

ANALISIS HASIL VERIFIKASI STANDAR MASSA ANAK TIMBANGAN KELAS M1 DENGAN METODE PERBANDINGAN LANGSUNG

Nurti Lestari¹, Ratnaningtyas Widyani P.², Agus Joko P.³

UPTD Metrologi Legal

Dinas Koperasi, Usaha Mikro, Perindustrian dan Perdagangan Kabupaten Semarang

Email: lestarinurti@gmail.com¹, ratnaningtyaswp11@gmail.com², agusjacky2@gmail.com³

ABSTRAK

Kesalahan massa konvensional hasil pengujian anak timbangan yang digunakan sebagai standar untuk pelayanan tera/tera harus berada pada rentang Batas Kesalahan yang Diizinkan (BKD) sesuai rekomendasi internasional OIML R111-1 Tahun 2004, sementara ketidakpastian yang diperluas tidak boleh bernilai lebih besar dari 1/3 dari BKD nominal anak timbangan tersebut. Analisis hasil verifikasi mandiri anak timbangan uji kelas M1 meliputi parameter massa konvensional serta ketidakpastian, sehingga dapat digunakan untuk pelayanan tera/tera ulang. Metode yang digunakan dalam verifikasi anak timbangan kelas M1 adalah perbandingan langsung. Metode perbandingan langsung bertujuan membandingkan massa anak timbangan uji (UUT) dengan massa anak timbangan standar (ATS) yang memiliki akurasi satu tingkat lebih tinggi. Pada penelitian ini digunakan anak timbangan kelas M1 muatan 1 g – 1000 g sebagai UUT dan anak timbangan kelas F2 sebagai ATS. Proses pengujian dalam verifikasi anak timbangan kelas M1 menggunakan skema ABBA, di mana A merupakan anak timbangan standar dan B merupakan anak timbangan uji. Dari proses verifikasi, diketahui bahwa kontribusi nilai ketidakpastian terbesar berasal dari standar massa yang digunakan. Hasil verifikasi menyatakan bahwa kesalahan dan ketidakpastian seluruh unit muatan berada dalam rentang Batas Kesalahan yang Diizinkan oleh OIML dan Syarat Teknis. Hal tersebut menunjukkan anak timbangan uji memiliki kondisi baik dan dapat digunakan untuk pelayanan tera/tera ulang.

Kata kunci: *anak timbangan, ketidakpastian, massa konvensional, standar, verifikasi*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Berdasarkan Peraturan Menteri Perdagangan (Permendag) Nomor 52 Tahun 2019, standar satuan ukuran metrologi legal yang selanjutnya disebut standar ukuran adalah standar satuan besaran fisik berupa alat dan perlengkapannya atau bahan acuan dari

ukuran yang sah dipakai sebagai dasar pembandingan dalam kegiatan metrologi legal. Standar kerja adalah standar ukuran yang digunakan langsung secara rutin untuk melakukan pengujian Alat Ukur, Takar, Timbang dan Perlengkapannya (UTTP). Standar ukuran yang dikelola oleh laboratorium Unit Pelaksana Teknis Dinas (UPTD) Metrologi Legal Kabupaten Semarang berupa besaran panjang, massa

dan volume, sesuai dengan Surat Keterangan Kemampuan Pelayanan Tera dan Tera Ulang Nomor 57/PKTN.4/KKPTTU/7/2020.

Salah satu besaran massa yang digunakan untuk pelayanan tera/tera ulang adalah anak timbangan. Anak timbangan adalah benda ukur massa yang diatur berdasarkan karakteristik fisik dan kemetrologiannya yang meliputi: harga nominal, bahan, konstruksi, dimensi, massa jenis, kondisi permukaan, penandaan dan kesalahan maksimumnya. Dalam Surat Keputusan Direktur Jenderal Perlindungan Konsumen dan Tertib Niaga (SK Dirjen PKTN) Nomor 123 Tahun 2020 dijelaskan secara rinci tentang Syarat Teknis Standar Ukuran Metrologi Legal Besaran Massa.

Anak timbangan yang selama ini dikenal luas oleh masyarakat berupa anak timbangan yang digunakan untuk transaksi jual beli di pasar tradisional maupun modern. Biasanya anak timbangan digunakan sebagai satu kesatuan perangkat menimbang pada timbangan meja atau timbangan sentisimal. Kelas anak timbangan yang digunakan pada proses perdagangan tersebut adalah anak timbangan kelas M3 yang terbuat dari besi cor maupun kuningan.

Anak timbangan dengan ketelitian tinggi juga menjadi suatu persyaratan kelengkapan standar dalam sebuah laboratorium, begitu juga untuk laboratorium UPTD Metrologi Legal Kabupaten Semarang sehingga dapat melakukan pelayanan tera-tera ulang alat ukur, takar, timbang, dan peralatannya

(UTTP) yang ada di wilayah Kabupaten Semarang.

