

## UJI KALIBRASI ALAT UKUR MASSA PADA NERACA ANALITIK MENGUNAKAN METODE PERBANDINGAN LANGSUNG

Fitri Rahmah<sup>1\*</sup>, Fathiyah Fairuz Salsabila<sup>2</sup>

Program Studi Teknik Fisika, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Nasional<sup>1,2</sup>

\*fitri.rahmah@civitas.unas.ac.id

*Submitted March 9, 2022; Revised July 24, 2022; Accepted July 28, 2022*

### Abstrak

Penelitian ini menjelaskan tentang pengaruh anak timbangan terhadap hasil kalibrasi neraca analitik. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mendapatkan nilai ketidakpastian hasil pengujian timbangan neraca analitik melalui perbandingan dengan standar anak timbangan kelas E2. Hasil penelitian dapat digunakan untuk mengetahui kelayakan alat ukur yang diuji melalui analisis nilai kinerja timbangan berdasarkan parameter *Limit of Performance* (LOP). Metode yang digunakan adalah metode perbandingan langsung dengan anak timbangan kelas E2. Proses kalibrasi yang dilakukan pada metode ini meliputi pengukuran daya ulang pembacaan, penyimpangan penunjukan nilai nominal, efek pembebanan tidak di pusat pinggan, serta histerisis. Analisis data yang didapatkan antara lain nilai standar deviasi, koreksi nilai minimal, histerisis, ketidakpastian, dan LOP. Hasil kalibrasi menunjukkan daya ulang pembacaan nilai simpangan baku beban pada  $\frac{1}{2}$  kapasitas maksimum dan 1 kapasitas maksimum yaitu senilai 0,0042 gram. Penyimpangan pada titik ukur 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, dan 200 gram memiliki nilai koreksi maksimum sebesar 0,04995 gram dengan ketidakpastian pengukuran maksimum senilai 0,006378585 gram dan nilai  $k=2,0$  pada tingkat kepercayaan 95%. Dalam tabel kinerja timbangan berdasarkan nilai LOP diketahui kinerja timbangan dalam kategori buruk dan lebih disarankan untuk melakukan perbaikan alat.

**Kata Kunci :** Kalibrasi, Ketidakpastian, Koreksi, Standar, Neraca analitik.

### Abstract

*The research describes the effect of weights on the calibration results of an analytical balance. This study aims to obtain the uncertainty value of the analytical balance test results by comparison with the standard E2 class weights. The study results can be used to determine the feasibility of the measuring instrument tested through the analysis of the performance value of the scales based on the Limit of Performance (LOP) parameter. The method used is a direct comparison method with E2 class weights. The calibration process carried out in this method includes the measurement of repeatability of readings, deviations from the nominal value indication, the effect of loading not at the centre of the pan, and hysteresis. The data analysis includes standard deviation values, minimum correction values, hysteresis, uncertainty, and LOP. The calibration results show that the reading power of the standard deviation of the load at  $\frac{1}{2}$  maximum capacity and full maximum capacity is 0.0042 grams. Deviations at measuring points 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, and 200 grams have a maximum correction value of 0.04995 grams with a maximum measurement uncertainty of 0.006378585 grams and a value of  $k=2.0$  at 95% confidence level. In the performance table of the scales based on the LOP value, it is known that the performance of the scales is in the poor category, and it is more advisable to repair the tool.*

**Key Words :** Calibration, Uncertainty, Correction, Standard, Analytical balance scales.

## 1. PENDAHULUAN

Pengukuran adalah proses untuk memperoleh informasi nilai sebenarnya (*true value*) terhadap suatu besaran fisis tertentu [1]. Pengukuran merupakan

kegiatan yang telah turun-menurun diaplikasikan di kehidupan bermasyarakat, serta mengalami banyak perkembangan agar semakin efisien. Salah satu alat pengukuran yang umum digunakan adalah

alat ukur timbang atau neraca. Pengukuran dengan neraca bertujuan untuk mendapatkan nilai besaran fisis massa. Setiap nilai terukur pada sistem pengukuran pasti memiliki nilai ketidakpastian. Ketidakpastian merupakan nilai yang menyatakan besar simpangan hasil pengukuran terhadap nilai yang sebenarnya [1]. Besar nilai ketidakpastian menunjukkan kualitas sistem pengukuran.

