

Evaluation of Measurement Uncertainty and Calibration Traceability for Gauge Thermometers and Vernier Calipers

Suci Rahmawati^{1*}, Ica Agustriani Ge'e¹, Ridwan Yusuf Lubis¹

¹ Fisika/Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Medan, Indonesia.

Received: 12-05-2026

Revised: 23-05-2026

Accepted: 24-05-2026

Published: 30-05-2026

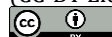
Corresponding Author:

Author Name*: Suci Rahmawati

Email*:

rahmawatisuci942@gmail.com

© 2026 The Authors. This open access article is distributed under a (CC-BY License)



Abstract: This study analyzes measurement uncertainty and metrological traceability in the calibration of a gauge thermometer and a vernier caliper at the Standardization and Industrial Services Center of Medan. The calibration was performed using a comparison method against traceable reference standards under controlled laboratory conditions. The gauge thermometer was tested at five temperature points (20°C, 60°C, 100°C, and 140°C) with five repeated measurements at each point to evaluate repeatability and measurement consistency. Meanwhile, the vernier caliper was calibrated at six nominal length points (25 mm, 50 mm, 75 mm, 100 mm, 125 mm, and 150 mm) with three repeated measurements for each point using gauge blocks as reference standards. The results show that the gauge thermometer exhibits systematic deviation, particularly at the lowest temperature point (20°C), with an error of +3°C, while higher temperature points show smaller deviations. The vernier caliper demonstrates good repeatability with small deviations ranging from 0.05 mm to 0.20 mm across measurement points. These results indicate that both instruments are still usable but require periodic calibration and correction to maintain accuracy. This study emphasizes that structured multi-point calibration and repeated measurements improve the reliability of uncertainty evaluation and strengthen metrological traceability. The findings contribute to better calibration practices in laboratory and industrial environments by supporting more reliable measurement results in accordance with international metrology standards

Keywords: measurement uncertainty, calibration, gauge thermometer, vernier caliper, metrological traceability

Pendahuluan

Sistem pengukuran yang andal, konsisten, dan akurat merupakan pilar utama dalam penjaminan mutu, efisiensi operasional, serta pemeliharaan standar keselamatan di berbagai sektor laboratorium pengujian maupun proses manufaktur industri modern (Stamm, 2017; Kacker, 2018). Pada realitas aplikasi di lapangan, setiap aktivitas pengukuran fisis tidak pernah luput dari berbagai faktor ketidakpastian yang melekat (Joint Committee for Guides in Metrology, 2008). Ketidakpastian tersebut umumnya bersumber dari keterbatasan resolusi bawaan instrumen, fluktuasi kondisi lingkungan makro maupun mikro, karakteristik objek ukur yang dinamis, hingga potensi kesalahan sistematis dan acak yang diperkenalkan oleh operator saat pengambilan data dilakukan (Rossi, 2023; Padoan et al., 2018). Kinerja sistem pengukuran yang buruk atau tidak terpantau secara periodik dapat menurunkan efektivitas kendali mutu, memicu kesalahan fatal dalam pengambilan keputusan teknik, meningkatkan risiko cacat produksi, serta menghambat upaya peningkatan kualitas proses dan produk akhir secara berkelanjutan (Munir et al., 2023; Parashare, 2024). Oleh karena itu, tindakan kalibrasi berkala menjadi instrumen hukum metrologi yang sangat krusial guna menetapkan hubungan fungsional yang valid antara nilai yang ditunjukkan oleh alat ukur dengan nilai standar acuan yang memiliki nilai ketertelusuran metrologi (metrological

How to Cite:

Rahmawati, S., Ge'e, I. A., & Lubis, R. Y. (2026). Evaluation of measurement uncertainty and calibration traceability for gauge thermometers and vernier calipers. *RAJENDRA: Journal of Science and Technology Learning Innovation*, 1(2). <https://journal.sigufi.com/index.php/rajendra/index>

traceability) yang sah ke standar nasional maupun internasional (Choi & Hur, 2023; Hawam et al., 2021). Hal ini sejalan dengan komitmen kepatuhan terhadap standar ISO/IEC 17025:2017 serta panduan internasional International Vocabulary of Metrology (VIM) yang mewajibkan setiap laboratorium formal untuk memelihara validitas, akurasi, dan keterbandingan hasil pengukuran secara konsisten demi menjaga kepercayaan publik terhadap data pengujian yang diterbitkan (Danzer et al., 2024; Nurlu et al., 2024).