UPTD Metrologi Legal Kabupaten Semarang telah menerima Surat Keterangan Kemampuan Verifikasi Standar Kerja Secara Mandiri Nomor 0077/PKTN.4.3/SKV/08/2020 yang diterbitkan oleh Direktorat Metrologi pada 31 Agustus 2020, yang berarti telah berhak untuk melakukan pengujian verifikasi alat standar yang dimiliki secara mandiri untuk Anak Timbangan kelas M1, M2 serta Timbangan Elektronik. Keberhasilan verifikasi dikontrol oleh beberapa parameter yang harus sesuai dengan syarat kemetrologian yang berlaku, meliputi massa konvensional serta ketidakpastian, seperti diatur lebih lanjut dalam Syarat Teknis Nomor 123 Tahun 2020. Guna menjamin keseragaman dan kualitas tera/tera ulang, maka standar ukuran maupun standar kerja harus memiliki ketertelusuran. Menurut *Vocabulary of International Metrology* (2007), ketertelusuran adalah sifat hasil pengukuran yang dapat dikaitkan dengan standar yang sesuai, melalui rantai perbandingan yang tidak terputus. Ketertelusuran standar dapat dijamin dengan melakukan pengujian verifikasi secara berkala.

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis hasil verifikasi mandiri standar ukuran besaran massa berupa anak timbangan kelas M1, meliputi parameter massa konvensional serta ketidakpastian, sehingga dapat digunakan untuk pelayanan tera/tera ulang.

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam Permendag Nomor 52 Tahun 2019, kalibrasi adalah kegiatan yang dilakukan dalam kondisi tertentu untuk menentukan perbedaan antara nilai yang ditunjukkan pada alat ukur atau nilai standar ukuran dan nilai Standar Ukuran yang memiliki ketelitian lebih tinggi. Sementara verifikasi standar ukuran adalah serangkaian kegiatan yang dilakukan oleh penera atau pranata laboratorium untuk memastikan standar ukuran mampu telusur secara kemitrologian dan memenuhi syarat teknis. Mampu telusur dilakukan melalui kegiatan kalibrasi dan verifikasi standar ukuran secara berkala dengan jangka waktu tertentu.

Tata 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 (Hayu, 2010). Melalui proses kalibrasi akan diperoleh nilai kebenaran konvensional dari suatu alat ukur dan ketidakpastiannya (Darmawan dan Titik, 2016).

Berdasarkan *The International Organization for Standardization (ISO) Guide 98* (2008), ketidakpastian pengukuran merupakan parameter hasil pengukuran yang memberikan karakter sebaran nilai-nilai yang secara layak dapat diberikan pada besaran ukur. Sementara sesuai dengan *ISO Guide 99* (2007) ketidakpastian pengukuran adalah parameter non-negatif yang menggambarkan sebaran nilai kuantitatif suatu besaran ukur berdasarkan informasi

yang digunakan. Parameter tersebut menunjukkan rentang di mana nilai benar dari suatu hasil pengukuran berada, sehingga dapat dijadikan salah satu cara untuk menggambarkan mutu hasil pengukuran. Massa konvensional bukan merupakan nilai massa yang mutlak, namun penting dalam perhitungan metrologi massa. Tingkat ketelitian massa konvensional diatur dengan dokumen OIML, sehingga penting untuk memastikan kelas anak timbangan dengan tepat (Lee dan Kwang, 2013).

METODE PENELITIAN

Metode perbandingan langsung adalah salah satu metode untuk menguji/mengkalibrasi anak timbangan. Prosedur pengujian menggunakan metode ini secara sederhana adalah dengan membandingkan anak timbangan uji dengan anak timbangan standar yang massa nominalnya sama. Anak timbangan standar yang digunakan minimal satu kelas lebih tinggi dari anak timbangan uji. Secara lebih detail, pengujian menggunakan metode ini adalah mencari massa konvensional anak timbangan uji dengan cara menambahkan massa konvensional anak timbangan standar dengan selisih penimbangan anak timbangan uji dan anak timbangan standar. Anak timbangan uji selanjutnya disebut UUT (*Unit Under Test*) dan anak timbangan standar disebut ATS.

Massa konvensional anak timbangan standar diperoleh dari data sertifikatnya, sedangkan selisih penimbangan diperoleh dari menimbang anak timbangan standar dan uji dengan seri ABBA (Standar-Uji-

Uji-Standar), di mana A adalah ATS dan B adalah UUT.

Siklus dan jumlah pengulangan siklus (seri) disesuaikan dengan kelas anak timbangan yang diverifikasi dengan ketentuan sebagai mana tabel berikut.

Tabel 1. Siklus penimbangan sesuai kelas anak timbangan

| Kelas | Siklus Penimbangan | Jumlah Seri Minimum |
|--|---|---------------------|
| E ₁ & E ₂ | ABBA | 3 |
| F ₁ & F ₂ | ABBA | 2 |
| M ₁ , M ₂ & M ₃ | ABBA atau AB ₁ B ₂ B ₃ B ₄ B ₅ A | 1 |

Penelitian ini menggunakan siklus penimbangan ABBA dengan jumlah seri minimum satu kali disesuaikan dengan kelas Anak Timbangan yang diverifikasi yaitu kelas M₁.