Untuk memperoleh hasil pengukuran yang semakin mendekati dengan nilai aslinya, maka diperlukan kalibrasi terhadap alat ukur tersebut. Kalibrasi terdiri dari tahapan kegiatan yang membentuk hubungan antara nilai yang ditunjukkan oleh suatu alat ukur, atau nilai yang diwakili oleh benda ukur, terhadap nilai yang telah diketahui pada besaran terukur dalam kondisi tertentu [2].

Di bidang kesehatan, timbangan elektronik (*Analytical Balance*) yang digunakan sebagian besar belum pernah dikalibrasi. Agar didapatkan nilai massa yang akurat, maka perlu dilakukan kalibrasi terhadap neraca analitik, sehingga dapat diketahui kualitas alat ukur melalui analisis terhadap nilai ketidakpastian pengukuran.

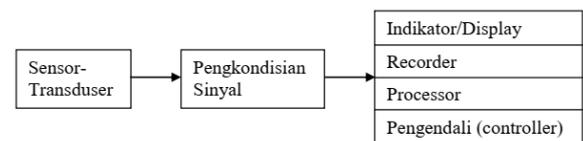
### Sistem Pengukuran

Instrumentasi sistem pengukuran secara garis besar terdiri dari tiga unsur utama yakni divais masukan sebagai detektor awal, divais pengkondisian dan pemrosesan sinyal untuk mengolah informasi, dan divais keluaran yang berfungsi untuk menampilkan hasil pengukuran. Diagram blok sistem pengukuran ditampilkan pada Gambar 1.

Masing-masing tahap pada diagram blok sistem pengukuran dijelaskan seperti berikut [3]-[4].

1. *Sensor/transduser*, yang berfungsi untuk mendeteksi atau mendapatkan parameter/variabel fisis tertentu sebagai kuantitas masukan pada proses pengukuran.

2. Pengkondisian sinyal, yang berfungsi untuk memodifikasi informasi atau data agar dapat diterima oleh tahap selanjutnya. Penggunaan *filter* atau penguat amplitudo dan daya pada sinyal paling banyak digunakan pada tahap ini.
3. Pembacaan (*readout*), bertujuan untuk menampilkan informasi dalam bentuk *display*, perekaman, atau pengendali dalam bentuk teks, audio, visual, atau kombinasi seluruhnya.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem Pengukuran

### Kalibrasi

Kebenaran nilai konvensional sebuah alat ukur dapat dilakukan dengan cara membandingkannya dengan standar ukur. Metode ini selanjutnya disebut dengan kalibrasi [5]. Hasil pengujian kalibrasi menginterpretasikan kelayakan sebuah alat yang telah memenuhi parameter nilai standar Nasional atau Internasional. Tujuan lain kalibrasi adalah untuk menjaga kondisi alat ukur, mendukung sistem mutu pada industri peralatan laboratorium, serta mengetahui nilai penyimpangan sebuah alat ukur [6].

### Kalibrator

Kalibrasi instrumen alat ukur timbang harus dilakukan secara rutin agar pembacaan nilai terukur mampu menampilkan hasil yang tepat dan akurat. Pada kalibrasi timbangan memerlukan anak timbangan (*test weights*) sebagai pembandingnya. Standar *Organisation Internationale de Metrologie Legale* (OIML) merupakan salah satu standar klasifikasi yang dipakai di Indonesia dalam metode pengukuran dan kalibrasi massa termasuk didalamnya mencakup anak timbangan.

Terdapat klasifikasi kelas yang meliputi syarat dasar material serta dimensi tertentu untuk masing-masing anak timbangan. Syarat lainnya yaitu batas kesalahan yang diperbolehkan atau *maximum permissible error (mpe)*.

