

SNSU PK.P-02:2020

Panduan Kalibrasi **Jangka Sorong**



SNSU PK.P-02:2020

PANDUAN KALIBRASI JANGKA SORONG

Penyusun:

1. Okasatria Novyanto
2. Eka Pratiwi
3. Rina Yuniarty

Kontributor:

1. Albertus Darmawan
2. Endang Sumirat
3. FX. Cahyo Purnomo
4. Ediyanto
5. Sekretariat Komite Akreditasi Nasional (KAN)

Desain sampul: Bagus Muhammad Irvan - BSN

**Direktorat Standar Nasional Satuan Ukuran Mekanika, Radiasi, dan Biologi
Badan Standardisasi Nasional**

Hak cipta © Badan Standardisasi Nasional, 2020

Lembar Pengesahan

Panduan Kalibrasi Jangka Sorong (SNSU PK.P-02:2020) diterbitkan oleh Badan Standardisasi Nasional sebagai upaya untuk mengharmoniskan pelaksanaan kalibrasi jangka sorong di laboratorium kalibrasi maupun institusi lain yang berkepentingan dengan pengukuran yang perlu dijamin keabsahannya. Panduan ini mencakup definisi umum, langkah-langkah kalibrasi, serta evaluasi ketidakpastian pengukuran. Panduan ini disusun berdasarkan acuan metode internasional, nasional, maupun sumber ilmiah lainnya melalui proses pembahasan internal di Direktorat Standar Nasional Satuan Ukuran Mekanika, Radiasi, dan Biologi serta dengan mempertimbangkan masukan dari para ahli di bidang metrologi dimensi.

Dokumen ini diterbitkan secara bebas dan tidak untuk diperjualbelikan secara komersial. Bagian dari dokumen ini dapat dikutip untuk keperluan edukasi atau kegiatan ilmiah dengan menyebutkan sumbernya, namun tidak untuk keperluan komersial.

Disahkan tanggal 14 Desember 2020



Hastori
Deputi Bidang Standar Nasional Satuan Ukuran
Badan Standardisasi Nasional

Daftar isi

1	Pendahuluan	1
2	Lingkup	1
3	Definisi.....	1
4	Komponen	1
5	Prinsip kalibrasi	2
6	Persyaratan kalibrasi.....	2
7	Prosedur kalibrasi.....	2
7.1	Pemeriksaan kerataan dan keausan muka ukur (pengukuran luar)	2
7.2	Pengukuran kesejajaran muka ukur (pengukuran luar).....	3
7.3	Pengukuran kesalahan kontak permukaan sebagian (pengukuran luar)	4
7.4	Pengukuran kesalahan <i>shift</i> - Pengukuran dalam	6
7.5	Pengukuran kesalahan <i>shift</i> - Pengukuran dalam dengan ujung pisau bersilang	7
7.6	Pengukuran kesalahan <i>shift</i> - Pengukuran kedalaman	8
8	Evaluasi ketidakpastian pengukuran	9
8.1	Model matematis.....	9
8.2	Evaluasi sumber-sumber ketidakpastian	10
8.3	Contoh bujet ketidakpastian.....	12
9	Laporan Kalibrasi.....	13
	Lampiran A Contoh laporan kalibrasi	14
	Bibliografi.....	15

Panduan Kalibrasi Jangka Sorong

1 Pendahuluan

- 1.1 Tujuan dibuatnya panduan kalibrasi jangka sorong ini adalah untuk mengharmonisasikan pelaksanaan kalibrasi alat ukur jenis jangka sorong yang dilakukan oleh laboratorium yang menerapkan SNI ISO/IEC 17025, *Persyaratan umum kompetensi laboratorium pengujian dan kalibrasi*.
- 1.2 Metode kalibrasi yang diuraikan dalam panduan ini didasarkan pada standar ISO 13385-1:2019 khususnya klausul 5 butir 5 dan 6. Evaluasi ketidakpastian pengukuran mengacu kepada Metode ISO GUM (JCGM 100:2008) yang diuraikan dalam dokumen EA-4/02.

2 Lingkup

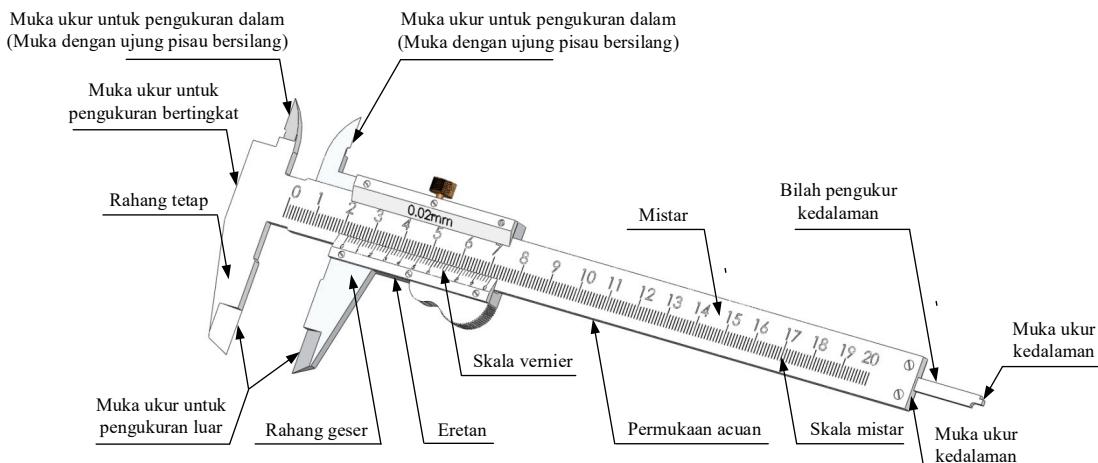
- 2.1 Panduan ini menguraikan prosedur metode kalibrasi jangka sorong dengan tipe *vernier*, *dial*, maupun digital dengan rentang ukur 0 s.d. 300 mm, meliputi:
 - 2.1.1 Pemeriksaan kerataan rahang,
 - 2.1.2 Pengukuran kesejajaran rahang,
 - 2.1.3 Pengukuran kesalahan penunjukan jangka sorong.
- 2.2 Panduan ini juga menetapkan prosedur evaluasi ketidakpastian pengukuran yang terkait dengan kalibrasi jangka sorong.