Alat dan Bahan

Peralatan utama yang digunakan untuk pengujian verifikasi berupa timbangan elektronik dan anak timbangan standar. Timbangan elektronik harus memiliki kapasitas yang sesuai dengan nominal anak timbangan uji. Resolusi timbangan elektronik maksimum 1/3 dari Batas Kesalahan yang Diizinkan (BKD) anak timbangan yang diuji. Spesifikasi peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Timbangan elektronik



Gambar 1. Timbangan Elektronik Mettler Toledo Kapasitas 6.200 gram

Timbangan elektronik kelas II dengan merek Mettler Toledo, tipe JS6002G, nomor seri B51966083, kapasitas 6.200 g dan daya baca 0,01 g



Gambar 2. Mettler Toledo Kapasitas 220 gram

Timbangan elektronik kelas II dengan merek Mettler Toledo, tipe ME204, nomor seri B851966118, kapasitas 220 g dan daya baca 0,0001 g.

Anak Timbangan Standart F2



Gambar 3. Anak Timbangan Kelas F2

Anak Timbangan kelas F2 sebagai standar dengan merek ASW, nomor seri 111134095, massa nominal 1 g – 1 kg dan berbahan *stainless steel*.

Peralatan tambahan meliputi kaos tangan, pinset, kuas halus, tisu halus, termohyrometer, alkohol, log book, timah justir dan amplas halus.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Anak Timbangan M1 sebagai *Unit Under Test* (UUT) dengan spesifikasi sebagai berikut:



Gambar 4 Timbangan elektronik kelas M1

Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan sesuai dengan Surat Keputusan Direktur Jenderal Perlindungan Konsumen dan Tertib Niaga (SK Dirjen PKTN) Nomor 123 Tahun 2020 tentang Standar Ukuran Besaran Massa, meliputi beberapa tahap sebagai berikut.

1. Persiapan Verifikasi

Langkah-langkah yang dilakukan sebelum pengujian adalah sebagai berikut:

- a. Mencatat spesifikasi anak timbangan yang diverifikasi (UUT) pada cerapan yang telah disediakan.
- b. Mengkondisikan anak timbangan di dalam ruangan bersama-sama dengan anak timbangan Standar dan timbangan elektronik dalam rentang waktu satu jam.
- c. UUT dibersihkan dengan kain atau kuas.
- d. Menggunakan timbangan elektronik Mettler Toledo kelas II dengan kapasitas 6.200 g dan resolusi 0,01 g untuk pengujian muatan 500 g dan 1000 g. Timbangan elektronik Mettler Toledo dengan kapasitas 220 g dan resolusi 0,0001 g untuk pengujian muatan 1 g sampai 200 g.
- e. Memastikan timbangan elektronik yang akan digunakan berfungsi dengan baik dan indikator kedataran telah menunjuk dengan sesuai.
- f. Memastikan ruangan penimbangan dalam keadaan terkondisi dengan rentang suhu 18°C-23°C dan kelembaban 40-60 % suhu.

g. Mencatat kondisi ruang penimbangan selama verifikasi pada cerapan di awal dan akhir dengan fluktuasi perubahan temperatur $\pm 3,0^{\circ}\text{C/h}$ dan $\pm 5,0^{\circ}\text{C/12 h}$ dan kelembaban 40% - 60%, diff 20%/4h.

2. Pengambilan Data

Langkah-langkah pengambilan data adalah sebagai berikut:

- a. Catat nilai massa konvensional ATS pada sertifikat (m_{cr})
- b. Letakkan Anak Timbangan Standar pada lantai muatan timbangan elektronik.
- c. Setelah penunjukkan stabil, tekan tombol Tare/Zero (T/0) sehingga penunjukkan timbangan elektronik menjadi nol.
- d. Angkat ATS dari lantai muatan timbangan elektronik, tunggu sekitar lima sekon lalu letakkan ATS kembali ke lantai muatan timbangan elektronik.
- e. Catat penunjukan timbangan elektronik setelah penunjukannya stabil (I_{r1}).
- f. Turunkan ATS, tunggu sekitar lima sekon, kemudian letakkan UUT (*unit under test*) pada lantai muatan timbangan elektronik.
- g. Catat penunjukan Timbangan elektronik setelah penunjukannya stabil (I_{t1}).
- h. Angkat UUT, tunggu sekitar lima sekon, kemudian naikan UUT kembali.
- i. Catat penunjukan timbangan elektronik setelah penunjukannya stabil (I_{t2}).

j. Turunkan UUT, tunggu sekitar lima sekon, kemudian timbang ATS.

k. Catat untuk yang kedua kalinya penunjukkan timbangan elektronik setelah stabil (I_{r2}).

l. Hitung nilai deviasi massa B terhadap A (ΔI)

m. Bandingkan nilai kesalahan terhadap BKD anak timbangan.

Jika parameter massa konvensional dan ketidakpastian tidak memenuhi, lakukan perbaikan ringan (penjustiran) yang sesuai.