Secara garis besar, terdapat 3 standar klasifikasi menurut OIML R111-1 [7]:

1. Kelas *M (Medium)*, terdiri dari kelas  $M_1$ ,  $M_2$  dan  $M_3$ .
2. Kelas *F (Fine)*, terdiri dari kelas  $F_1$  dan kelas  $F_2$ .
3. Kelas *E (Extra-fine)*, terdiri dari kelas  $E_1$  dan kelas  $E_2$ .

### Neraca Analitik

Neraca analitik memiliki fungsi untuk menimbang bahan atau zat yang akan digunakan sebelum melakukan suatu percobaan serta membutuhkan suatu penimbangan. Alat ini sering digunakan untuk menimbang massa suatu bahan kimia dengan akurat di laboratorium, [2], [8]-[9]. Prinsip kerja neraca analitik untuk menimbang massa suatu bahan kimia dengan tanpa adanya pengaruh udara bebas, sehingga dapat dihasilkan pengukuran secara akurat [9].



**Gambar 2. Neraca Analitik KERN  
ABJ/ABS 220-4**

Pada Gambar 2 menunjukkan neraca analitik dengan piringan pengukur di dalam kotak transparan berpintu kaca. Hal tersebut akan menjaga alat ukur agar tidak berdebu

sehingga proses penimbangan memiliki hasil yang akurat.

## 2. METODE PENELITIAN

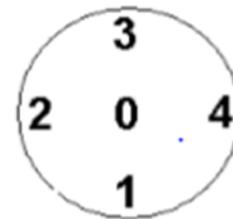
Alat dan bahan yang diperlukan dalam penelitian ini antara lain yaitu:

1. Neraca analitik, merk/pabrik AND, tipe GR-202, resolusi 0,0001 gram,
2. sarung tangan,
3. pinset,
4. *Digital Thermohygrometer*, dengan resolusi 0,1°C/1%RH.

Tahapan prosedur yang diperlukan dalam penelitian dijabarkan berikut ini.

1. Menyiapkan anak timbangan dan *electronic top-pan balance*.
2. Mengatur posisi level timbangan, dengan memastikan gelembung udara berada di tengah.
3. Memastikan timbangan tidak dalam keadaan *off*, dan mengkondisikan timbangan dalam keadaan *standby*.
4. Menghidupkan timbangan setidaknya setengah jam sebelum melakukan kalibrasi dan memastikan kondisi timbangan tidak dalam keadaan rusak.
5. Memastikan timbangan dalam keadaan bersih.
6. Mengkondisikan standard dan timbangan yang dikalibrasi.
7. Melakukan kalibrasi internal berdasarkan prosedur dalam pedoman pemakaiannya.
8. Menggunakan sarung tangan yang sudah disediakan.
9. Melakukan kalibrasi daya ulang pembacaan.
  - a. Menentukan dua titik pengukuran, titik dengan beban setengah dari kapasitas timbangan, dan titik dengan beban maksimum.
  - b. Menggunakan 1 buah anak timbangan standar atau hingga maksimal 2 buah.