3 Definisi

- 3.1 Jangka sorong atau kaliper adalah alat ukur yang dapat mengukur jarak di antara kedua muka ukurnya berdasarkan skala mistar dan skala bantu (*vernier* atau *dial*), dengan menggeser eretan yang menyatu pada rahang pengukur.
- 3.2 Kesalahan penunjukan adalah nilai penunjukan jangka sorong dikurangi nilai sesungguhnya.
- 3.3 Kesalahan kontak permukaan sebagian (*partial surface contact error*) adalah kesalahan penunjukan saat kontak muka ukur sebagian digunakan untuk mengukur sebuah standar pengukuran dengan muka ukur luar.
- 3.4 Kesalahan *shift* (*shift error*) adalah kesalahan penunjukan saat kontak muka ukur keseluruhan atau sebagian digunakan untuk mengukur sebuah standar pengukuran dengan selain muka ukur luar.

4 Komponen

- 4.1 Nama bagian-bagian utama jangka sorong diuraikan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Jangka Sorong

5 Prinsip kalibrasi

- 5.1 Pemeriksaan kerataan dan keausan muka ukur luar dilakukan secara visual sederhana.
- 5.2 Pengukuran kesejajaran muka ukur luar dilakukan dengan menggunakan *pin gauge* berdiameter kecil.
- 5.3. Pengukuran kesalahan penunjukan jangka sorong dilakukan dengan perbandingan terhadap seperangkat balok ukur kelas 2 (ISO 3650) atau yang setara, misalnya *caliper checker*.

6 Persyaratan kalibrasi

- 6.1 Kalibrasi dilakukan dalam suhu $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ dan kelembaban relatif kurang dari 65%. Jika suhu ruang pengukuran di luar rentang tersebut, kalibrasi dapat dilakukan asalkan pengaruh suhu terhadap ketidakpastian pengukuran diperhitungkan dan dipastikan masih di bawah batas toleransi.

7 Prosedur kalibrasi

Secara umum, kalibrasi harus mencakup pengujian verifikasi dari semua karakteristik metrologi yang ada disepanjang rentang pengukuran. Kalibrasi juga perlu mempertimbangkan penggunaan dari jangka sorong itu sendiri, misalnya sebuah jangka sorong yang hanya digunakan untuk pengukuran diameter luar saja, maka semua jenis pengujian karakteristik metrologi terkait dengan kesalahan *shift* dapat dianggap tidak perlu. Begitu pula untuk jangka sorong yang baru, pemeriksaan kesejajaran, kerataan, dan keausan muka ukur pengukuran luar (*line contact error*) seringkali tidak diperlukan.

7.1 Pemeriksaan kerataan dan keausan muka ukur (pengukuran luar)

- 7.1.1 Rapatkan kedua rahang pengukuran luar. Terawang celah di antara kedua rahang tersebut dengan latar belakang lampu atau objek yang cukup terang. Jika tidak ada berkas cahaya yang tampak di antara celah tersebut, kondisi rahang dan muka ukur dapat dianggap cukup baik.

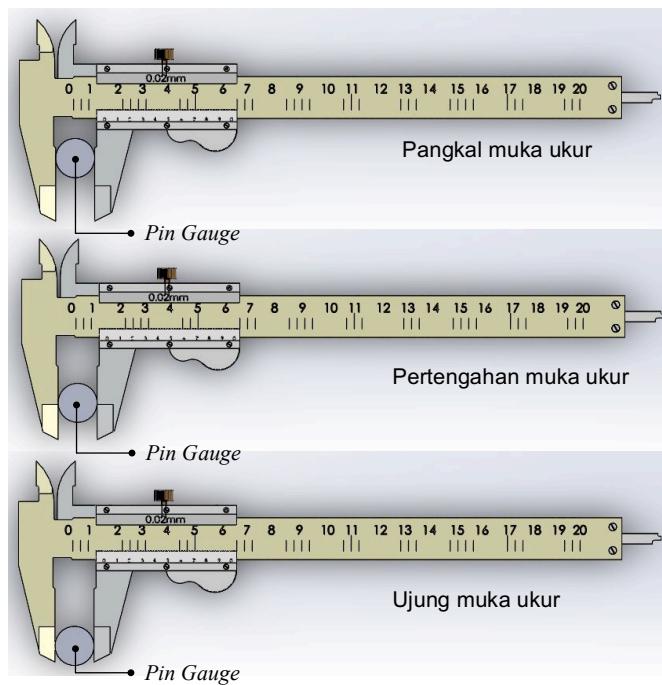
- 7.1.2 Pemeriksaan pada klausul 7.1.1 juga bisa dilakukan dengan meletakkan pisau pelurus atau *jaw* tipe rata pada masing-masing rahang permukaan ukur.