Proses Verifikasi

Analisis data proses verifikasi dilakukan dengan referensi *Organisation Internationale de Metrologie Legale* (OIML) R 111-1 (2004), *Joint Committee for Guide in Metrology* (JCGM) 100 (2008) dan Syarat Teknis Nomor 123 Tahun 2020. Siklus pengujian pada metode perbandingan langsung verifikasi Anak Timbangan menggunakan skema ABBA, di mana A merupakan anak timbangan standar (ATS) dan B menyatakan anak timbangan yang diuji/*Unit Under Test* (UUT).

Model matematika untuk perhitungan perbedaan massa UUT terhadap ATS dirumuskan dengan persamaan di bawah ini.

$$\Delta I = \frac{I_{t1} - I_{r1} + I_{t2} - I_{r2}}{2} \dots\dots\dots(1)$$

Di mana:

ΔI = deviasi massa UUT terhadap ATS

I_t = penunjukan timbangan saat dimuati

UUT

I_r = penunjukan timbangan saat dimuati
ATS

Massa konvensional adalah nilai massa hasil penimbangan di udara pada kondisi konvensional yaitu suhu 20°C, massa jenis udara sebesar 1,2 kg/m³, dan massa jenis benda yang ditimbang sebesar 8000 kg/m³. Perhitungan massa konvensional diperoleh melalui persamaan berikut.

$$m_{ct} = \Delta I + m_{cr} \dots\dots\dots(2)$$

Di mana

m_{ct} = massa konvensional UUT (B)

m_{cr} = massa konvensional ATS (A)

Kesalahan didefinisikan sebagai hasil pengujian dikurangi dengan nilai sebenarnya dan standar pembanding (nilai konvensional). Massa nominal adalah nilai yang dipergunakan untuk menandai karakteristik atau sebagai petunjuk massa suatu benda. Nilai kesalahan anak timbangan dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$E = m_o - m_{cr} \dots\dots\dots(3)$$

Di mana:

E = kesalahan anak timbangan yang diverifikasi

m_o = massa nominal

Ketidakpastian adalah suatu nilai yang menunjukkan sebaran hasil pengukuran yang dikaitkan dengan besaran yang diukur. Sumber ketidakpastian diperoleh dari beberapa faktor, yaitu:

Kemampuan ulang penimbangan (repeatability)

Ketidakpastian akibat pengulangan penimbangan merupakan standar deviasi selisih dari penimbangan anak timbangan yang diuji terhadap anak timbangan standar. Untuk verifikasi anak timbangan kelas M yang dilakukan kurang dari tiga seri penimbangan.....ABBA.....(2) maka penggunaan standar deviasi tersebut tidak direkomendasikan sehingga persamaan yang digunakan adalah

$$u_R = \frac{\max(I_t - I_r) - \min(I_t - I_r)}{2 \times \sqrt{3}} \dots\dots\dots(4)$$

Di mana:

u_R = ketidakpastian akibat pengulangan timbangan

Persamaan (4) digunakan dengan derajat kebebasan ν_R ditentukan bernilai 50 dengan asumsi tingkat kepercayaan 95%. Koefisien sensitivitas C_R bernilai 1.....(3)

Sertifikat anak timbangan standar

Terdapat dua komponen ketidakpastian akibat penggunaan anak timbangan, yaitu berdasarkan sertifikat kalibrasi dan drift anak timbangan standar. Perhitungan ketidakpastian berdasarkan sertifikat kalibrasi anak timbangan standar diberikan oleh persamaan berikut.

$$u_S = \frac{u_{ser}}{k} \dots\dots\dots(5)$$

Di mana:

u_S = ketidakpastian akibat sertifikat kalibrasi

u_{ser} = ketidakpastian ATS sesuai sertifikat

Derajat kebebasan berdasarkan sertifikat kalibrasi ϑ_5 ditentukan sebesar 200 untuk tingkat kepercayaan 95% dengan nilai $k = 2$ dan koefisien sensitivitas C_5 bernilai 1.

Drift anak timbangan standar

Drift anak timbangan standar merupakan kecenderungan ketidakstabilan nilai massa konvensional ATS yang ditentukan dari beberapa sertifikat kalibrasi atau dapat diestimasi dari hasil cek antara.

$$u_{drift} = \frac{Std\ deviasi}{2\sqrt{3}} \dots\dots\dots(6)$$

Di mana u_{drift} adalah nilai ketidakpastian drift ATS. Std deviasi merupakan nilai standar deviasi yang ditentukan dengan persamaan

$$Std\ deviasi = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta l_i - \bar{\Delta l}_i)^2} \dots\dots\dots(7)$$

Nilai derajat kebebasan drift ϑ_{drift} ditentukan sebesar 50 dengan asumsi tingkat kepercayaan 90%. Koefisien sensitivitas untuk kedua komponen tersebut C_{drift} bernilai 1.

