



STUDI ANALISIS KETIDAKPASTIAN HASIL KALIBRASI TIMBANGAN DAN MISTAR TERHADAP KEBERTERIMAAN PENGUJIAN GRAMATUR KERTAS

Darmawan^{a*}, Titik Istirohah^b

^aBalai Besar Pulp dan Kertas, Jalan Raya Dayeuh Kolot No 132 Bandung

^bUniversitas Negeri Malang, Jl. Semarang No.5 Malang

Diterima : 11 Agustus 2016, Revisi akhir : 23 Desember 2016, Disetujui terbit : 30 Desember 2016

STUDY ON ANALYSIS OF UNCERTAINTY OF CALIBRATED VALUE FOR BALANCE AND RULER FOR THE ACCEPTANCE OF PAPER GRAMMAGE TESTING

ABSTRACT

Study on analysis of uncertainty of calibrated value for balance and steel ruler for the acceptance of paper grammage testing that refers to SNI ISO 536 : 2010 (grammage testing method) and SNI 14-0440-2006 (paper and carton grammage) has been done. Testing instrument must be calibrated to ensure the testing value/measurement appropriate with expected specification refers to ISO 17025 : 2008. From calibration value gained conventional truth value and uncertainty of testing instrument. Uncertainty calculation refers to "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement"- ISO GUM, is a reference and measurement uncertainty evaluation method that have been received internationally. This reference is also one of reference documents in ISO 17025 : 2008 (competence requirements of examination and calibration laboratory). The evaluation test showed that the deviation value is less than 4%, so that it complies with the allowed tolerance which is also 4%. The result of testing evaluation and calibration showed that balance and ruler were used in Paper Testing Laboratory of Center for Pulp and Paper was appropriate with grammage testing prerequisite.

Keywords: calibration, uncertainty, grammage, accuracy, tolerance

ABSTRAK

Studi analisis ketidakpastian hasil kalibrasi timbangan dan mistar baja terhadap keberterimaan uji gramatur kertas yang mengacu pada SNI ISO 536 Cara uji gramatur dan SNI 14-0440-2006 Gramatur kertas dan karton telah dilakukan. Untuk menjamin hasil uji/ pengukuran sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan menurut ISO 17025 Syarat-syarat kompetensi Laboratorium Pengujian dan Laboratorium Kalibrasi maka alat uji/ukur harus dikalibrasi. Dari hasil kalibrasi diperoleh nilai kebenaran konvensional alat ukur beserta ketidakpastiannya. Perhitungan ketidakpastian mengacu pada ISO GUM "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", yang merupakan panduan dan metode evaluasi ketidakpastian pengukuran yang diterima secara internasional. Acuan ini juga sebagai salah satu dokumen acuan dalam ISO 17025. Dari hasil evaluasi hasil uji diperoleh penyimpangan kurang dari 4%, sehingga memenuhi toleransi yang diizinkan yaitu 4%. Kesimpulan dari studi ini menjelaskan bahwa timbangan dan mistar baja yang digunakan oleh Laboratorium Uji Kertas Balai Besar Pulp dan Kertas memenuhi syarat uji gramatur.