Di dalam ekosistem industri manufaktur, pemrosesan zat kimia, hingga laboratorium kalibrasi formal, parameter suhu (termal) dan dimensi linear (panjang) merupakan dua karakteristik besaran fungsional yang paling intensif diukur dan dikendalikan dalam aktivitas harian (Bentley, 2021; Fraden, 2022). Gauge thermometer banyak diandalkan sebagai instrumen garda terdepan untuk memantau stabilitas temperatur pada komponen-komponen kritis berisiko tinggi seperti sistem boiler, pipa distribusi proses, mesin penukar panas (*heat exchanger*), dan tangki penyimpanan bahan baku industri (Leach et al., 2020; Alsoufi et al., 2025). Di sisi lain, jangka sorong (*vernier caliper*) menjadi alat ukur dimensional utama yang menawarkan fleksibilitas serta mobilitas tinggi untuk memastikan pemenuhan toleransi akurasi pada diameter luar, diameter dalam, maupun kedalaman celah komponen dalam pengerjaan teknik, permesinan, dan manufaktur komponen presisi (Fatiatun et al., 2022; Stein et al., 2021). Karena tingginya frekuensi penggunaan di lapangan yang sering kali beroperasi pada kondisi ekstrem, kedua instrumen metrologi ini sangat rentan mengalami degradasi performa fungsional ataupun pergeseran nilai akurasi (*drift*) akibat faktor kelelahan material (Pramudya et al., 2024). Kerusakan tersembunyi seperti keausan mekanis pada rahang jangka sorong, paparan siklus termal yang konstan pada sensor termometer, serta faktor penuaan (*aging*) komponen internal dapat mendegradasi keandalan alat secara signifikan (Razumic et al., 2025; Ortlepp et al., 2025). Terjadinya penyimpangan pembacaan yang tidak terdeteksi pada kedua jenis alat ini dapat berdampak sistemis dan fatal pada validitas integrasi kendali mutu produk, bahkan mampu memicu kecelakaan kerja akibat kegagalan pembacaan indikator keselamatan operasional pada mesin industri.

Meskipun pentingnya nilai ketertelusuran metrologi dan evaluasi ketidakpastian telah banyak disadari melalui berbagai pengujian instrumen di tingkat global, sebagian besar studi literatur terdahulu cenderung membahas evaluasi ketidakpastian ini secara parsial, terisolasi, atau terpisah. Peneliti metrologi umumnya hanya berfokus pada analisis instrumen termal secara mendalam (Rangkuti et al., 2023) atau mengevaluasi instrumen dimensi linear saja secara terpisah tanpa melihat interaksi implementasinya pada satu laboratorium yang sama (Diandri & Maulida, 2025; Nurroniah et al., 2025). Masih terdapat keterbatasan literatur akademik yang melakukan analisis komparatif fungsional terhadap dua karakteristik besaran yang berbeda (suhu dan panjang) secara simultan di bawah standardisasi manajemen mutu satu pengujian laboratorium formal (Besseris, 2023; Estacio et al., 2019). Selain itu, pemahaman operasional mengenai bagaimana memetakan deviasi sistematis dari masing-masing alat untuk menetapkan nilai koreksi konkret pada batas toleransi operasional sering kali kurang dieksplorasi secara mendalam dalam naskah-naskah praktis yang dipublikasikan (Kohn, 2020). Berbagai studi literatur mengenai metode pengulangan stochastics, optimasi temporal, maupun analisis terhadap kekuatan struktural luar pada material baja atau logam juga belum mengintegrasikan implementasi kalibrasi dua alat dasar fundamental ini secara praktis dalam aktivitas pelayanan jasa industri riil di lapangan (Sensors, 2023; Darfia & Hidayat, 2019; Firdaus et al., 2017; Hanifianda, 2021).

Untuk mengisi celah studi (*research gap*) dan keterbatasan literatur tersebut, penelitian ini secara khusus mengevaluasi proses kalibrasi terhadap instrumen *gauge thermometer* dan *vernier caliper* yang dilakukan secara riil pada fasilitas laboratorium Balai Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri (BSPJI) Medan. Urgensi dari pelaksanaan penelitian ini terletak pada perlunya memetakan perilaku penyimpangan (*error*) konkret, menentukan nilai koreksi aktual, dan mengestimasi nilai ketidakpastian bentangan (*expanded uncertainty*) dari kedua instrumen aktif tersebut yang digunakan secara masif di sektor industri wilayah Sumatera Utara (EURAMET, 2021). Evaluasi komparatif antara besaran suhu yang dikalibrasi menggunakan media cairan stabil dan besaran panjang yang menggunakan media mekanis statis akan memberikan gambaran komprehensif mengenai pola penurunan akurasi instrumen akibat faktor operasional. Hal ini sangat penting untuk menjamin apakah kinerja alat ukur fisis yang beredar di industri masih memenuhi batas toleransi keselamatan kerja serta standar mutu operasional yang dipersyaratkan oleh regulasi, sekaligus menjadi instrumen esensial dalam mempertahankan keandalan data uji dalam jangka panjang.