- c. Mengatur nilai timbangan menjadi nol (0) dengan fasilitas yang ada pada timbangan tersebut.
  - d. Mencatat nilai  $z$  (timbangan tanpa beban).
  - e. Mencatat nilai  $m$  (anak timbangan pada timbangan).
  - f. Melakukan pengukuran sebanyak 10 kali pengulangan.
  - g. Melakukan langkah yang sama untuk titik dengan beban maksimum.
  - h. Jangan melakukan pengeNol-an selama pengukuran.
10. Melakukan pengukuran dengan penyimpangan (keluaran dari nilai nominal).
- a. Menentukan sepuluh titik pengukuran yang terbagi secara seragam dari kapasitas maksimum.
  - b. Mengatur nilai timbangan menjadi nol (0) dengan fasilitas yang ada pada timbangan tersebut.
  - c. Mencatat nilai  $z_1$  (tanpa beban) sebelum mengukur  $m_1$  (dengan beban), menurunkan anak timbangan dan mengulangi pengukuran dengan beban yang sama ( $m_2$ ) dan catat nilai  $z_2$  (tanpa beban) setelah  $m_2$ .
  - d. Melakukan langkah yang sama pada sepuluh titik pengukuran.
  - e. Penyimpangan tidak di Nalkan selama pengambilan data.
11. Menghitung nilai histerisis.
- a. Mengatur nilai timbangan menjadi nol (0) dengan fasilitas yang ada pada timbangan tersebut.
  - b. Mencatat nilai  $z_1$  (tanpa beban) sebelum mengukur  $m_1$  (dengan beban), nilai  $m_1$  sama dengan setengah beban kapasitas maksimum, dengan  $m_1$  masih diatas pinggan menambahkan  $m'$ , dimana  $m_1 + m' =$  mendekati nilai maksimum.
- c. Menurunkan kembali  $m'$ , mencatat nilai  $m_2$  dan nilai  $z_2$  (tanpa beban) setelah  $m_2$ .
  - d. Melakukan pengukuran sebanyak 3 kali.
  - e. Jangan melakukan pengeNol-an selama pengukuran.
12. Mengukur nilai efek pembebanan tidak di pusat pinggan.
- a. Menentukan nilai  $m$  sama dengan mendekati setengah dari nilai kapasitas maksimum.
  - b. Menggunakan hanya 1 buah anak timbangan standar.
  - c. Mengatur nilai timbangan menjadi nol (0) dengan fasilitas yang ada pada timbangan tersebut.
  - d. Melakukan pengukuran anak timbangan pada posisi yang berbeda.



**Gambar 3. Posisi Beban pada Timbangan**

Keterangan :

0 = di pusat pinggan

1 = di posisi lebih kedepan dari pusat pinggan

2 = di posisi lebih ke kiri dari pusat pinggan

3 = di posisi lebih ke belakang dari pusat pinggan

4 = di posisi lebih ke kiri dari pusat pinggan

Kecuali untuk posisi tengah (0), meletakkan anak timbangan sedekat mungkin dengan batas tepi pinggan tanpa melewatinya. Pembacaan pada masing-masing posisi relatif terhadap pembacaan pada posisi pusat pinggan.

13. Mematikan alat ukur *unit under test* (UUT) apabila kalibrasi telah selesai dilakukan.

14. Memasang stiker dan merapikan semua peralatan yang digunakan dan mengembalikan ketempat awal.
15. Mencatat semua hasil pengukuran dalam lembar kerja yang telah disediakan.

Secara ringkas, diagram alir metode penelitian kalibrasi neraca analitik ditampilkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Diagram Alir Kalibrasi

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Telah dilakukan kalibrasi pada alat ukur massa timbangan neraca analitik dengan merk AND, Tipe GR-202, dan nomor seri 14246574. Timbangan ini digunakan sebagai alat ukur massa dengan *range* penggunaan sehari-hari pada 0 – 210 gram. Sehingga penentuan penyimpangan timbangan di tetapkan dalam *range* tersebut dan dibagi ke dalam 10 titik pengukuran, yaitu: 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, dan 200 gram.



Gambar 5. Diagram Alir Kalibrasi (lanjutan)

Pada penelitian ini, metode perbandingan langsung dengan anak timbangan kelas E2 menjadi metode yang digunakan untuk kalibrasi neraca analitik. Standar yang digunakan dalam kalibrasi timbangan mengacu pada dokumen MPE rekomendasi OIML yaitu OIML R111-1 “Weight of classes  $E_1, E_2, F_1, F_2, M_1, M_2, M_3$ ”. Anak timbangan kelas  $E_2$  digunakan sebagai standar dalam proses kalibrasi alat ukur. Kalibrasi dilakukan pada kondisi lingkungan dengan suhu ruangan sebesar

22,7 ± 0,1°C serta kelembaban udara di dalam ruangan senilai 57 ± 1% RH.