Kata kunci: kalibrasi, ketidakpastian, gramatur, akurasi, toleransi

* Alamat korespondensi :
E-mail: malikdarmawan@gmail.com

PENDAHULUAN

Kalibrasi adalah serangkaian kegiatan yang membentuk hubungan antara nilai yang ditunjukkan oleh instrumen pengukur atau sistem pengukuran atau nilai yang diwakili oleh bahan ukur dengan nilai-nilai yang sudah diketahui yang berkaitan dari besaran yang diukur dalam kondisi tertentu (Caciotta, 2008). Dari hasil kalibrasi diperoleh nilai kebenaran konvensional dari suatu alat ukur dan ketidakpastiannya. Ketidakpastian adalah suatu rentang yang didalamnya terdapat nilai-nilai yang mungkin merupakan nilai besaran ukur yang dicari. Suatu pengukuran tidak dapat menentukan nilai dengan tepat, yang dapat dilakukan hanya membuat perkiraan (Cox and Harris, 2006). Ketidakpastian pengukuran adalah hal yang terpenting dalam hasil pengukuran. Toleransi adalah besarnya kesalahan atau penyimpangan yang diizinkan dalam produk atau hasil kerja yang ditetapkan dalam desain, peraturan, standar dan lain lain sehingga ketidakpastian pengukuran digunakan untuk mengetahui apakah suatu produk memenuhi toleransi yang telah ditetapkan. Sumber-sumber ketidakpastian dari suatu pengukuran (pengujian/kalibrasi) diantaranya adalah standar/ alat ukur, benda ukur, peralatan, metode pengukuran, lingkungan, personel, dan sumber sumber lain (Meyer, 2007). Sumber-sumber ketidakpastian komponennya kemungkinan mempunyai satuan yang berbeda dengan satuan besaran ukur. Koefisien sensitivitas (c) mengkonversikan semua komponen ketidakpastian kedalam satuan yang sama dengan satuan besaran ukur, dan harus dipenuhi untuk menggabungkan ketidakpastian baku yang mempunyai satuan yang berbeda. Koefisien sensitivitas dapat dinyatakan dengan nilai 1 jika di dalam pengukuran besaran yang diperoleh mempunyai satuan yang sama dengan satuan besaran ukur. Koefisien sensitivitas dapat dijelaskan sebagai nilai koefisien yang menunjukkan kepekaan suatu variabel yang diperoleh dengan perhitungan diferensial dari suatu model matematis (JCGM 100, 2008; Mishra, 2009; Benke, Lowell and Hamilton, 2008). Uji gramatur kertas mengacu pada SNI ISO 536 : 2010 (cara uji gramatur) dan SNI 14-0440-2006 (gramatur kertas dan karton), yang didefinisikan sebagai massa dari suatu satuan luas tertentu dari kertas atau karton yang ditetapkan melalui cara uji yang spesifik. Perhitungan gramatur dapat dirumuskan dengan Persamaan (1).

$$g = \frac{m}{A} \times 10000 \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

- m* : massa uji, dinyatakan dalam gram (g)
- A* : luas contoh uji, dinyatakan dalam sentimeter persegi (cm²)
- g* : nilai gramatur, dinyatakan dalam gram per meter persegi (g/m²)

Dalam uji gramatur tersebut diperlukan 2 (dua) buah alat ukur utama yaitu timbangan dan mistar baja. Timbangan digunakan untuk pengukuran massa dalam gram (g), dan mistar untuk pengukuran panjang pada penentuan luas sampel. Dalam uji gramatur, sumber ketidakpastian diperoleh dari : ketidakpastian alat uji/ukur, ketidakpastian pengulangan, dan ketidakpastian daya baca. Sumber ketidakpastian alat uji / ukur adalah ketidakpastian timbangan dan ketidakpastian mistar baja. Evaluasi ketidakpastian dihitung untuk mengetahui pemenuhan terhadap toleransi hasil uji gramatur sesuai SNI ISO 536 : 2010 dan SNI 14-0440-2006. Persyaratan ketelitian timbangan adalah 0,5% dan resolusi 0,2 % dari massa yang ditimbang. Mistar yang digunakan harus dapat memenuhi syarat bahwa toleransi luas yang di peroleh dari hasil pengukuran panjang oleh mistar sebesar 1%. Toleransi gramatur beberapa jenis kertas yang diizinkan dapat dilihat pada Tabel 1, sedangkan untuk pemenuhan terhadap toleransi pada Tabel 2 perlu dilakukan studi analisis ketidakpastian timbangan dan mistar terhadap keberterimaan uji gramatur kertas.