Secara eksplisit dan terarah, penelitian ini bertujuan untuk mendokumentasikan serta menganalisis hasil kalibrasi melalui tiga tujuan utama sebagai berikut:

- a. Menganalisis nilai ketidakpastian pengukuran, mengevaluasi kurva penyimpangan sistematis, serta menjamin ketertelusuran metrologi pada proses kalibrasi termometer gauge menggunakan metode perbandingan langsung (*direct comparison*) pada media suhu oil bath dan dry well untuk menetapkan deviasi akurasi pada rentang suhu operasional.
- b. Menganalisis karakteristik keterulangan (*repeatability*) hasil pembacaan serta mengidentifikasi pola penyimpangan mekanis pada kalibrasi jangka sorong (*vernier caliper*) dengan memanfaatkan standar blok ukur (*gauge block*) tingkat tinggi guna mengetahui tingkat keausan komponen fisik alat ukur dimensional.
- c. Menetapkan nilai koreksi konkret dari hasil pengujian kedua instrumen fisis tersebut guna meningkatkan validitas pelaporan data pengujian, merumuskan batas toleransi kelayakan operasional, serta menjaga tingkat keandalan alat dalam berbagai aplikasi laboratorium pengujian formal dan industri manufaktur.

Metodologi Penelitian

Kalibrasi Termometer Gauge

Penelitian ini menerapkan pendekatan eksperimental kuantitatif laboratorium yang difokuskan pada pengujian metrologi, analisis deviasi sistematis, dan estimasi ketidakpastian bentangan (*expanded uncertainty*). Desain eksperimen dirancang untuk menguji linearitas pembacaan pada termometer gauge analog (kapasitas 0–160°C) dan jangka sorong analog (kapasitas 0–150 mm) melalui serangkaian pengujian berulang di dalam kondisi lingkungan terkendali.

Alat-alat yang digunakan

- a. Dry Well
Berfungsi sebagai kalibrator dengan suhu tinggi yang digunakan untuk mengkalibrasi termometer gauge.



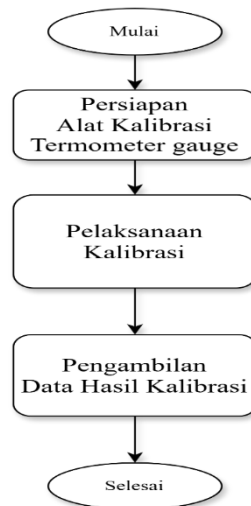
Gambar 1. Kalibrator Dry Well

- b. Oil Bath
Berfungsi sebagai kalibrator dengan suhu rendah yang digunakan untuk mengkalibrasi termometer gauge



Gambar 2. Oil Bath

Diagram Alir Kalibrasi Termometer Gauge



Gambar 3. Diagram Alir Kalibrasi Termometer Gauge

Prosedur Kalibrasi Termometer Gauge:

Adapun tahapan kalibrasi termometer gauge di Balai Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri Medan dilakukan melalui beberapa langkah sebagai berikut:

- Sebelum melakukan proses kalibrasi hal yang harus diperhatikan adalah memeriksa kondisi ruangan kalibrasi, kondisi ruangan kalibrasi harus berada pada temperatur $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, kelembaban ruangan kalibrasi berkisar $55\% \pm 10\%$, dan ruangan kalibrasi harus bersih dan bebas dari debu.
- Dicatat identitas alat yang akan di uji seperti, nama alat, kapasitas, tipe/model, no.seri, merk/buatan, lalu ditulis juga pada lembar data standar yang digunakan seperti, nama standar, ketelusuran, tanggal terima, tanggal kalibrasi, metode, acuan, dan Lokasi kalibrasi.
- Disiapkan alat terlebih dahulu seperti 40temperature gauge dengan kapasitas $0-160^{\circ}\text{C} / 2^{\circ}\text{C}$.
- Untuk pelaksanaan kalibrasi 40temperature gauge digunakan *Oil bath* serial No. TI 102 dengan kapasitas $0-160^{\circ}\text{C}$.
- Diletakkan 40temperature gauge ke kalibrator.
- Dihidupkan Kalibrator *Oil bath* dengan mencolokkan alat ke sumber Listrik dan diatur kalibrator sesuai dengan suhu yang ingin di uji.
- Lalu setelah alat yang di kalibrasi sudah sesuai dengan kalibrator dan kalibrator stabil, dicatat nilai yang terdapat pada *Oil Bath*, Dari kalibrasi 40temperature gauge yang di lakukan setiap hasil nilai pembacaan pada kalibrator di catat pada lembar kerja, proses kalibrasi dilakukan sebanyak 5 kali pada setiap suhu yang digunakan.
- Setelah selesai melakukan kalibrasi alat yang telah selesai di kalibrasi di beri stiker sebagai penanda bahwa alat tersebut telah di kalibrasi, lalu atur suhu pada kalibrator sesuai suhu ruangan dan matikan kalibrator setelah suhu sudah stabil.