Gambar 2. Contoh pemeriksaan kerataan muka ukur secara visual sederhana

7.2 Pengukuran kesejajaran muka ukur (pengukuran luar)

- 7.2.1 Letakkan sebuah *pin gauge* berdiameter kecil, misal 15 mm, di antara kedua muka ukur jangka sorong, lalu geser rahang hingga muka ukurnya berhimpit dengan *pin gauge*¹.
- 7.2.2 Berikutnya geser *pin gauge* sehingga posisinya relatif terhadap rahang jangka sorong bervariasi, sebagaimana diuraikan pada Gambar 3, yakni di pangkal muka ukur, pertengahan muka ukur, dan ujung muka ukur. Lakukan pembacaan pada setiap posisi tersebut.



Gambar 3. Contoh pengukuran kesejajaran muka ukur jangka sorong

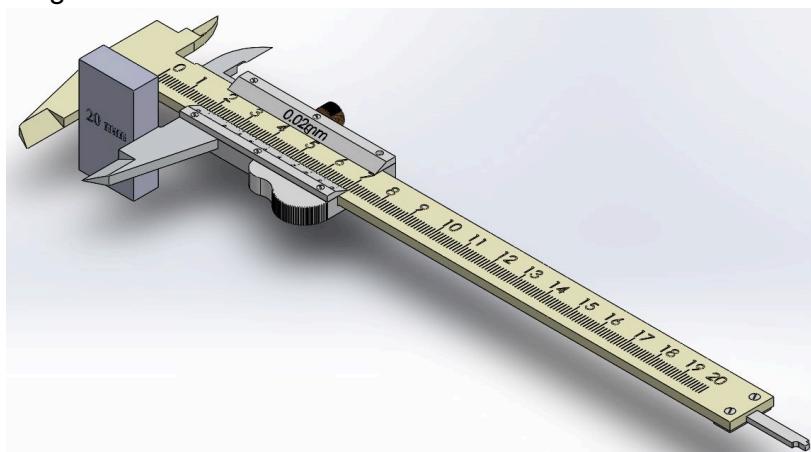
¹ *Pin gauge* sebaiknya diletakkan sedemikian sehingga tegak lurus dengan muka ukur jangka sorong.

- 7.2.3 Kesejajaran muka ukur pengukuran luar diperoleh dari pembacaan nilai maksimum dikurangi dengan nilai minimum.

7.3 Pengukuran kesalahan kontak permukaan sebagian (pengukuran luar)

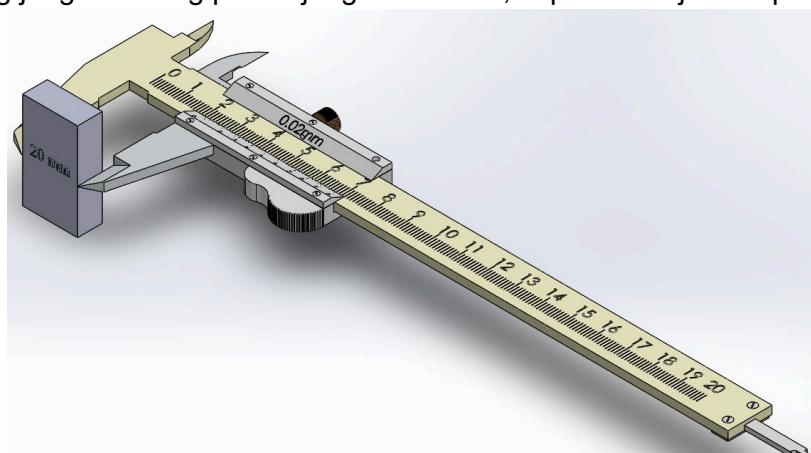
7.3.1 Menggunakan Balok Ukur

- 7.3.1.1 Letakkan balok ukur atau gabungan balok ukur di antara kedua pangkal muka ukur jangka sorong, lalu geser rahang hingga muka ukurnya berimpit dengan balok ukur², seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Berikutnya lakukan pembacaan skala (penunjukan) jangka sorong. Nilai kesalahan penunjukan jangka sorong adalah nilai penunjukan dikurangi panjang balok ukur. Nilai koreksi balok ukur harus diperhitungkan.



Gambar 4. Contoh pengukuran kesalahan penunjukan jangka sorong dengan menggunakan balok ukur (pengukuran luar) pada posisi pangkal muka ukur

- 7.3.1.2 Lakukan pengukuran pada klausul 7.3.1.1 dengan posisi balok ukur relatif terhadap rahang jangka sorong pada ujung muka ukur, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Contoh pengukuran kesalahan penunjukan jangka sorong dengan menggunakan balok ukur (pengukuran luar) pada posisi ujung muka ukur

² Balok ukur sebaiknya diletakkan sedemikian sehingga titik tengahnya berimpit dengan muka ukur jangka sorong.

- 7.3.1.3 Lakukan pengukuran pada klausul 7.3.1.1 dan 7.3.1.2 dengan beberapa ukuran balok ukur atau gabungan balok ukur. Ukuran balok ukur atau gabungan balok ukur yang digunakan tidak ditetapkan secara khusus dalam standar, sehingga dapat dipilih beberapa nilai di sepanjang rentang ukur jangka sorong yang jumlah minimumnya seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Namun demikian, dari beberapa nilai yang dipilih tersebut setidaknya ada 1 (satu) nilai ukur yang besarnya 90% atau lebih dari rentang pengukuran.