Tabel 1. Data toleransi gramatur

Gramatur, g/m ²	Toleransi, %
di bawah 28	± 7
35	± 6
45 – 55	± 5
di atas 60	± 4

Sumber : SNI 14-0440-2006

Tabel 2. Toleransi gramatur kertas

Jenis Kertas	Lainer	Medium	Cetak Tanpa Salut
	125	112	50
	150	125	-
Gramatur	200	150	-
	275	160	-
	300	175	120
Toleransi	± 4 %		

Sumber : SNI 0095:2012; SNI 14-0094-2006; SNI 8126:2014

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan untuk studi ini adalah 3 jenis kertas yaitu kertas cetak tanpa salut, kertas medium dan kertas liner yang masing-masing diperoleh dari industri kertas di daerah Jawa Barat.

Peralatan

Pada studi ini digunakan timbangan elektronik merk / tipe Sartorius / TE 214S, kapasitas 210g, resolusi 0,0001 g. Mistar yang digunakan adalah Mistar baja, Merk / Tipe : Krisbow / KW011-651, Kapasitas : 0 – 300 mm, Resolusi : 1 mm. Peralatan lain yang digunakan adalah massa standar terkalibrasi, tissue, pinset, sarung tangan, kalkulator, tas penyimpanan standar, Digimatic Scale terkalibrasi, Kaca Pembesar (LUP), Thermohyrometer, Wash Bensin. (Caciotta, 2008)

Metode

a. Metode Kalibrasi Alat Timbang

Metode kalibrasi alat timbangan mengacu pada Prowse, 2007; ISO/IEC GUIDE 98-3:2008. Angka ketidakpastian kalibrasi timbangan dapat dilihat pada Tabel 3, yang perhitungannya menggunakan persamaan (2) s/d persamaan (9). Perhitungan nilai ketidakpastian pada pengukuran kalibrasi alat timbangan dilakukan menggunakan persamaan (2) sampai dengan persamaan (9) berikut:

1. Persamaan perhitungan nilai koreksi

$$K_i = M_{Si} - (\overline{M}_i - \overline{0}_i) \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

K_i : nilai koreksi untuk titik pengukuran ke-i

M_{Si} : nilai konvensional standar massa untuk titik pengukuran ke-i

\overline{M}_i : nilai rata-rata pembacaan berulang dengan beban untuk titik pengukuran ke-i

$\overline{0}_i$: nilai rata-rata pembacaan tanpa beban untuk titik pengukuran ke-i.

2. Persamaan perhitungan nilai ketidakpastian Pengulangan Pembacaan (u_1)

$$u_1 = \frac{\sigma_{\max}}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

σ_{\max} : standar deviasi maksimum
n : banyaknya pengambilan data

3. Persamaan perhitungan ketidakpastian Massa Standar (u_2)

$$u_2 = \frac{U_{S_{\max}}}{2} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan :

$U_{S_{\max}}$: ketidakpastian terbesar dari masa standar yang digunakan

4. Persamaan untuk perhitungan nilai ketidakpastian pembacaan skala timbangan (u_3)

$$u_3 = \frac{0,5R}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan :

R : resolusi (skala baca terkecil) timbangan.

Tabel 3. Ketidakpastian kalibrasi timbangan

Komponen	Simbol	Satuan	Distribusi	Pembagi	Koefesien Sensitivitas
Repeatability	u_1	mg	t-student	$2^{0.5}$	1
Alat Std	u_2	mg	Normal	2	1
Resolusi	u_3	mg	Rectangular	$3^{0.5}$	1
Buoyancy	u_4	mg	Rectangular	$3^{0.5}$	1
Drift Std	u_5	mg	Rectangular	1	1

5. Persamaan perhitungan nilai ketidakpastian dari pengaruh *buoyancy* udara (Malengo, 2014) (u_4).

Pengaruh *buoyancy* udara terhadap pembacaan timbangan diasumsikan mempunyai semi-range 1 ppm, dengan distribusi rectangular.

$$u_4 = \frac{10^{-6} \times \text{massa no min al}}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (6)$$

6. Persamaan perhitungan nilai ketidakpastian drift massa standar (Mayr *et al.*, 2013) (u_5)

$$u_5 = 8\% \times MPE \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan :

MPE : nilai maksimum kesalahan yang masih diperbolehkan.