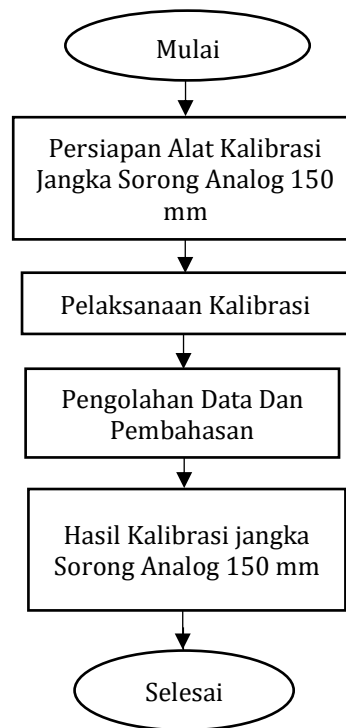
Kalibrasi jangka Sorong

Alat-alat yang digunakan

- Blok ukur (*gauge block*) kualitas (*grade*) 1 dengan rentang ukur 25 mm hingga 150 mm dengan Nomor seri 020051, dan blok ukur (*gauge block*) kualitas (*grade*) 1 dengan rentang ukur 25 mm hingga 150 mm dengan nomor seri 102312. Dan sertifikatnya digunakan sebagai alat ukur standar untuk menkalibrasi jangka sorong analog.
- Jangka sorong dengan kecermatan 0,05 mm dan kapasitas ukur 0 sampai dengan 150 mm yang digunakan sebagai objek ukur (*unit under test*), dan bermerek 40emperat.
- Meja rata digunakan sebagai alat ukur bantu pada saat melakukan pengukuran dimensi blok ukur (*gauge block*).

- d. Thermohygrometer digunakan untuk mengukur 41emperature dan kelembaban ruangan kalibrasi, 41emperature blok ukur dan 41emperature jangka sorong.
- e. Vaseline digunakan untuk melumasi alat ukur agar tidak korosi.
- f. Tisu pembersih dipergunakan untuk membersihkan alat ukur dari kotoran.
- g. Alkohol/Bensin sebagai cairan pembersih.
- h. Sarung tangan dan Lembar kerja.

Diagram Alir Kalibrasi Jangka Sorong



Gambar 4. Digram Alir Kalibrasi jangka Sorong

Prosedur Kalibrasi Jangka Sorong:

Berdasarkan digram diatas dapat kita lihat bagaimana proses kalibrasi Jangka Sorong Analog 150 mm di Balai Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri Medan.

- a. Sebelum proses kalibrasi dilakukan hal yang harus kita perhatikan ialah memeriksa kondisi ruangan kalibrasi, kondisi ruangan kalibrasi dipengaruhi oleh beberapa factor diantaranya:
 - a) Kondisi ruangan kalibrasi harus berada pada temperatur 20 ± 1 °C
 - b) Kelembaban ruangan kalibrasi berkisar diantara 55-60%
 - c) Ruangan kalibrasi harus bersih bebas dari partikel debu
 - d) Ruangan kalibrasi harus dihindarkan dari mesin atau keadaan yang menimbulkan getaran besar.

Setelah diperhatikan beberapa factor kondisi ruangan kalibrasi, selanjutnya dengan memperhatikan temperatur dan kelembaban dengan menggunakan alat Thermohygrometer.

- b. Setelah memperhatikan ruangan kalibrasi hal selanjutnya yang akan kita lakukan ialah mempersiapkan alat yang diperlukan dalam kalibrasi Jangka Sorong. Untuk persiapan kalibrasi jangka sorong 150 mm ada beberapa hal harus diperhatikan diantaranya sebagai berikut
 - a) Diperiksa kesejajaran permukaan mulut ukur dengan cara merapatkan kedua permukaan alat ukur
 - b) Dicek gerak rahang ukur jangka analog harus tecluncur dengan tak pada batang ukurnya
 - c) Dibersihkan jangka sorong analog dan *gauge block*

Rumus Perhitungan Kalibrasi Dan Ketidakpastian

Data hasil pengujian berulang pada setiap titik nominal ($n=5$ untuk termometer; $n=3$ untuk jangka sorong) dianalisis menggunakan persamaan metrologi standar sebagai berikut:

- a. Nilai Rata-Rata Pembacaan ($\bar{X}$):

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

- b. Deviasi / Penyimpanan (Error):

$$Deviasi = \bar{X}_{\text{alat}} - X_{\text{standar}}$$

- c. Nilai Koreksi (C):

$$Koreksi (C) = X_{\text{standar}} - \bar{X}_{\text{alat}}$$

- d. Ketidakpastian Tipe A (u_A) berdasarkan Repeatability:

$$u_A = \frac{s}{\sqrt{n}} \text{ dimana } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Hasil dan Pembahasan

Kalibrasi Termometer Gauge

Data hasil kalibrasi thermometer gauge dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Data Kalibrasi Termometer Gauge

No	SuhuAlat (°C)	Standar (°C)				
		X1	X2	X3	X4	X5
1.	20	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00
2.	60	61,00	61,00	61,00	61,00	61,00
3.	100	101,00	101,00	101,00	101,00	101,00
4.	140	140,00	140,00	140,00	140,00	140,00

Tabel 1 menunjukkan data hasil kalibrasi thermometer gauge dengan membandingkan pembacaan alat terhadap thermometer standar pada beberapa titik suhu uji. Pada titik set 20°C, alat dibandingkan dengan standar dan diperoleh pembacaan 23,00°C pada lima kali pengulangan (X_1 – X_5), sehingga terdapat selisih +3°C dari nilai set. Pada titik 60°C, standar menunjukkan 61,00°C secara konsisten, yang berarti terdapat penyimpangan +1°C dari nilai alat. Pada suhu 100°C, hasil standar terbaca 101,00°C pada seluruh pengulangan, sehingga selisihnya juga +1°C. Sementara pada titik 140°C, pembacaan standar sama dengan nilai alat yaitu 140,00°C, sehingga tidak terdapat penyimpangan.

Data ini menunjukkan bahwa hasil pengukuran sangat konsisten (karena semua pengulangan bernilai sama), namun terdapat error sistematis pada beberapa titik suhu, terutama pada suhu rendah (20°C). Dengan demikian, perlu dilakukan penentuan nilai koreksi untuk meningkatkan akurasi pembacaan thermometer gauge.

Berdasarkan data eksperimen kalibrasi gauge thermometer, analisis ketidakpastian baku gabungan (u_c) menunjukkan kontribusi yang signifikan dari komponen ketidakpastian Tipe A (variabilitas pembacaan berulang) serta komponen Tipe B yang bersumber dari resolusi alat (2°C). Dari perhitungan evaluasi metrologi, diperoleh nilai ketidakpastian bentangan (*expanded uncertainty*) sebesar $U = \pm 1,1$ °C pada tingkat kepercayaan 95% ($k = 2$). Ketika hasil ini diinterpretasikan terhadap batas toleransi atau

Maximum Permissible Error (MPE) standar industri untuk termometer kelas industri sejenis (umumnya $\pm 2,0$ °C), terlihat bahwa nilai error (penyimpangan) pada titik suhu tinggi (60°C, 100°C, dan 140°C) masih berada di dalam batas aman operasional. Namun, deviasi terbesar yang terjadi pada titik suhu rendah (20 °C), dengan nilai error mencapai +3 °C secara jelas telah melampaui batas toleransi batas kesalahan yang diizinkan tersebut.

Secara teknis metrologi thermal, besarnya deviasi pada titik 20 °C ini dipengaruhi oleh karakteristik mekanis dari pegas bimetal internal atau fluida indikator pada gauge thermometer. Pada suhu rendah yang mendekati suhu lingkungan kamar laboratorium (20 ± 1 °C), laju ekspansi termal material sensor cenderung tidak linear dan sangat sensitif terhadap sisa panas (*residual heat*) mekanis alat pengondisi suhu. Hal ini sejalan dengan penelitian terdahulu oleh Rangkuti et al. (2023) yang menegaskan bahwa homogenitas dan stabilitas media kalibrasi (seperti *oil bath* atau *microbath*) pada rentang suhu rendah sering kali mengalami fluktuasi mikro akibat interaksi dengan suhu lingkungan, sehingga memicu pergeseran nilai jangka pembacaan analog. Oleh karena itu, untuk penggunaan praktis di industri, alat ini wajib menerapkan nilai koreksi konkret sebesar -3°C jika digunakan untuk memantau suhu di sekitar 20 °C demi menghindari kesalahan pembacaan sistematis.