Pencatatan data dilakukan dengan menuliskan pada lembar kerja kalibrasi yang telah tersedia. Hasil pengerjaan selanjutnya akan diperiksa oleh bagian Litbang yang terkait. Tahapan berikutnya adalah proses pelaporan, yaitu menghitung data Budget Ketidakpastian (BK) pada file dokumen *excel* yang ada. Pelaporan BK berisi perhitungan kalibrasi dan dibuat sesuai dengan metode dan acuan yang telah ditetapkan perusahaan. Tahap selanjutnya adalah verifikasi laporan BK oleh petugas yang berwenang agar dapat digunakan untuk keperluan perhitungan hasil kalibrasi. Proses berikutnya adalah penerbitan sertifikat laik atau tidaknya alat ukur yang telah dikalibrasi.

Model matematis pengukuran dituliskan pada rumus (1).

$$C_i = M_i - r_i \quad (1)$$

dengan,

$C_i$  = Koreksi penunjukan pembacaan ke- $i$ .

$M_i$  = Massa konvensional anak timbangan standar ke- $i$ .

$r_i$  = Penunjukkan pembacaan ke- $i$ .

Selanjutnya ada estimasi ketidakpastian pengukuran yang dijabarkan ke 5 bentuk persamaan. Ketidakpastian anak timbangan standar ( $U_1$ ) dituliskan pada persamaan (2).

$$U_1 = \frac{U}{k} \quad (2)$$

Pada persamaan (3) ditampilkan ketidakpastian daya ulang pembacaan ( $U_2$ ).

$$U_2 = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

dengan nilai simpangan bakunya dituliskan pada persamaan (4).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (r_i - r)^2}{(n-1)}} \text{ atau } \sigma = \sqrt{\frac{2}{3}} a \quad (4)$$

Persamaan ketidakpastian kemampuan baca timbangan ( $U_3$ ) dituliskan pada persamaan (5).

$$U_3 = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (5)$$

dengan,

$$a = \pm 0,5 \times \text{resolusi timbangan.}$$

Ketidakpastian *buoyancy* udara ( $U_4$ ) dan ketidakpastian stabilitas anak timbangan standar/drift ( $U_5$ ) secara berurutan dituliskan pada persamaan (6) dan (7).

$$U_4 = \frac{0,2 \cdot m \cdot g}{\sqrt{3}} = 0,115 \cdot m \cdot g \quad (6)$$

$$U_5 = \frac{\Delta C}{\sqrt{3}} \quad (7)$$

Rumus ketidakpastian gabungan ( $U_c$ ) dituliskan dalam persamaan (8).

$$U_c = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2} \quad (8)$$

$$U_c = k U_c$$

dengan  $k$  adalah faktor cakupan. Faktor cakupan adalah faktor pengali yang besarnya dihitung dari derajat kebebasan efektif hasil perhitungan dan tingkat konfidensial (CL) yang ditetapkan (CL=95%,  $k=2$ ).

Dalam rangka menghitung derajat kebebasan efektif dapat menggunakan persamaan (9).

$$V_{eff} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^n \frac{u_i^4}{v_i}} \quad (9)$$

sedangkan nilai *Limit of Performance* (LOP) dituliskan pada persamaan (10).

$$F = C_{max} - U_{max} \quad (10)$$

dimana,

$C_{max}$  = Koreksi maksimum.

$U_{max}$  = Nilai ketidakpastian maksimum.

Pengamatan kalibrasi daya ulang pembacaan beban dilakukan sebanyak sepuluh kali pengukuran untuk masing-masing massa tanpa melakukan *adjustment* terhadap pengaturan nilai “*nol*” pada timbangan. Tabel 1 dan Tabel 2 menampilkan kalibrasi daya ulang pembacaan pada massa 100 gram dan 200 gram. Selanjutnya dilakukan perhitungan terhadap standar deviasi pembacaan dengan beban dan tanpa beban, menggunakan

persamaan (3) dan (4). Dalam kondisi ini, nilai standar deviasi timbangan untuk kapasitas maksimum maupun setengah dari kapasitas maksimum memiliki rentang terendah sebesar 0,0042 gram.

