Classes $E_1, E_2, F_1, F_2, M_1, M_{1-2}, M_2, M_{2-3}$ and M_3* , International Recommendation, International Organization of legal Metrology

OIML R74, (1993): *Electronic Weighing Instruments*, International