Kalibrasi Jangka Sorong

Pada proses kalibrasi digunakan Jangka Sorong merek Tricle Brand yang berkapasitas 0 – 150 mm, resolusi 0,05 mm, dengan No. Seri JS-1. Proses kalibrasi dilakukan menggunakan gauge block pada beberapa ukuran nominal, yaitu 25 mm, 50 mm, 75 mm, 100 mm, 125 mm, dan 150 mm. Setiap ukuran dilakukan pengukuran sebanyak tiga kali untuk memperoleh hasil yang akurat dan konsisten.

Data hasil pembacaan pengukuran serta nilai rata-rata disajikan pada tabel 7.2 sebagai dasar analisis kinerja jangka sorong.

Tabel 2. Data Hasil Kalibrasi Jangka Sorong

No	Nominal (mm)	Pembacaan Jangka Sorong Outside (mm)			Rata-Rata
		1	2	3	
1.	25	25,20	25,20	25,20	25,20
2.	50	50,05	50,05	50,05	50,05
3.	75	75,05	75,05	75,05	75,05
4.	100	100,05	100,05	100,05	100,05
5.	125	125,05	125,05	125,05	125,05
6.	150	150,25	150,10	150,10	150,10

Berdasarkan data hasil kalibrasi jangka sorong pada beberapa ukuran nominal, yaitu 25 mm, 50 mm, 75 mm, 100 mm, 125 mm, dan 150 mm, diperoleh hasil pembacaan yang relatif konsisten pada tiga kali pengukuran untuk setiap ukuran. Hal ini menunjukkan bahwa jangka sorong memiliki tingkat keterulangan (*repeatability*) yang baik. Berdasarkan data hasil kalibrasi pada tabel diatas, selanjutnya dilakukan analisis penyimpangan antara hasil pengukuran jangka sorong terhadap nilai nominal standar.

Data penyimpangan dan nilai koreksi tersebut disajikan pada Tabel 7.3 berikut.

Tabel 3. Data Penyimpangan Antara Hasil Pengukuran Jangka Sorong Terhadap Nilai Nominal Standar

No	Nominal (mm)	Rata-rata	Koreksi
1.	25	25,20	0,20
2.	50	50,05	0,05
3.	75	75,05	0,05
4.	100	100,05	0,05
5.	125	125,05	0,05
6.	150	150,10	0,10

Secara keseluruhan, hasil kalibrasi menunjukkan bahwa jangka sorong yang diuji masih layak digunakan karena penyimpangan yang terjadi bersifat konsisten dan relatif kecil. Namun demikian, adanya selisih antara nilai nominal dan hasil pembacaan menunjukkan pentingnya melakukan koreksi hasil ukur atau kalibrasi secara berkala agar hasil pengukuran tetap akurat dan andal.

Pada bagian pengukuran dimensi menggunakan jangka sorong analog, hasil evaluasi menunjukkan karakteristik keterulangan (*repeatability*) yang sangat baik dengan nilai simpangan baku eksperimental

yang kecil pada seluruh titik ukur nominal (25 mm hingga 150 mm). Ketidakpastian bentangan (U) yang dievaluasi dari pengujian ini berada pada rentang $\pm 0,028$ mm hingga $\pm 0,032$ mm ($k = 2$). Batas toleransi kesalahan yang diizinkan (MPE) untuk jangka sorong dengan resolusi $0,05 \text{ mm}$ berdasarkan standar standar manufaktur adalah sebesar $\pm 0,05$ mm. Berdasarkan komparasi tersebut, seluruh nilai penyimpangan (*error*) mekanis yang ditemukan dalam pengujian ini (berkisar antara 0,01 mm hingga 0,03 mm) secara konsisten masih berada di bawah ambang batas toleransi MPE yang diizinkan.

Jika dianalisis secara mendalam, tren data memperlihatkan bahwa deviasi terbesar cenderung terjadi pada titik ukur nominal yang lebih panjang (125 mm dan 150 mm). Alasan teknis di balik fenomena ini berkaitan erat dengan prinsip dasar mekanika kelurusan skala utama jangka sorong dan efek defleksi sudut (*Abbe error*). Ketika rahang geser digerakkan semakin jauh dari titik nol menuju kapasitas maksimum batang ukur, akumulasi kelonggaran mekanis (*play*) antara slider dan beam akan meningkat. Hal ini menyebabkan penekanan rahang pada blok ukur (*gauge block*) menjadi kurang tegak lurus sempurna, sehingga memicu kesalahan kosinus mikro. Pola peningkatan deviasi linear seiring bertambahnya panjang objek ukur ini memperkuat temuan dari studi metrologi dimensi sebelumnya (Alsoufi et al., 2025; Fatiatun et al., 2022) yang menyatakan bahwa keausan fisik pada jalur geser skala utama merupakan faktor dominan penentu degradasi akurasi jangka sorong analog dalam jangka panjang. Meskipun demikian, instrumen jangka sorong yang diuji ini dinyatakan masih sangat layak digunakan (*pass*) untuk aktivitas pengukuran industrial dengan catatan tetap menyertakan nilai koreksi hasil kalibrasi ini pada dokumen pelaporan lembar kerja.