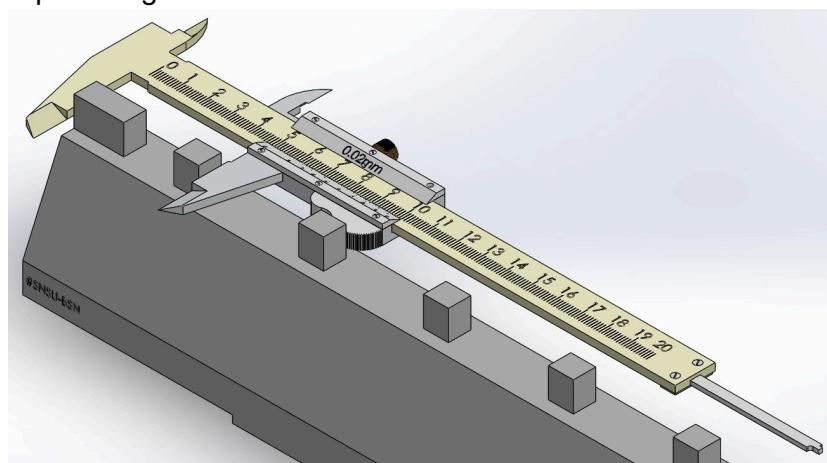
Tabel 1. Jumlah minimum nilai ukur untuk pengukuran kesalahan penunjukan jangka sorong dengan menggunakan balok ukur (pengukuran luar)

Rentang ukur	Jumlah minimum nilai ukur
0 s.d. 150 mm	5
0 s.d. 300 mm	6
0 s.d. 1000 mm	7
Lebih dari 1000 mm	8

(Sumber: ISO 13385-1:2019, halaman 7)

7.3.2 Menggunakan *caliper checker*

- 7.3.2.1 Letakkan *caliper checker* di atas permukaan meja yang rata.
- 7.3.2.2 Jangka sorong diletakkan sedemikian sehingga muka ukur *caliper checker* (gunakan fungsi pengukuran luar) berada di antara kedua muka ukurnya, lalu geser rahang hingga muka ukur jangka sorong berhimpit dengan muka ukur *caliper checker*³, seperti ditunjukkan oleh Gambar 6. Berikutnya lakukan pembacaan skala (penunjukan) jangka sorong. Nilai kesalahan penunjukan jangka sorong adalah nilai penunjukan dikurangi panjang nominal *caliper checker*. Nilai koreksi *caliper checker* harus diperhitungkan.



Gambar 6. Pengukuran kesalahan penunjukan jangka sorong dengan menggunakan *caliper checker* (pengukuran luar)

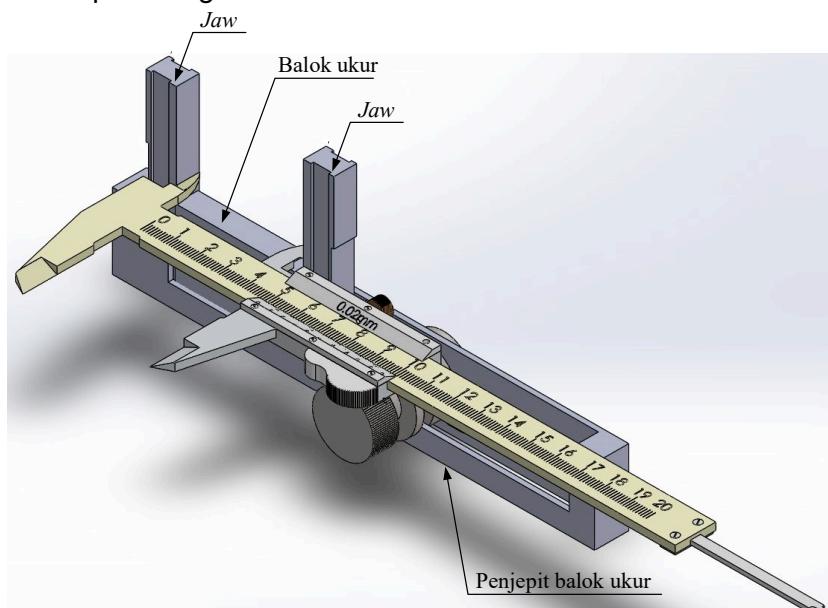
- 7.3.2.3 Lakukan pengukuran pada klausul 7.3.2.2 dengan beberapa panjang nominal *caliper checker*, umumnya ukuran yang dipakai adalah 20 mm, 50 mm, kemudian setiap kelipatan 50 mm.

³ Pengukuran dilakukan di pangkal muka ukur dan ujung muka ukur jangka sorong.

7.4 Pengukuran kesalahan *shift* - Pengukuran dalam

7.4.1 Menggunakan balok ukur

- 7.4.1.1 Letakkan penjepit balok ukur di atas permukaan meja yang rata.
- 7.4.1.2 Susun balok ukur atau gabungan balok ukur bernilai nominal sama dengan nilai ukur jangka sorong di antara dua jaw tipe rata menggunakan penjepit balok ukur.
- 7.4.1.3 Letakkan jangka sorong di antara kedua muka ukur jaw tipe rata, lalu geser rahang hingga muka ukurnya berhimpit dengan kedua muka ukur jaw tersebut⁴, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.
- 7.4.1.4 Lakukan pengukuran kesalahan penunjukan dengan menambahkan balok-balok ukur dan menghitung selisih penunjukan jangka sorong dan panjang balok ukur. Lihat klausul 7.3.1 untuk menentukan panjang balok ukur yang digunakan. Nilai koreksi balok ukur harus diperhitungkan.