7. Persamaan perhitungan nilai ketidakpastian kombinasi (ISO, 2008 ; Kammeyer and Rueger, 2008) (u_c)

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2 + c_3^2 u_3^2 + c_4 u_4^2 + c_5^2 u_5^2} \dots\dots\dots (8)$$

8. Persamaan perhitungan ketidakpastian diperluas (U_{95}).

Ketidakpastian yang dilaporkan adalah ketidakpastian bentangan dengan tingkat kepercayaan 95%, dengan faktor cakupan $k=2$.

$$U_{95} = k \cdot u_c \dots\dots\dots (9)$$

b. Metode Kalibrasi Alat Mistar Baja

Kalibrasi alat mistar baja dilakukan dengan mengacu pada : JIS 7516-2005 dan JGCM ,2008. Angka ketidakpastian kalibrasi mistar baja dapat dilihat pada tabel 4, yang perhitungannya menggunakan persamaan 10 s/d persamaan 21. Perhitungan nilai ketidakpastian pada pengukuran kalibrasi alat mistar baja dilakukan menggunakan persamaan (10) sampai dengan persamaan (18) berikut (Les Kirkup, 2006; JCGM 100, 2008)

9. Persamaan perhitungan nilai koreksi

$$C_i = L_s (1 + \alpha_s \Delta t) - L \dots\dots\dots (10)$$

Keterangan :

C_i : koreksi yang dihitung untuk titik pengukuran ke-i

L_s : penunjukkan alat standar untuk titik pengukuran ke-i

L : penunjukkan mistar baja yang dikalibrasi untuk titik pengukuran ke-i

Δt : perbedaan suhu dengan suhu pada sertifikat kalibrasi alat standar.

α_s : koefisien muai alat standar

10. Persamaan perhitungan nilai ketidakpastian Pengulangan Pembacaan (u_1)

Ketidakpastian pengulangan pembacaan diambil dari satu titik pengukuran yang menghasilkan perbedaan data terbesar.

$$u_1 = \frac{X_{MAX} - X_{MIN}}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (11)$$

Tabel 4. Sumber ketidakpastian kalibrasi mistar baja

Komponen	Simbol	Satuan	Distribusi	Pembagi	Koefisien Sensitivitas
Repeatability	u1	µm	Rectangular	3 ^{0.5}	1
Alat Std	u2	µm	Normal	2	1
Daya baca	u3	µm	Rectangular	3 ^{0.5}	1
Drift Std	u4	µm	Rectangular	3 ^{0.5}	1
Suhu	u5	°C	Rectangular	3 ^{0.5}	Lsas
Geometris	u6	µm	Rectangular	3 ^{0.5}	1
Beda Koefisien Muai	u7	µm	Rectangular	3 ^{0.5}	Ls Δt
Mekanik	u8	µm	Rectangular	3 ^{0.5}	1

koefisien sensitivitas (c_1) bernilai 1

Keterangan :

X_{MAX} : penunjukkan nilai maksimum

X_{MIN} : penunjukkan nilai minimum

11. Persamaan perhitungan nilai ketidakpastian Alat Standar (u_2)

$$u_2 = \frac{U_s}{k} \dots\dots\dots (12)$$

koefisien sensitivitas (c_2) bernilai 1

Keterangan :

U_s : ketidakpastian alat standar yang tercantum dalam sertifikat kalibrasi

12. Persamaan perhitungan ketidakpastian pembacaan skala alat ukur (u_3).

a. untuk skala baca digital : $u_3 = \frac{0,5R}{\sqrt{3}}$ (13)

b. untuk skala baca analog : $u_3 = 0,5x \text{ Daya Baca}$ (14)

Keterangan :