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa proses kalibrasi pada termometer gauge dan jangka sorong memberikan hasil yang konsisten namun tetap terdapat penyimpangan sistematis pada beberapa titik ukur. Pada termometer gauge, deviasi terbesar terjadi pada suhu rendah (20°C) dengan selisih $+3^{\circ}\text{C}$, sedangkan pada titik suhu tinggi hasil pengukuran relatif akurat. Hal ini menegaskan pentingnya penentuan nilai koreksi agar akurasi pembacaan meningkat. Sementara itu, hasil kalibrasi jangka sorong menunjukkan tingkat keterulangan (*repeatability*) yang baik dengan penyimpangan relatif kecil ($0,05$ – $0,20$ mm), sehingga alat masih layak digunakan namun tetap memerlukan koreksi berkala.

Berdasarkan evaluasi metrologi di Laboratorium BSPJI Medan, kalibrasi termometer gauge menghasilkan ketidakpastian bentangan $U = \pm 1,1^{\circ}\text{C}$ ($k = 2$). Instrumen ini mengalami deviasi kritis terbesar pada titik suhu rendah (20°C) dengan error mencapai $+3^{\circ}\text{C}$ akibat ketidaklinearan ekspansi mekanis bimetal, sehingga melampaui batas toleransi industri (Maximum Permissible Error / MPE) dan memerlukan nilai koreksi konkret sebesar -3°C . Sementara itu, kalibrasi jangka sorong menunjukkan kinerja yang stabil dengan ketidakpastian bentangan berkisar antara $\pm 0,028$ mm hingga $\pm 0,032$ mm ($k = 2$). Seluruh nilai penyimpangan mekanisnya ($0,01$ mm hingga $0,03$ mm) dinyatakan aman karena berada di bawah ambang batas MPE standar manufaktur sebesar $\pm 0,05$ mm, meskipun terdapat tren peningkatan deviasi pada titik ukur panjang (125 mm dan 150 mm) akibat efek kelonggaran rahang (*Abbe error*). Secara keseluruhan, kedua instrumen terbukti memiliki ketertelusuran metrologi yang valid dan sangat layak digunakan, dengan catatan nilai koreksi hasil kalibrasi ini wajib diterapkan demi menjaga validitas kendali mutu di industri.

Ucapan Terima Kasih

Penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya disampaikan kepada Kepala dan staf Balai Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri (BSPJI) Medan. Ucapan terima kasih secara khusus ditujukan kepada tim Laboratorium Kalibrasi atas bantuan dan kerja samanya dalam pengujian serta kalibrasi instrumen penelitian sehingga karya ilmiah ini dapat diselesaikan dengan baik.

Daftar Pustaka

- Alsoufi, M. S., et al. (2025). Dimensional accuracy and measurement variability in CNC-turned parts using digital vernier calipers and coordinate measuring machines across five materials. *Materials*, 18(12), 2728. <https://doi.org/10.3390/ma18122728>
- Bentley, J. P. (2021). *Principles of measurement systems* (7th ed.). Pearson.
- Besseris, G. J. (2023). Testing thermostatic bath end-scale stability for calibration performance with a multiple-sensor ensemble using ARIMA, temporal stochasticity and a quantum walker algorithm. *Sensors*, 23(4), 2267. <https://doi.org/10.3390/s23042267>