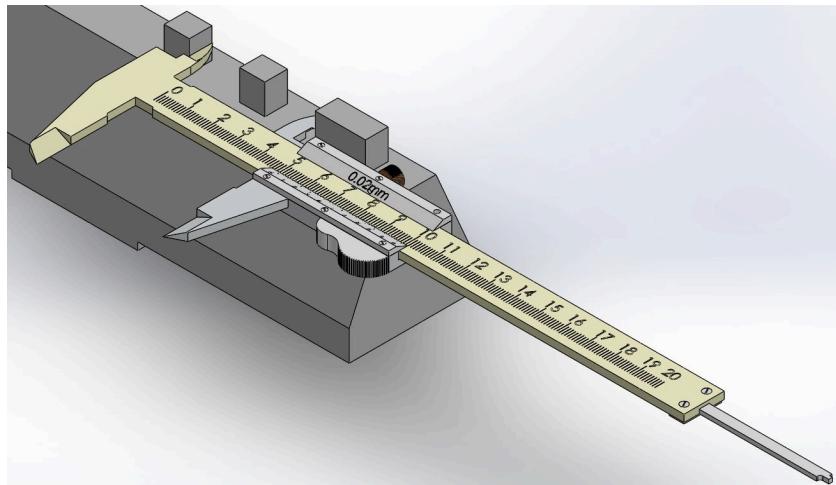
Gambar 7. Pengukuran kesalahan penunjukan jangka sorong dengan menggunakan balok ukur (pengukuran dalam)

7.4.2 Menggunakan caliper checker

- 7.4.2.1 Letakkan caliper checker di atas permukaan meja yang rata.
- 7.4.2.2 Letakkan jangka sorong di antara muka ukur caliper checker (gunakan fungsi pengukuran dalam), lalu geser rahang hingga muka ukurnya berhimpit dengan muka ukur caliper checker⁵, seperti ditunjukkan oleh gambar 8. Berikutnya lakukan pembacaan skala (penunjukan) jangka sorong. Nilai kesalahan penunjukan jangka sorong adalah nilai penunjukan dikurangi panjang nominal caliper checker. Nilai koreksi caliper checker harus diperhitungkan.

⁴ Posisi rahang jangka sorong relatif terhadap jaw sebaiknya diletakkan sedemikian sehingga kesalahan Abbe dapat diminimalisasi.

⁵ Jangka sorong sebaiknya diletakkan sedemikian sehingga muka ukurnya berhimpit dengan titik tengah muka ukur caliper checker.



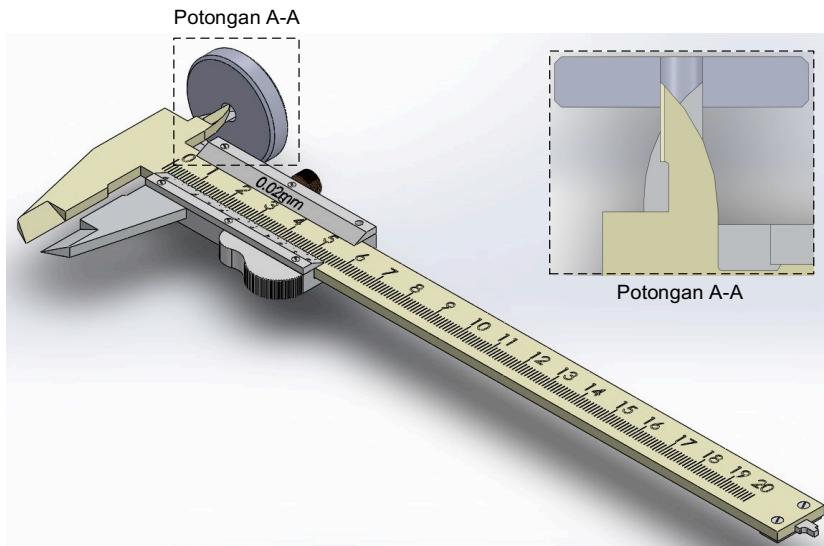
Gambar 8. Pengukuran kesalahan penunjukan jangka sorong dengan menggunakan *caliper checker* (pengukuran dalam)

- 7.4.2.3 Lakukan pengukuran pada Klausul 7.4.2.2 dengan beberapa panjang nominal *caliper checker*. Lihat Klausul 7.3.2 untuk menentukan panjang nominal *caliper checker* yang digunakan.

7.5 Pengukuran kesalahan *shift* - Pengukuran dalam dengan ujung pisau bersilang

7.5.1 Menggunakan *setting ring gauge*

- 7.5.1.1 Pilih *setting ring gauge* berdiameter kecil, misal 5 mm, sebagai standar ukur. Gunakan fungsi ujung pisau bersilang pada jangka sorong untuk mengukur diameter *setting ring gauge*.
- 7.5.1.2 Masukkan bagian ujung pisau bersilang sedalam setengah tebal *setting ring gauge* ke lubang diameter dalam. Kemudian geser rahang jangka sorong hingga muka ukurnya berhimpit dengan dinding diameter dalam *setting ring gauge*, seperti ditunjukkan oleh Gambar 9. Berikutnya lakukan pembacaan skala (penunjukan) jangka sorong. Nilai kesalahan penunjukan jangka sorong adalah nilai penunjukan dikurangi diameter nominal *setting ring gauge*. Nilai koreksi *setting ring gauge* harus diperhitungkan.

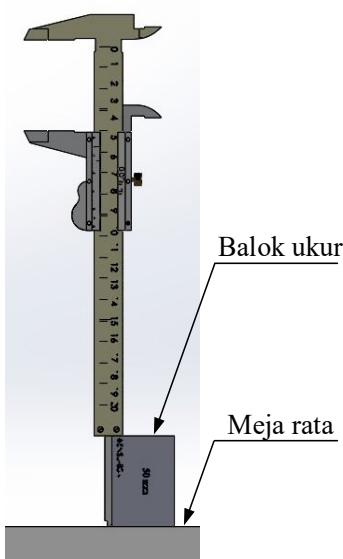


Gambar 9. Pengukuran kesalahan penunjukan jangka sorong dengan menggunakan *setting ring gauge* (Pengukuran dalam dengan ujung pisau bersilang)

7.6 Pengukuran kesalahan *shift* - Pengukuran kedalaman

7.6.1 Menggunakan balok ukur

- 7.6.1.1 Letakkan balok ukur di atas meja rata. Salah satu muka ukurnya berimpit dengan permukaan meja rata tersebut.
- 7.6.1.2 Letakkan sebagian muka ukur kedalaman pada jangka sorong di atas muka ukur balok ukur, lalu geser rahang hingga muka ukur pada bilah pengukur kedalaman berhimpit dengan permukaan meja rata, seperti ditunjukkan oleh Gambar 10. Kemudian lakukan pembacaan skala (penunjukan) jangka sorong. Nilai kesalahan penunjukan jangka sorong adalah nilai penunjukan dikurangi panjang balok ukur. Nilai koreksi balok ukur harus diperhitungkan.