Daya baca timbangan elektronik

Ketidakpastian yang diakomodasi akibat pembacaan digit timbangan elektronik atau akibat resolusi ditentukan sebagai berikut.

$$u_{res} = \frac{d/2}{\sqrt{3}} \sqrt{2} \dots\dots\dots(8)$$

Faktor pengali $\sqrt{2}$ sebagai akibat pembacaan timbangan elektronik 2 kali, yaitu saat ATS dinaikkan dan saat UUT naik. Derajat kebebasan ϑ_{res} ditentukan

sebesar 50 dengan asumsi tingkat kepercayaan 95%. Koefisien sensitivitas akibat resolusi C_{res} timbangan bernilai 1

Buoyancy udara

Komponen yang berpengaruh pada ketidakpastian buoyancy adalah densitas udara ruangan. Densitas udara ruang penimbangan ditentukan sebesar nilai konvensional yaitu 1,2 kg/m³ dengan asumsi rentang nilai $\pm 10\%$. Nilai ketidakpastian akibat densitas udara u_B sebagai berikut.

$$u_B = \frac{0.12}{\sqrt{3}} \text{ kg/m}^3 \dots\dots\dots(9)$$

Derajat kebebasan ditentukan sebesar 50 sedangkan nilai koefisien sensitivitas ditentukan oleh rumus berikut.

$$C_B = m_{cr} \left(\frac{\rho_r - \rho_t}{\rho_r \rho_t} \right) \dots\dots\dots(10)$$

Di mana:

C_B = koefisien sensitivitas akibat buoyancy

ρ_r = densitas ATS

ρ_t = densitas UUT

Ketidakpastian gabungan

Ketidakpastian baku gabungan adalah gabungan ketidakpastian masing-masing unsur yang memberikan kontribusi pada ketidakpastian pengukuran. Ketidakpastian baku gabungan, nilainya sama dengan akar kuadrat positif dari jumlah semua suku yang merupakan varian atau kovarian bersama yang lain tersebut yang telah diberi bobot sesuai dengan bagaimana hasil perhitungan bervariasi terhadap perubahan bersama tersebut. Model matematika untuk

ketidakpastian standar gabungan sebagai berikut

$$u_c = \sqrt{(u_R c_R)^2 + (u_S c_S)^2 + (u_{drift} c_{drift})^2 + (u_{res} c_{res})^2 + (u_B c_B)^2} \dots(11)$$

Derajat bebas efektif

Derajat bebas efektif ν_{eff} diberikan dengan persamaan berikut :

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4}{\frac{(u_R c_R)^4}{\nu_R} + \frac{(u_S c_S)^4}{\nu_S} + \frac{(u_{drift} c_{drift})^4}{\nu_{drift}} + \frac{(u_{res} c_{res})^4}{\nu_{res}} + \frac{(u_B c_B)^4}{\nu_B}} \dots(12)$$

Ketidakpastian diperluas

Sementara ketidakpastian diperluas dirumuskan dengan persamaan

$$U = t_{95}(\nu_{eff}) \times u_c = k \cdot u_c \dots(13)$$

Penentuan Hasil Verifikasi

Penentuan hasil verifikasi berdasarkan rekomendasi internasional OIML R111-1 Tahun 2004 yang dituangkan dalam SK Dirjen PKTN Nomor 123 Tahun 2020 tentang Syarat Teknis Standar Ukuran Metrologi Legal Besaran Massa, verifikasi dinyatakan sah apabila parameter-parameter yang diuji memenuhi syarat kemetrologian sebagai berikut:

1. Batas Kesalahan yang diizinkan

Batas Kesalahan yang Diizinkan (BKD) adalah batas maksimum kesalahan anak timbangan yang diizinkan dalam kelasnya. Batas kesalahan pengujian yang diizinkan untuk anak timbangan kelas M1 adalah sebagai berikut:

Tabel 2. BKD untuk Anak Timbangan Kelas M1 muatan 1 g – 1000 g

| Massa Nominal | BKD (mg) | Massa Nominal | BKD (mg) |
|---------------|----------|---------------|----------|
| 1000 g | ± 50 | 20 g | ± 2,5 |
| 500 g | ± 25 | 10 g | ± 2,0 |
| 200 g | ± 10 | 5 g | ± 1,6 |
| 100 g | ± 5,0 | 2 g | ± 1,2 |
| 50 g | ± 3,0 | 1 g | ± 1,0 |

Sumber: Hasil Analisis, 2021

2. Ketidakpastian yang Diperluas

Pengujian anak timbangan harus dilaksanakan sedemikian rupa, sehingga ketidakpastian diperluas yang diperoleh maksimum 1/3 dari nilai BKD. Nilai ketidakpastian yang dihitung merupakan ketidakpastian diperluas pada tingkat kepercayaan 95% atau faktor cakupan sama dengan 2.

Tabel 3. Nilai Maksimum Ketidakpastian yang Diperluas untuk Anak Timbangan Kelas M1 1 g – 1000 g

| Massa Nominal (g) | 1/3 BKD (mg) | Massa Nominal (g) | 1/3 BKD (mg) |
|-------------------|--------------|-------------------|--------------|
| 1000 | ± 16,667 | 20 | ± 0,833 |
| 500 | ± 8,333 | 10 | ± 0,667 |
| 200 | ± 3,333 | 5 | ± 0,533 |
| 100 | ± 1,667 | 2 | ± 0,4 |
| 50 | ± 1,0 | 1 | ± 0,333 |

Sumber: Hasil Analisis, 2021

Pelaporan Hasil Verifikasi

Sesuai dengan rekomendasi OIML R111-1 Tahun 2004, pelaporan hasil verifikasi dinyatakan dalam dua angka penting dengan pembulatan ke atas, kecuali untuk perubahan yang tidak signifikan

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pengujian verifikasi anak timbangan kelas M1 kapasitas 1 g sampai 1 kg dengan metode perbandingan langsung menghasilkan data pengamatan sebagai berikut.