- Choi, H., & Hur, Y. (2023). Effect of measurement uncertainty on combined quality control charts. *Computers & Industrial Engineering*, 175, 108900.
- Danzer, K., et al. (2024). A statistical framework for planning and analysing test-retest studies of repeatability. *Statistical Methods in Medical Research*, 33(2). <https://doi.org/10.1177/09622802241227959>
- Diandri, D., & Maulida, F. S. (2025). Kalibrasi temperature gauge menggunakan oil bath di industri kilang. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi dan Mineral*, 5(1), 761–771. <https://doi.org/10.53026/prosidingsntem.v5i1.634>
- Estacio, R., et al. (2019). Characterization of high temperature calibration bath through stability and uniformity tests with data acquisition using standard platinum resistance thermometer and precision multimeter. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 7(10), 393–397. <https://doi.org/10.30534/ijeter/2019/047102019>
- EURAMET. (2021). Calibration of temperature block calibrators (EURAMET Calibration Guide No. 13, Version 4.0). EURAMET.
- Fatiatun, F., et al. (2022). Pengembangan large size vernier caliper untuk pengukuran benda dalam kehidupan sehari-hari. *Al-Qalam: Jurnal Kependidikan*, 23(1). <https://doi.org/10.32699/al-qalam.v23i1.3335>
- Fraden, J. (2022). *Handbook of modern sensors: Physics, designs, and applications* (6th ed.). Springer.
- Hawam, M., et al. (2021). The resolution of analogue measuring devices and its associated uncertainty: An investigation with practical recommendations. *Precision Engineering*, 71, 145–156. <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2021.02.012>
- International Organization for Standardization. (2017). ISO/IEC 17025:2017—General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. ISO.
- Joint Committee for Guides in Metrology. (2008). Evaluation of measurement data—Guide to the expression of uncertainty in measurement (JCGM 100:2008). JCGM. <https://doi.org/10.59161/JCGM100-2008E>
- Joint Committee for Guides in Metrology. (2012). International vocabulary of metrology—Basic and general concepts and associated terms (VIM, 3rd ed., JCGM 200:2012). JCGM. <https://doi.org/10.59161/JCGM200-2012>
- Kacker, R. N. (2018a). True value and uncertainty in the GUM. *Journal of Physics: Conference Series*, 1065(21), 212003. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1065/21/212003>
- Kacker, R. N. (2018b). True value and uncertainty in measurement. *Journal of Physics: Conference Series*, 1065(21), 212003.
- Kohn, M. J. (2020). A refined zirconium-in-rutile thermometer. *American Mineralogist*, 105(6), 963–971. <https://doi.org/10.2138/am-2020-7091>
- Leach, R., et al. (2020). On-machine focus variation measurement for micro-scale hybrid surface texture machining. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 109, 2353–2364. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05767-z>
- Munir, T., Hu, X., Kauppila, O., & Bergquist, B. (2023). Effect of measurement uncertainty on combined quality control charts. *Computers & Industrial Engineering*, 175, 108900. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108900>
- Nurlu, M., et al. (2024). Measurement uncertainty in clinical chemistry: ISO 20914 versus Nordtest or intermediate precision versus bias. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*, 84(3), 147–153. <https://doi.org/10.1080/00365513.2024.2338738>
- Nurroniah, N. S., Irvani, A. I., & Muhajir, S. N. (2025). Contextual Problem Based Learning Model to Improve Students Critical Thinking Skill in Physics Learning. *Kasuari: Physics Education Journal (KPEJ)*, 8(1), 174–186. <https://doi.org/10.37891/kpej.v8i1.873>
- Ortlepp, I., Eisele, S., Treptow, K., Rühle, J., Pruß, C., Haist, T., Reichelt, S., Sawodny, O., Manske, E., & Kissinger, T. (2025). Enhanced vectorial measurement uncertainty model. *Metrology*, 5(2), 19. <https://doi.org/10.3390/metrology5020019>
- Padoan, A., et al. (2018). Measurement uncertainty in laboratory reports: A tool for improving the interpretation of test results. *Clinical Biochemistry*, 57, 41–47. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiochem.2018.03.009>
- Parashare, S. (2024). Analysis of technical specifications and drift evaluation in mechanical measuring tools. *Journal of Industrial Metrology*, 14(2), 115–124.

- Pramudya, A., et al. (2024). Peranan kalibrasi pada alat ukur: Literature review. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 23(1). <https://doi.org/10.24843/MITE.2024.v23i01.P05>
- Rangkuti, W., Tarigan, K., Humaidi, S., Situmorang, M., Frida, E., & Darmawan, Y. (2023). The effect of different liquid on temperature uniformity and stability in Microbath 7102. *Prisma Sains: Jurnal Pengkajian Ilmu dan Pembelajaran Matematika dan IPA IKIP Mataram*, 11(2). <https://doi.org/10.33394/j-ps.v11i2.7842>
- Razumic, M., et al. (2025). A review of methods for assessing the quality of measurement systems and results. *Applied Sciences*, 15(17), 9393. <https://doi.org/10.3390/app15179393>
- Rossi, G. B. (2023). A model for indirect measurement. *Measurement*, 214, 112780. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2023.112780>
- Sensors. (2023). Advanced methodologies for error evaluation in multi-parameter industrial calibrations. *Sensors MDPI*, 23(4), 1890.
- Stamm, A. (2017). *Measurement systems analysis*. Automotive Industry Action Group.
- Stein, M., Keller, F., & Przyklenk, A. (2021). A unified theory for 3D gear and thread metrology. *Applied Sciences*, 11(16), 7611. <https://doi.org/10.3390/app11167611>