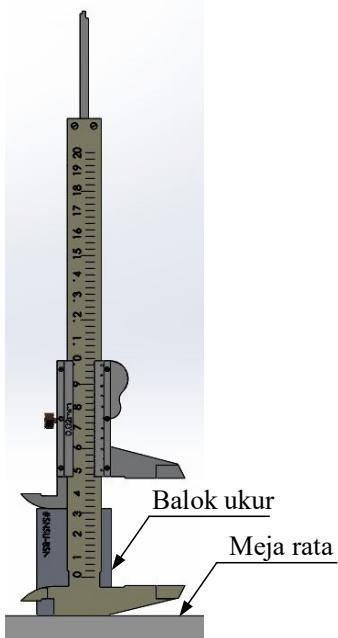
Gambar 10. Pengukuran kesalahan penunjukan jangka sorong dengan menggunakan balok ukur (Pengukuran kedalaman)

- 7.6.1.3 Lakukan pengukuran pada klausul 7.6.1.1 dan 7.6.1.2 dengan beberapa ukuran balok ukur. Ukuran balok ukur yang digunakan tidak ditetapkan secara khusus dalam standar, sehingga dapat dipilih beberapa nilai yang besarnya kurang dari 50 mm.

7.7 Pengukuran kesalahan *shift* - Pengukuran bertingkat

7.7.1 Menggunakan balok ukur

- 7.7.1.1 Letakkan balok ukur di atas meja rata (minimal grade 1). Salah satu muka ukurnya berimpit dengan permukaan meja rata tersebut.
- 7.7.1.2 Letakkan muka ukur untuk pengukuran bertingkat pada jangka sorong di atas muka ukur balok ukur, lalu geser rahang hingga muka ukur untuk pengukuran bertingkat lainnya berhimpit dengan permukaan meja rata, seperti ditunjukkan oleh Gambar 11. Kemudian lakukan pembacaan skala (penunjukan) jangka sorong. Nilai kesalahan penunjukan jangka sorong adalah nilai penunjukan dikurangi panjang balok ukur. Nilai koreksi balok ukur harus diperhitungkan.
- 7.7.1.3 Lakukan pengukuran pada klausul 7.7.1.1 dan 7.7.1.2 dengan beberapa ukuran balok ukur. Ukuran balok ukur yang digunakan tidak ditetapkan secara khusus dalam standar, sehingga dapat dipilih beberapa nilai yang besarnya kurang dari 50 mm.



Gambar 11. Pengukuran kesalahan penunjukan jangka sorong dengan menggunakan balok ukur (Pengukuran kedalaman)

8 Evaluasi ketidakpastian pengukuran

8.1 Model matematis

- 8.1.1 Kesalahan penunjukan jangka sorong dihitung dengan model seperti pada Persamaan (1)

$$e = r - l_s + l_s(\bar{\alpha} \cdot \delta\theta + \bar{\theta} \cdot \delta\alpha) - l_d - l_w - l_g - l_f \quad (1)$$

dengan

e	: Kesalahan penunjukan jangka sorong
r	: Penunjukan jangka sorong
l_s	: Panjang balok ukur
$\bar{\theta} = \frac{t_s + t_t}{2} - 20^\circ\text{C}$: Selisih antara (suhu rata-rata kedua benda) terhadap suhu acuan 20°C
t_s	: Suhu balok ukur
t_t	: Suhu jangka sorong
$\delta\alpha = \alpha_t - \alpha_s$: Selisih antara koefisien muai kedua benda
α_s	: Koefisien muai thermal balok ukur
α_t	: Koefisien muai thermal jangka sorong
$\bar{\alpha} = \frac{\alpha_s + \alpha_t}{2}$: Koefisien muai thermal rata-rata kedua benda
$\delta\theta = t_t - t_s$: Selisih antara suhu kedua benda
l_d	: <i>Drift</i> nilai koreksi balok ukur
l_w	: Koreksi akibat <i>wringing</i> balok ukur
l_g	: Koreksi akibat ketidak sempurnaan geometrik muka ukur jangka sorong
l_f	: Koreksi akibat variasi gaya yang diberikan oleh operator

8.1.2 Berdasarkan model matematis pada persamaan (1), ketidakpastian baku gabungan dalam nilai kesalahan penunjukkan dapat dihitung dengan persamaan (2).

$$u_c^2(e) = u^2(r) + u^2(l_s) + l_s^2 \cdot u^2(\bar{\theta}) \cdot u^2(\delta\alpha) + l_s^2 \cdot \bar{\alpha}^2 \cdot u^2(\delta\theta) + u^2(l_d) + u^2(l_w) + u^2(l_g) + u^2(l_f) \quad (2)$$