Tabel 4. Data Pengujian ATS dan UUT Kapasitas 1 g – 1000 g

| Penunjukan Timbangan Elektronik | | | | |
|---------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| m_o | I_{r1} | I_{t1} | I_{t2} | I_{r2} |
| (g) | (g) | (g) | (g) | (g) |
| 1000 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 500 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 200 | 0.0000 | -0.0007 | -0.0020 | -0.0012 |
| 200* | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | -0.0004 |
| 100 | 0.0000 | 0.0015 | 0.0012 | 0.0000 |
| 50 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 20 | 0.0000 | 0.0006 | 0.0004 | 0.0000 |
| 20* | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 |
| 10 | 0.0000 | -0.0009 | -0.0008 | 0.0000 |
| 5 | 0.0000 | 0.0000 | -0.0001 | 0.0000 |
| 2 | 0.0000 | 0.0003 | 0.0001 | 0.0000 |
| 2* | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 1 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |

Sumber: Hasil Analisis, 2021

Tabel 4 merupakan data yang diperoleh dari penunjukan timbangan elektronik pada saat dimuati anak timbangan standar (ATS) dan *Unit Under Test* (UUT). Penyetelan TARE pada timbangan elektronik akan menghasilkan pembacaan lebih atau kurang dari massa nominal anak timbangan standar. Data hasil pengamatan tersebut

kemudian digunakan untuk perhitungan massa konvensional dan kesalahan penimbangan.

Massa Konvensional dan Kesalahan Pengukuran

Massa konvensional adalah hasil penimbangan di udara antara suatu benda dengan massa standar dengan massa jenis konvensional yang ditentukan pada temperatur konvensional, pada temperatur referensi yang massa jenis udaranya dipilih secara konvensional. Nilai ini diperoleh dengan perhitungan sesuai dengan persamaan (3). Nilai konvensional selanjutnya digunakan untuk perhitungan kesalahan, sehingga dapat disimpulkan apakah pengujian dinyatakan sah atau batal. Diharapkan kesalahan harus berada pada rentang Batas Kesalahan yang Diizinkan.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Massa Konvensional dan Kesalahan Penimbangan

| m_o | ΔI | m_{ct} | E | BKD |
|-------|------------|-----------|----------|--------------|
| (g) | (g) | (g) | (g) | (g) |
| 1000 | 0.00 | 1000.0025 | -0.0025 | ± 0.05 |
| 500 | 0.00 | 500.0026 | -0.0026 | ± 0.025 |
| 200 | -0.00075 | 199.99995 | 0.00005 | ± 0.01 |
| 200* | 0.0002 | 200.0010 | -0.0010 | ± 0.01 |
| 100 | 0.00135 | 100.00167 | -0.00167 | ± 0.005 |
| 50 | 0.0000 | 50.00068 | -0.00068 | ± 0.003 |
| 20 | 0.0005 | 20.00065 | -0.00065 | ± 0.0025 |
| 20* | 0.00005 | 20.00006 | -0.00006 | ± 0.0025 |
| 10 | -0.00085 | 9.99930 | 0.0007 | ± 0.002 |
| 5 | -0.00005 | 5.00003 | -0.00003 | ± 0.0016 |
| 2 | 0.0002 | 2.00028 | -0.00028 | ± 0.0012 |
| 2* | 0.0000 | 2.00012 | -0.00012 | ± 0.0012 |
| 1 | 0.0000 | 1.00001 | 0.00001 | ± 0.001 |

Sumber: Hasil Analisis, 2021

Tabel 5 menunjukkan selisih penimbangan (ΔI), massa konvensional anak timbangan uji (m_{ct}) serta kesalahan pengukuran (E). Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dituangkan dalam Tabel 5, nilai kesalahan yang ditunjukkan oleh ke 13 unit anak timbangan yang diuji masih berada dalam batas kesalahan yang diizinkan. Nilai kesalahan terkecil terjadi pada anak timbangan muatan 1 gram, yaitu sebesar 0.00001 gram. Sementara nilai kesalahan terbesar berada pada muatan 500 gram, yaitu sebesar 0,0026 g.

Ketidakpastian

Ketidakpastian dipengaruhi oleh penggunaan anak timbangan, timbangan elektronik serta kondisi lingkungan.