**Tabel 1. Kalibrasi Daya Ulang Pembacaan Beban Setengah Kapasitas (100 g)**

No.	z1 (g)	m1 (g)
1	0,00	100,04
2	0,00	100,04
3	0,00	100,04
4	0,00	100,04
5	0,00	100,03
6	0,00	100,04
7	0,00	100,03
8	0,00	100,04
9	0,00	100,04
10	0,00	100,04

**Tabel 2. Kalibrasi Daya Ulang Pembacaan Beban Kapasitas Maksimum (200 g)**

No.	z1 (g)	m1 (g)
1	0,00	200,05
2	0,00	200,05
3	0,00	200,05
4	0,00	200,05
5	0,00	200,06
6	0,00	200,05
7	0,00	200,05
8	0,00	200,05
9	0,00	200,06
10	0,00	200,05

Nilai dengan penyimpangan yang keluar dari nilai nominal ditampilkan pada Tabel 3. Sedangkan hasil perhitungan kalibrasi ditampilkan pada Tabel 4.

**Tabel 3. Penyimpangan (Keluaran dari Nilai Nominal)**

Titik Ukur (g)	z1 (g)	m1 (g)	z2 (g)	m2 (g)
20	0,00	20,00	0,00	20,00
40	0,00	39,99	0,00	39,99
60	0,00	60,02	0,00	60,02
80	0,00	80,01	0,00	80,01
100	0,00	100,03	0,00	100,03
120	0,00	119,99	0,00	119,99
140	0,00	140,04	0,00	140,04
160	0,00	160,00	0,00	160,00
180	0,00	180,04	0,00	180,04
200	0,00	200,05	0,00	200,05

**Tabel 4. Hasil Kalibrasi Penyimpangan**

Titik Ukur (g)	UUT (g)	Koreksi (g)	Ketidak-pastian (+mg)	Faktor Cakupan (k)
20	20	0,00001	6,4	2
40	39,99	0,01003	6,4	2
60	60,02	-0,01998	6,4	2
80	80,01	-0,00997	6,4	2
100	100,03	-0,03005	6,4	2
120	119,99	0,00996	6,4	2
140	140,04	-0,04002	6,4	2
160	159,9999	0,00007	6,4	2
180	180,0399	-0,03992	6,4	2
200	200,04995	-0,04995	6,4	2

Nilai histerisis dan pembebanan yang diletakkan tidak di pusat pinggan secara berurutan ditampilkan pada Tabel 5 dan 6. Dengan nilai  $m$  sama dengan mendekati setengah dari nilai kapasitas maksimum sebesar 100 gram. Kemudian untuk hasil perhitungan kalibrasi efek pembebanan tidak terpusat ditampilkan pada Tabel 7.

**Tabel 5. Histerisis M Setengah Kapasitas Maksimum Timbangan (100 g)**

Posisi	Pembacaan 1 (g)	Pembacaan 2 (g)	Pembacaan 3 (g)
z1	0,00	0,00	0,00
m1	100,00	100,00	100,00
m+m'	150,00	150,00	150,00
m2	100,00	100,00	100,00
z2	0,00	0,00	0,00

**Tabel 6. Efek Pembebanan Tidak Terpusat**

Posisi	Pembacaan (g)
0 (Centre)	100,00
1 (Front)	100,00
2 (Left)	100,00
3 (Back)	100,00
4 (Right)	99,99

**Tabel 7. Hasil Kalibrasi Efek Pembebanan Tidak Terpusat**

Posisi	Kalibrasi (g)
0 (Centre)	0,00
1 (Front)	0,00
2 (Left)	0,00
3 (Back)	0,00
4 (Right)	-0,01
Max. Diff.	0,01

**Tabel 8. Klasifikasi Kinerja Timbangan Berdasarkan LOP**

LOP	Kinerja Timbangan	Saran
1x s/d 2x resolusi	Bagus	
2x s/d 3x resolusi	Rata-rata bagus	
3x s/d 5x resolusi	Cukup	Servis dianjurkan
5x s/d 7x resolusi	Buruk	Servis dianjurkan
7x s/d 10x resolusi	Sangat Buruk	

Berdasarkan hasil perhitungan kalibrasi pada BK diperoleh nilai LOP sebesar 6 gram, yang didapat dari nilai koreksi maksimum dikurangi ketidakpastian maksimum pada data penyimpangan. Dalam tabel kinerja timbangan berdasarkan nilai LOP, diketahui kinerja timbangan dalam kategori buruk dan lebih disarankan untuk melakukan perbaikan.