8.2 Evaluasi sumber-sumber ketidakpastian

8.2.1 Sumber-sumber ketidakpastian dalam persamaan (2) dapat dievaluasi menurut panduan dalam Table 2.

Tabel 2. Evaluasi Sumber-sumber ketidakpastian

Besaran	Estimasi nilai besaran	Evaluasi ketidakpastian
$u(r)$	Nilai r didapat dari rata-rata penunjukan jangka sorong dari pengukuran berulang $r = \frac{\sum_i^n r_i}{n}$	<p>Terdapat dua sumber ketidakpastian yaitu variasi pengukuran berulang δr_{rep} dan pembulatan akibat keterbatasan resolusi, δr_{rnd}.</p> $u^2(r) = u^2(\delta r_{\text{rep}}) + u^2(\delta r_{\text{rnd}})$ $u(\delta r_{\text{rep}}) = \frac{s}{\sqrt{n}}$ <p>s : simpangan baku n : banyaknya pengukuran pada titik ukur yang dievaluasi</p> <p>Pengukuran berulang untuk mengevaluasi sebaran nilai dapat dilakukan pada salah satu titik ukur dan sebaiknya dilakukan 10 kali pada titik tersebut.</p> $u(\delta r_{\text{rnd}}) = \frac{a}{\sqrt{3}}$ <p>a : setengah dari nilai terkecil yang dapat dibaca dari skala penunjukan jangka sorong .</p> <p>Pada jangka sorong dengan skala analog tanpa nonius, nilai a bisa saja lebih kecil dari $\frac{1}{2}$ divisi skala terkecil jangka sorong.</p>

Besaran	Estimasi nilai besaran	Evaluasi ketidakpastian
$u(l_s)$	Nilai l_s adalah jumlah dari nilai nominal balok ukur l_n dan koreksi δl_s . $l_s = l_n + \delta l_s$	Ketidakpastian nilai koreksi balok ukur didapatkan dari nilai ketidakpastian terentang U_{95} di sertifikat kalibrasinya, dibagi faktor cakupan k : $u(l_s) = u(\delta l_s) = \frac{U_{95}}{k}$ Jika menggunakan gabungan balok ukur, nilainya dihitung sesuai aturan penggabungan ketidakpastian: $u^2(l_s) = \sum_i u^2(l_{s_i})$ Gunakan nilai $u(l_s)$ terbesar dari semua ukuran yang dikalibrasi.
$u(\bar{\theta}) \times u(\delta\alpha)$	Kalibrasi dilakukan dalam ruangan yang dikondisikan pada rentang $(20 \pm \Delta t)$ °C sehingga nilai $\bar{\theta}$ dapat diestimasi 0 °C. Jangka sorong dan balok ukur diasumsikan terbuat dari material yang sama sehingga keduanya mempunyai koefisien muai thermal yang sama pula, atau $\delta\alpha = 0$ /°C.	Karena $\bar{\theta}$ dan $\delta\alpha$ mempunyai nilai harapan nol, maka ketidakpastiannya diestimasi pada orde kedua. $u(\bar{\theta})$ mempunyai rentang $\Delta\theta$ dengan distribusi persegi: $u(\bar{\theta}) = \frac{\Delta\theta}{\sqrt{3}}$ Jika koefisien muai jangka sorong dan balok ukur masing-masing mempunyai rentang ketidakpastian $\Delta\alpha$ dengan distribusi persegi, maka gabungan keduanya akan mempunyai rentang dua kali lipat dan distribusi segitiga: $u(\delta\alpha) = \frac{2\Delta\alpha}{\sqrt{6}}$
$u(\delta\theta)$	Jangka sorong dan balok ukur dikondisikan cukup lama sehingga mempunyai suhu yang sama, sehingga perbedaan suhunya mendekat nol. $\delta\theta = 0$ °C	$u(\delta\theta)$ mempunyai rentang sebesar selisih suhu residual antara kedua benda Δt dengan distribusi persegi: $u(\delta\theta) = \frac{\Delta t}{\sqrt{3}}$
$u(l_d)$	Drift nilai koreksi balok ukur diasumsikan nol: $l_d = 0$	$u(l_d)$ mempunyai rentang sebesar penyimpangan temporal maksimum yang diizinkan menurut standar ISO 3650 Δl_d , dengan distribusi persegi: $u(l_d) = \frac{\Delta l_d}{\sqrt{3}}$ $\Delta l_d = (0,05 + 0,0005 \cdot l_s) \cdot y \text{ } \mu\text{m}$ (Kelas 1,2), atau $\Delta l_d = (0,02 + 0,00025 \cdot l_s) \cdot y \text{ } \mu\text{m}$ (Kelas K,0) l_s : panjang nominal balok ukur dalam mm y : jangka waktu sejak kalibrasi balok ukur terakhir dalam tahun
$u(l_w)$	Efek wringing balok ukur diasumsikan bernilai nol. $l_w = 0$	$u(l_w)$ mempunyai rentang ketidakpastian Δl_w (yang sebanding dengan banyaknya wringing) dengan distribusi persegi: $u(l_w) = \frac{\Delta l_w}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{k \cdot (0,05 \text{ } \mu\text{m})^2}}{\sqrt{3}}$
$u(l_g)$	Efek geometris akibat ketidaksempurnaan muka ukur jangka sorong diasumsikan bernilai nol. $l_g = 0$	$u(l_g)$ mempunyai rentang ketidakpastian Δl_g dengan distribusi persegi: $u(l_g) = \frac{\Delta l_g}{\sqrt{3}} = \frac{0,5}{\sqrt{3}} \text{ } \mu\text{m}$

Besaran	Estimasi nilai besaran	Evaluasi ketidakpastian
$u(l_f)$	Efek mekanik akibat variasi gaya yang diberikan oleh operator diasumsikan bernilai nol $l_f = 0$	$u(l_f)$ mempunyai rentang ketidakpastian Δl_f dengan distribusi persegi: $u(l_f) = \frac{\Delta l_f}{\sqrt{3}} = \frac{10}{\sqrt{3}} \mu\text{m}$