R : skala baca terkecil (resolusi)
 Daya baca = $(1/2)xR$; $(1/5)xR$; $(1/10)xR$
 koefisien sensitivitas (c_3) bernilai 1

13. Persamaan perhitungan nilai ketidakpastian pengaruh suhu (u_4)

$$u_4 = \frac{\Delta t}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (15)$$

koefisien sensitivitas (c_4) diperoleh dari diferensiasi model matematis sebesar $L_s \alpha_s$,

Keterangan :

Δt : variasi suhu yang terjadi selama pengukuran.
 L_s : nilai nominal terbesar dari alat standar yang digunakan dalam pengukuran
 α_s : koefisien muai alat standar.

14. Persamaan perhitungan nilai ketidakpastian dari Geometris (Meyer, 2007) (u_5)

Ketidakpastian dari bentuk geometris akibat pemasangan mistar standar pada mistar yang akan dikalibrasi, diestimasikan sebesar $\pm 0,5 \mu\text{m}$, dengan asumsi distribusi segi empat, maka ketidakpastiannya adalah:

$$u_5 = \frac{0,5}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (16)$$

koefisien sensitivitas (c_5) bernilai 1

15. Persamaan perhitungan nilai ketidakpastian drift alat standar (u_6)

$$u_6 = \frac{d}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (17)$$

koefisien sensitivitas (c_6) bernilai 1

Keterangan :

d : perubahan linear dari nilai konvensional mistar standar terhadap data sertifikat kalibrasi sebelumnya .

16. Persamaan perhitungan nilai ketidakpastian baku perbedaan koefisien muai (u_7)

Alat standar dan alat yang dikalibrasi diasumsikan terbuat dari stainless steel, rentang batas koefisien muainya adalah $\pm 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Sehingga rentang batas karena perbedaan muai adalah $\pm 2.10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Dengan asumsi mempunyai distribusi rectangular. Dengan koefisien sensitivitas (c_7) adalah $L_s \Delta t$, dimana L_s adalah tebal standar terbesar yang digunakan dalam pengukuran dalam satuan μm , dan Δt adalah perbedaan suhu dengan suhu disertifikat kalibrasi alat standar dalam satuan $^\circ\text{C}$.

$$u_7 = \frac{2.10^{-6}}{\sqrt{3}} (^\circ\text{C}^{-1}) \dots\dots\dots (18)$$

17. Persamaan perhitungan nilai ketidakpastian pengaruh mekanik (u_8)

$$u_8 = \frac{\text{resolusi}}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (19)$$

koefisien sensitivitas (c_8) bernilai 1

Persamaan perhitungan nilai ketidakpastian kombinasi (u_c)

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2 + c_3^2 u_3^2 + c_4^2 u_4^2 + c_5^2 u_5^2 + c_6^2 u_6^2 + c_7^2 u_7^2 + c_8^2 u_8^2} \dots\dots\dots (20)$$

18. Persamaan perhitungan nilai ketidakpastian kombinasi (u_c)

19. Model matematis untuk perhitungan ketidakpastian diperluas (U_{95}) :

$$U = k \cdot u_c \dots\dots\dots (21)$$

Ketidakpastian yang dilaporkan adalah ketidakpastian diperluas dengan tingkat kepercayaan 95% faktor cakupan, $k=2$.

c. Metoda Uji Kertas dengan Timbangan & Mistar Baja

Pengujian kertas dilakukan pada 3 jenis kertas, yaitu kertas cetak tanpa salut, kertas medium dan kertas liner. Terhadap ketiga kertas tersebut dilakukan uji gramatur sesuai SNI ISO 536 : 2010. Sebelum proses pengujian gramatur, dilakukan pengkondisian terhadap sampel kertas dalam ruangan uji selama 24 jam dan selanjutnya dapat dilakukan preparasi sampel. Tiap sampel kertas dipotong sebanyak 20 lembar dengan ukuran 10 x 10 cm, dan masing-masing potongan diukur luasnya dengan mistar yang telah terkalibrasi. Kemudian sampel diberi penamaan sebagai berikut:

Kertas cetak tanpa salut : A1, A2, . . . , A20

Kertas Medium : B1, B2, . . . , B20

Kertas Lainer : C1, C2, . . . , C20

Pengujian gramatur dilakukan dua tahap, tahap yang pertama yaitu dengan menimbang masing-masing sampel satu kali untuk mengetahui gramatur sampel, dan tahap yang kedua yaitu dengan menimbang salah satu bahan uji dari masing-sampel sebanyak 20 kali pengulangan (sampel A1, B1 dan C1) untuk mengetahui kinerja pengulangan alat. Data yang diperoleh dari uji gramatur dianalisis penyimpangannya dengan menghitung seluruh kontribusi ketidakpastian, yaitu ketidakpastian Timbangan (u_1); ketidakpastian Mistar (u_2);

ketidakpastian pengulangan (u_3). Dengan ketidakpastian kombinasinya adalah sebagai berikut :

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2 + c_3^2 u_3^2} \dots\dots\dots (22)$$

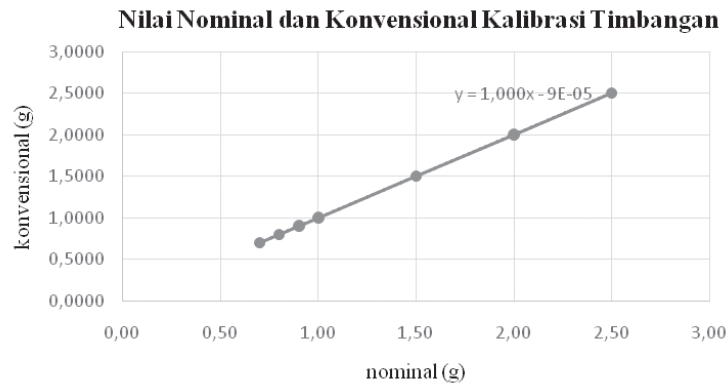
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Kalibrasi Timbangan dan Mistar

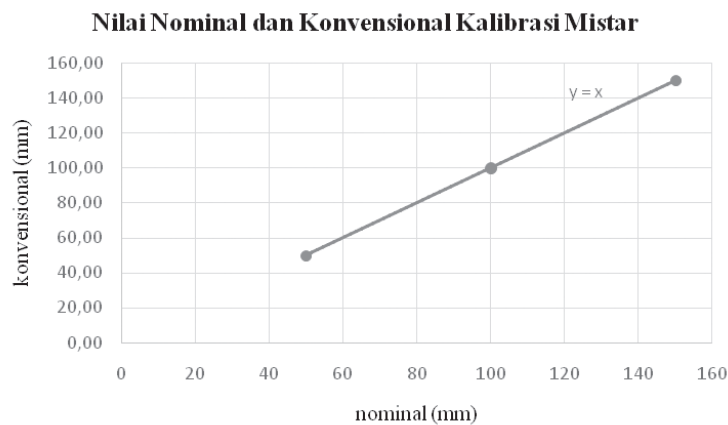
Hasil analisis kalibrasi timbangan ditampilkan dalam kurva persamaan garis lurus antara nilai nominal dan konvensional dari massa standar (Gambar 1). Nilai pembacaan nominal awal alat timbang yang diperoleh adalah dalam bentuk desimal yang kemudian dikonversikan dalam bilangan bulat agar mudah digunakan oleh pengguna. Hasil analisis kalibrasi mistar ditampilkan dalam grafik pada Gambar 2. Hasil analisis kalibrasi timbangan dan mistar pada Gambar 1 dan Gambar 2, digunakan pada analisis hasil uji kertas. Ketidakpastian yang diperoleh untuk kalibrasi timbangan adalah $\pm 0,1$ mg dan ketidakpastian kalibrasi mistar baja adalah ± 1 mm.