#### 4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian penulis dapat menyimpulkan beberapa poin berikut:

1. Tujuan kalibrasi neraca analitik yang dilakukan adalah untuk mendapatkan kebenaran konvensional nilai penunjukan alat ukur.
2. Kalibrasi bermanfaat untuk menjaga kondisi instrumen dan bahan ukur yang berupa neraca timbangan agar sesuai dengan spesifikasinya, serta untuk mendapatkan nilai koreksi dan ketidakpastian pembacaan alat ukur tersebut.
3. Berdasarkan hasil perhitungan kalibrasi pada BK diperoleh nilai LOP sebesar 0,05633 gram yang artinya 6x resolusi. Dalam tabel kinerja timbangan berdasarkan nilai LOP, diketahui kinerja timbangan dalam kategori buruk dan lebih disarankan untuk melakukan perbaikan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Setiyono, "Uji Kalibrasi (Ketidakpastian Pengukuran) Timbangan Digital Mengacu Pada Standar JCGM 100:2008," *Jurnal Teknik Mesin Cakram*, vol. 1, no. 1, 2018, doi: 10.32493/jtc.v1i1.1342.
- [2] Ismaini, N. Tosani, and N. N. Husna, "Tatakelola Perawatan dan Uji Kalibrasi Neraca Analitik di Laboratorium Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya," *Jurnal Universitas Sriwijaya*, vol. 1, no. 1, 2021.
- [3] V. A. Isnaini, "Pemanfaatan Modul Mikrokontroler Arduino Untuk Rancang Bangun Alat Ukur Fisika," *Edu – Physic Vol. 4, Tahun 2013*, vol. 4, no. 2, 2013.
- [4] S. S. Suri, F. Rahmah, and F. Hidayanti, "Perancangan Prototipe Sistem Keamanan Tanda Tera untuk Pompa Ukur BBM," *STRING (Satuan Tulisan Riset dan Inovasi Teknologi)*, vol. 6, no. 1, 2021, doi: 10.30998/string.v6i1.9226.
- [5] SNI ISO/IEC 17025:2008, "Persyaratan umum kompetensi laboratorium pengujian dan laboratorium kalibrasi," *Bsn*, vol. 2017, 2008.
- [6] A. J. A. Firdaus, D. Pramono, and W. Purnomo, "Pengembangan Sistem Informasi UPT Kalibrasi Dinas Kesehatan Kabupaten Malang Berbasis WEB," *Jurnal Sistem Informasi, Teknologi Informasi, dan Edukasi Sistem Informasi*, vol. 1, no. 1, 2020, doi: 10.25126/justsi.v1i1.3.
- [7] Alaaeldin. A. Eltawil, N. A. Mahmoud, S. A. Emira, N. N. Nagib, and M. M. Eloker, "Ellipsometric Studies Of Surface Layers Formed On Stainless Steel Mass Standards," *Al-Azhar Bulletin of Science*, vol. 29, no. Issue 2-B, 2018, doi: 10.21608/absb.2018.61206.

- [8] N. L. Tirtasari, “Uji Kalibrasi (Ketidakpastian Pengukuran) Neraca Analitik di Laboratorium Biologi FMIPA UNNES,” *Indonesian Journal of Chemical Science*, vol. 6, no. 2, 2017.
- [9] F. M. Sholihah, “Teknik Kalibrasi Timbangan Elektronik Menggunakan Metode CSIRO,” *Jurnal Ilmiah Teknosains*, vol. 2, no. 2/Nov, 2016, doi: 10.26877/jitek.v2i2/nov.1204.