Tabel 6. Perhitungan Ketidakpastian Hasil Verifikasi

| m_o (g) | u_R (g) | u_{res} (g) | u_S (g) | u_{drift} (g) | u_B (g) |
|--------------|--------------|------------------|--------------|--------------------|--------------|
| 1000 | 0.0032 | 0.0041 | 0.0023 | 0.00053 | 0.00011 |
| 500 | 0.0032 | 0.0041 | 0.0012 | 0.00027 | 0.000055 |
| 200 | 0.000032 | 0.000041 | 0.00050 | 0.00012 | 0.000022 |
| 200* | 0.000032 | 0.000041 | 0.00050 | 0.00012 | 0.000022 |
| 100 | 0.000032 | 0.000041 | 0.00030 | 0.000068 | 0.000011 |
| 50 | 0.000032 | 0.000041 | 0.00021 | 0.000047 | 0.000055 |
| 20 | 0.000032 | 0.000041 | 0.00015 | 0.000035 | 0.000022 |
| 20* | 0.000032 | 0.000041 | 0.00015 | 0.000035 | 0.000022 |
| 10 | 0.000032 | 0.000041 | 0.00010 | 0.000023 | 0.000011 |
| 5 | 0.000032 | 0.000041 | 0.000080 | 0.000018 | 0.0000055 |
| 2 | 0.000032 | 0.000041 | 0.000055 | 0.000013 | 0.0000022 |
| 2* | 0.000032 | 0.000041 | 0.000055 | 0.000013 | 0.0000022 |
| 1 | 0.000032 | 0.000041 | 0.00003 | 0.0000069 | 0.0000011 |

Sumber: Hasil Analisis, 2021

Berdasarkan Tabel 6, diperoleh nilai-nilai ketidaktetapan sesuai dengan standar OIML R111-1 meliputi ketidakpastian

akibat pengulangan penimbangan (*repeatability*), penggunaan anak timbangan standar (sesuai sertifikat dan *drift* ATS), resolusi timbangan elektronik, serta *buoyancy* udara. Nilai ketidakpastian akibat *repeatability* pada muatan 1000 g dan 500 g bernilai sama, yaitu 0,0032 g. Hal ini disebabkan penggunaan timbangan elektronik Kelas II Mettler Toledo kapasitas 6200 g yang memiliki nilai *repeatability* timbangan diasumsikan sebesar 0.01. Muatan 1 g hingga 200 g memiliki nilai u_R sebesar 0.000032 yang diakomodasi oleh penggunaan timbangan elektronik kapasitas 220 g yang memiliki nilai *repeatability* 0.00001. Sehingga dapat diartikan bahwa nilai ketidakpastian *repeatability* akan sama untuk semua muatan yang menggunakan timbangan elektronik yang sama. Hal tersebut juga berlaku untuk ketidakpastian akibat resolusi. Resolusi timbangan elektronik kapasitas 6200 g bernilai 0.01 g, menghasilkan nilai u_{res} 0.0041 g. Resolusi timbangan elektronik 220 g yang bernilai 0.00001 g menghasilkan nilai u_{res} 0.000041 g.

Pada Tabel 6 juga terlihat bahwa ketidakpastian akibat sertifikat verifikasi anak timbangan standar memberikan kontribusi ketidakpastian terbesar dibandingkan ketidakpastian *drift* dan *buoyancy*. Nilai-nilai ketidakpastian tersebut selanjutnya akan digunakan untuk menghitung ketidakpastian standar gabungan dan derajat bebas efektif, sehingga dapat diperoleh nilai ketidakpastian diperluas. Diharapkan nilai ketidakpastian diperluas maksimal 1/3 nilai

BKD sehingga pengujian dapat dinyatakan sah.

Tabel 7. Perhitungan ketidakpastian diperluas

| m_o (g) | u_c (g) | ϑ_{eff} | $U (95\%)$ (g) | $1/3 BKD$ (g) |
|--------------|--------------|-------------------|-------------------|------------------|
| 1000 | 0.0057 | 40.477 | 0.011 | ± 0.0167 |
| 500 | 0.0053 | 30.805 | 0.011 | ± 0.0083 |
| 200 | 0.00052 | 224.515 | 0.0010 | ± 0.0033 |
| 200* | 0.00052 | 224.515 | 0.0010 | ± 0.0033 |
| 100 | 0.00031 | 231.417 | 0.00061 | ± 0.00167 |
| 50 | 0.00022 | 240.089 | 0.00043 | ± 0.001 |
| 20 | 0.00016 | 247.002 | 0.00032 | ± 0.00083 |
| 20* | 0.00016 | 247.002 | 0.00032 | ± 0.00083 |
| 10 | 0.00011 | 228.931 | 0.00023 | ± 0.00067 |
| 5 | 0.000097 | 191.310 | 0.00019 | ± 0.00053 |
| 2 | 0.000077 | 113.502 | 0.00015 | ± 0.0004 |
| 2* | 0.000077 | 113.502 | 0.00015 | ± 0.0004 |
| 1 | 0.000060 | 50.321 | 0.00012 | ± 0.00033 |

Sumber: Hasil Analisis, 2021

Ketidakpastian baku gabungan u_c mewakili gabungan nilai ketidakpastian masing-masing unsur yang memberikan kontribusi pada ketidakpastian pengukuran. Perhitungan derajat bebas efektif dari ketidakpastian gabungan untuk memperoleh faktor pengali yang akan digunakan pada perhitungan ketidakpastian diperluas $U_{(95\%)}$. Berdasarkan tabel 7, nilai $U_{(95\%)}$ untuk 13 unit anak timbangan muatan 1 gram – 1000 gram memenuhi persyaratan kmetrologian yaitu tidak melebihi 1/3 Batas Kesalahan yang Diizinkan. Nilai $U_{(95\%)}$ terkecil pada muatan 1 gram sebesar 0.00012 g dengan batas maksimum ± 0.00033 g, sementara ketidakpastian terbesar pada muatan 1000 gram bernilai 0.011 g dengan batas maksimum ± 0.0167 g.