Hasil Uji Gramatur Kertas

Pengujian dilakukan dalam dua tahap yang bertujuan mengetahui nilai gramatur sampel kertas dan kinerja keberulangan alat yang telah dikalibrasi. Gramatur dari masing-masing sampel kertas didapatkan dengan menghitung massa yang diperoleh dari penimbangan yang dikonversikan dalam nilai massa sebenarnya menggunakan persamaan yang telah diperoleh pada hasil kalibrasi (Gambar 1). Massa dari setiap bahan uji memiliki nilai yang bervariasi dikarenakan tingkat kehomogenan kertas rendah. Dalam perhitungan gramatur sampel, selain dilakukan pengkonversian massa dilakukan juga konversi luas dengan mengkonversi nilai panjang dan lebar sesuai dengan hasil kalibrasi mistar (Gambar 2).



Gambar 1. Grafik hasil kalibrasi timbangan



Gambar 2. Grafik hasil kalibrasi mistar baja

Pada pengujian gramatur tahap kedua yaitu dengan melakukan penimbangan sampel A1, B1 dan C1 sebanyak 20 kali pengulangan. Dari nilai massa setiap sampel kemudian ditentukan standar deviasinya. Massa rata-rata dari masing-masing sampel dikonversikan sesuai persamaan hasil kalibrasi timbangan, dan luas yang telah dikonversi juga. Hasil massa dan luas yang telah dikonversi kemudian dapat digunakan untuk mengetahui nilai gramatur sampel (g/m^2).

Ketidakpastian dari hasil pengukuran gramatur berkontribusi oleh 3 sumber ketidakpastian, yaitu U_1 , U_2 dan U_3 yang didapatkan dari persamaan berikut (United Kingdom Accreditation Service, 2007; Meyer, 2007):

1. Ketidakpastian Timbangan (U_1)

u_1 = ketidakpastian kalibrasi (g)

$$g = \frac{m}{A} = \frac{m}{p.l} = m.l^2 = m.l^{-2}$$

Dengan koefisien sensitivitas:

$$c_1 = \frac{\partial g}{\partial m} = \frac{1}{A}$$

$$u_1 = \frac{U_1}{k} \dots\dots\dots (23)$$

Keterangan :

- g : gramatur (g/m^2)
- m : massa (gram)
- A : luas sampel (m^2)
- p : panjang (m)
- l : lebar (m)
- k : faktor cakupan (bernilai 2)

2. Ketidakpastian Mistar (U₂)

U₂ = Ketidakpastian kalibrasi Mistar

Dengan koefisien sensitivitas :

$$c_2 = \frac{\partial g}{\partial l} = \frac{-2m}{l^3}$$

$$u_2 = \frac{U_2}{k} \dots\dots\dots (24)$$

3. Ketidakpastian Pengulangan (U₃)

$$u_3 = \frac{SD}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots (25)$$

Ketidakpastian kombinasinya yaitu:

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2 + c_3^2 u_3^2} \dots\dots\dots (26)$$

Ketidakpastian diperluas:

$$U_{95} = k \cdot u_c \dots\dots\dots (27)$$

Ketidakpastian yang diperluas atau ketidakpastian bentangan yang dilaporkan adalah dengan tingkat kepercayaan 95% dan faktor cakupan k=2. Data yang telah diperoleh kemudian diolah dengan persamaan gramatur sesuai SNI ISO 536 : 2010 (Persamaan 1), dan nilai ketidakpastian ditentukan dengan persamaan (23) sampai dengan persamaan (27). Hasil uji yang diperoleh ditampilkan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Uji Gramatur Kertas

Jenis Kertas	Cetak Tanpa Salut	Medium	Lainer
Gramatur, (g/m ²)	81,984	127,033	202,339
SD	0,041	0,070	0,114
u ₁	0,002	0,002	0,002
u ₂	-0,164	-0,254	-0,405
u ₃	0,009	0,016	0,025
u _c	0,083	0,128	0,204
U ₉₅	0,33	0,51	0,81

Hasil pengukuran gramatur kertas cetak tanpa salut adalah (81.984 ± 0.33) g/m² dengan penyimpangan maksimum adalah (1.984+ 0.33) = 2.314 g/m² atau 2.9% dari gramatur 80 g/m².