8.3 Contoh bujet ketidakpastian

Sebuah jangka sorong 150 mm dengan resolusi 0,05 mm dikalibrasi menggunakan balok ukur kelas 0. Di dalam sertifikat kalibrasi balok ukur tersebut dilaporkan bahwa ketidakpastian pengukuran bentangan sebesar 0,14 μm dengan faktor cakupan 2. Persyaratan suhu ruangan kalibrasi adalah $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$. Contoh bujet ketidakpastian kalibrasi jangka sorong tersebut ditunjukkan dalam Tabel 8.2, dengan nilai-nilai masukan lain yang diperlukan yakni sebagai berikut :

- Rentang koefisien muai jangka sorong ataupun balok ukur, $\Delta\alpha = 1 \times 10^{-6} /^\circ\text{C}$;
- Rentang selisih suhu residual antara kedua benda, $\Delta t = 0,05^\circ\text{C}$;
- Rentang ketidakpastian dari efek geometris akibat ketidak sempurnaan muka ukur jangka sorong, $\Delta l_g = 0,5 \mu\text{m}$;
- Nilai koreksi balok ukur, $\delta l_s = 0,0001 \text{ mm}$.

Tabel 3. Contoh budget ketidakpastian

	X_i	$u(x_i)$	satuan	c_i	satuan	u_i (mm)	v_i	u_i^4/v_i
l	150		mm					
$u(\delta r_{\text{rep}})$	0	0.000 048	mm	1	1	2.341E-09	9	3.34E-36
$u(\delta r_{\text{rnd}})$	0	0.014434	mm	1	1	2.083E-04	1E+99	4.34E-107
$u(l_s)$	150.0001	0.000 070	mm	1	1	4.900E-09	60	4.00E-19
$u(\bar{\theta}) \times u(\delta\alpha)$	0	4.71E-07	1	150.0001	mm	5.000E-09	60	4.17E-19
$u(\delta\theta)$	0	0.028 868	$^\circ\text{C}$	1.73E-3	$\text{mm} \cdot {}^\circ\text{C}^{-1}$	2.480E-09	60	1.02E-19
$\bar{\alpha}$	11.5E-6		${}^\circ\text{C}^{-1}$					
$u(l_d)$	0	0.072 169	μm	1	1	5.208E-09	60	4.52E-19
$u(l_w)$	0	0.000 000	μm	1	1	0.000 000	60	0.00E+00
$u(l_g)$	0	0.288 675	μm	1	1	8.333E-08	60	1.16E-16
$u(l_f)$	0	5.773 503	μm	1	1	3.333E-05	60	1.85E-11
u_c^2	Hasil penjumlahan semua elemen pada kolom u_i					0.000 242	v_{eff}	3156
u_c	Akar kuadrat dari u_c^2					0.015 549		
k	Faktor cakupan					1.96		
U_{95}	Ketidakpastian bentangan					0.031		

CATATAN : Nilai komponen ketidakpastian hanya sebagai ilustrasi dan bukan merupakan panduan.

9 Laporan Kalibrasi

- 9.1 Hasil pengukuran kesalahan penunjukan dapat ditampilkan sebagai nilai kesalahan pengukuran, atau sebagai nilai koreksi penunjukan dengan tanda (+/-) yang berlawanan dengan nilai kesalahan penunjukan.

Lampiran A
(informatif)
Contoh laporan kalibrasi

No Order / *Order Number* :
Nama Alat / *Instrument Name* :
Nama Pembuat / *Manufacturer* :
Type & No. Seri / *Serial Number* :
Rentang / *Range* :
Resolusi/ *Resolution* :
Tanggal Kalibrasi / *Calibration Date* :
Tempat Kalibrasi / *Calibration Place* :
Kelembaban / *Relative Humidity* : (±) %
Suhu / *Temperature* : (±) °C

HASIL KALIBRASI/CALIBRATION RESULT

Panjang Nominal / <i>Nominal Length</i> (mm)	Kesalahan Kontak Permukaan Sebagian / <i>Partial Surface Contact Error</i> (mm)

Catatan/*Notes*:

Standar kalibrasi / *Reference standard* :
Prosedur kalibrasi / *Calibration procedure* :
Ketidakpastian pengukuran/*Measurement uncertainty* :
Hasil pengukuran yang dilaporkan tertelusur ke SI melalui / *The reported measurement result is traceable to the SI through*

Ketidakpastian pengukuran dinyatakan pada tingkat kepercayaan tidak kurang dari 95% dengan faktor cakupan $k = 2$ / *Uncertainty of measurement is expressed at a confidence level of no less than 95% with coverage factor k = 2*

Pelaksana/ <i>Calibration Officer</i>	Penyelia/ <i>Supervisor</i>
(Nama)	(Nama)

Bibliografi

ISO 13385-1:2019, *Geometrical product specifications (GPS) - Dimensional measuring equipment - Part 1 : Design and metrological characteristic of callipers.*

JIS B 7507-1993, *Vernier, dial and digital Callipers.*

JCGM 100:2008, *Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement.*

NPL Good Practice Guide No. 40, *Calipers and micrometers.*

EA-4/02 M:2013, *Evaluation of the Uncertainty of Measurement in Calibration.*



Diterbitkan oleh :

LABORATORIUM STANDAR NASIONAL SATUAN UKURAN BSN
Kompleks Puspitek, Gedung 420, Setu,
Tangerang Selatan 15314 - Banten Indonesia
Telp. 021- 7560533, 7560534, 7560571
Fax. 021-7560568, 7560064
www.bsn.go.id