Hasil pengujian seluruh unit muatan berada dalam rentang batas kesalahan yang diizinkan, meliputi parameter kesalahan pengukuran antara massa konvensional dan massa nominal (E) serta ketidakpastian yang diperluas $U_{(95\%)}$. Sehingga, sesuai dokumen OIML R111-1 (2004) serta SK Dirjen PKTN Nomor 123 Tahun 2020 tentang Syarat Teknis Standar Ukuran Metrologi Legal Besaran Massa, pengujian Anak Timbangan Kelas M1 merek Ankatama kapasitas 1 g – 1000 g dengan nomor seri ATM.M.-1.S.039 dinyatakan sah dan telah tertelusur serta dapat digunakan untuk pelayanan tera/tera ulang.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa hasil verifikasi mandiri standar ukuran Metrologi Legal berupa Anak Timbangan Kelas M1 dengan merek Ankatama kapasitas 1 g – 1.000 g dengan nomor seri ATM.M.-1.S.039 yang telah dilakukan oleh UPTD Metrologi Legal Kabupaten Semarang memenuhi persyaratan kmetrologian yaitu massa konvensional berada pada rentang Batas Kesalahan yang Diizinkan, serta ketidakpastian yang diperluas tidak melebihi 1/3 Batas Kesalahan yang Diizinkan, sehingga dapat digunakan untuk pelayanan tera dan tera ulang.

Kemampuan verifikasi standar kerja secara mandiri yang telah dimiliki oleh UPTD Metrologi Legal Kabupaten Semarang dapat mengurangi anggaran belanja operasional khususnya untuk kegiatan verifikasi alat standar yang sebelumnya

harus dilakukan oleh Badan Standardisasi Metrologi Legal Regional II Yogyakarta.

Saran

1. Pengujian verifikasi dengan metode lain perlu dilakukan agar hasil verifikasi semakin akurat.
2. UPTD Metrologi Legal Kabupaten Semarang dapat menambah alat standar sehingga agar melakukan verifikasi alat standar tera/ tera ulang secara mandiri lebih banyak lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Darmawan & Titik Istirohah. 2016. Studi Analisis Ketidakpastian Hasil Kalibrasi Timbangan dan Mistar Terhadap Keberterimaan Pengujian Gramatur Kertas. *Jurnal Selulosa*; 6 (2): 95 – 104.
- Direktur Jenderal Perlindungan Konsumen dan Tertib Niaga. *Keputusan Direktur Jenderal Perlindungan Konsumen dan Tertib Niaga Nomor 123 Tahun 2020 tentang Syarat Teknis Standar Ukuran Metrologi Legal Besaran Massa*. Jakarta: Direktorat Jenderal Perlindungan Konsumen dan Tertib Niaga.
- Direktur Metrologi. *Surat Keterangan Kemampuan Pelayanan Tera dan Tera Ulang Alat Ukur Takar Timbang dan Perlengkapannya (UTTP) Nomor: 57/PKTN.4/KKPTTU/7/2020*. Bandung: Direktorat Metrologi.
- Direktur Metrologi. *Surat Keterangan Kemampuan Verifikasi Standar Kerja Secara Mandiri Nomor 0077/PKTN.4.3/SKV/08/2020*. Bandung: Direktorat Metrologi.
- Hayu, Renanta. 2010. Analisis Ketidakpastian Kalibrasi Timbangan Non-Otomatis dengan Metoda Perbandingan Langsung Terhadap Standar Massa Acuan. *Jurnal Standardisasi*; 12(1): 64-68.
- ISO GUIDE 99:2007. 2007. *International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM)*.
- ISO Guide 98:2008. 2008. *Uncertainty of Measurement – Guide to The Expression of Uncertainty in Measurement*.
- JCGM 100:2008. 2008. *Evaluation of measurement data- Guide to the expression of uncertainty in measurement*.
- Lee, Sungjun & Kwang Pyo Kim. 2013. Interpretation of Conventional Mass. *Abstract International Journal of Modern Physics: Conference Series*; 24: 1360038.
- Menteri Perdagangan Republik Indonesia. *Peraturan Menteri Perdagangan Nomor 52 Tahun 2019 tentang Standar Ukuran Metrologi Legal*. Jakarta : Kementerian Perdagangan Republik Indonesia OIML R111-1:2004. 2004. *Weights of Classes E_1 , E_2 , F_1 , F_2 , M_1 , M_{1-2} , M_2 , M_{2-3} and M_3*