Hasil pengukuran gramatur kertas medium adalah (127.033 ± 0.51) g/m² dengan penyimpangan maksimum adalah (2.033 + 0.51) = 2.543 g/m² atau 2.04% dari gramatur 125 g/m², dan hasil pengukuran gramatur kertas lainer adalah (202.339 ± 0.81) g/m² dengan penyimpangan maksimum adalah (2.339 + 0.81) = 3.149 g/m² atau 1.57% dari gramatur 200 g/m²

KESIMPULAN

Hasil uji gramatur dari tiga contoh kertas yang terdiri dari kertas cetak tanpa salut, kertas medium dan kertas lainer masing-masing menunjukkan adanya penyimpangan yang rendah kurang dari 4%, yang artinya masuk dalam kriteria memenuhi toleransi yang diizinkan sesuai SNI ISO 536 : 2010. Hal tersebut menjelaskan bahwa peralatan timbangan dan mistar baja yang digunakan oleh Laboratorium Uji kertas Balai Besar Pulp dan Kertas memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai alat uji gramatur.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kepala Bidang Pengujian, Sertifikasi dan Kalibrasi, Kepala Seksi Kalibrasi, Kepala Seksi Pengujian serta personel Laboratorium Kalibrasi dan Laboratorium Uji Kertas BBPK, atas dukungan dan kerjasamanya.

DAFTAR PUSTAKA

Benke, K. K., Lowell, K. E. and Hamilton, A. J. (2008) ‘Parameter uncertainty, sensitivity analysis and prediction error in a water-balance hydrological model’, *Mathematical and Computer Modelling*, 47(11–12), pp. 1134–1149.

Caciotta, M. (2008) ‘Informative calibration of the instrumentation’, *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 41(2), pp. 211–218.

Cox, M. G. and Harris, P. M. (2006) ‘Measurement uncertainty and traceability’, *Measurement Science and Technology*, 17(3), pp. 533–540.

ISO (2008) ‘Guide 98-3. Uncertainty of measurement - Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)’, *Guide 98-3*, p. 130.

JCGM 100 (2008) ‘JCGM 100:2008 - Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement’, *International Organization for Standardization Geneva ISBN*, 50(September), p. 134.

- Kammeyer, M. E. and Rueger, M. L. (2008) 'Estimation of the Uncertainty in Internal Balance Calibration Through Comprehensive Error Propagation', *26th AIAA Aerodynamic Measurement Technology and Ground Testing Conference*, (June), pp. 1–16.
- Les Kirkup, B. F. (2006) 'An Introduction to uncertainty in measurement using the GUM (Guide to the expression of uncertainty in measurement)', *Accreditation and Quality Assurance*, 12(1), p. 249.
- Malengo, A. (2014) 'Buoyancy effects and correlations in calibration and use of electronic balances', *Metrologia*, 51(5).
- Mayr, E., Hagg, W., Mayer, C. and Braun, L. (2013) 'Calibrating a spatially distributed conceptual hydrological model using runoff, Annual mass balance and winter mass balance', *Journal of Hydrology*, 478, pp. 40–49.
- Meyer, V. R. (2007) 'Measurement uncertainty', *Journal of Chromatography A*, pp. 15–24.
- Mishra, S. (2009) 'Uncertainty and sensitivity analysis techniques for hydrologic modeling', *Journal of Hydroinformatics*, 11, p. 282.
- United Kingdom Accreditation Service (2007) 'The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement', *Measurement*, 44(January), p. 28. Available at: <http://www.ukas.com/library/Technical-Information/Pubs-Technical-Articles/Pubs-List/M3003.pdf>.

