

SNSU PK.P-01:2020

Panduan Kalibrasi **Mikrometer**



SNSU PK.P-01:2020

PANDUAN KALIBRASI MIKROMETER

Penyusun: 1. Ocka Hedrony

2. Nurlathifah

3. A. Praba Drijarkara

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 Mikrometer (SNSU PK.P-01:2020) diterbitkan oleh Badan Standardisasi Nasional sebagai upaya untuk mengharmoniskan pelaksanaan kalibrasi mikrometer 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	Ruang lingkup.....	1
3	Definisi	1
4	Komponen	2
5	Prinsip kalibrasi.....	3
6	Persyaratan kalibrasi	3
7	Proses kalibrasi	4
7.1	Pengaturan penunjukan nilai terkecil (pengaturan nol)	4
7.2	Pengukuran kesalahan penunjukan mikrometer luar	5
7.3	Pengukuran kesalahan penunjukan mikrometer dalam.....	8
7.4	Pengukuran kesalahan penunjukan kepala mikrometer.....	9
8	Evaluasi ketidakpastian pengukuran.....	9
8.1	Model matematis.....	9
8.2	Evaluasi sumber ketidakpastian	10
8.3	<i>Budget</i> ketidakpastian.....	12
9	Laporan kalibrasi	13
	Lampiran A Contoh laporan kalibrasi	14
	Lampiran B Pengukuran kerataan dan kesejajaran muka ukur mikrometer.....	15
	Bibliografi.....	18

Panduan Kalibrasi Mikrometer

1 Pendahuluan

- 1.1. Petunjuk teknis kalibrasi ini disusun untuk mengharmoniskan pelaksanaan kalibrasi alat ukur jenis mikrometer luar, mikrometer dalam dan kepala mikrometer yang dilakukan oleh laboratorium yang menerapkan SNI ISO/IEC 17025, *Persyaratan umum kompetensi laboratorium pengujian dan laboratorium kalibrasi*.
- 1.2. Metode kalibrasi yang diuraikan dalam petunjuk ini mengacu pada standar JIS B 7502, ISO 3611 atau standar lain yang relevan dan termutakhir. Evaluasi ketidakpastian pengukuran mengacu kepada dokumen EA-4/02 dan JCGM 100:2008, *Guide to the expression of uncertainty in measurement*, atau dokumen lain yang sesuai.

2 Ruang lingkup

- 2.1. Petunjuk ini menetapkan prosedur kalibrasi untuk mikrometer luar (*outside micrometer*), mikrometer dalam (*inside micrometer*) dan kepala mikrometer (*micrometer head*), yang meliputi pengukuran kerataan muka ukur (mikrometer luar dan kepala mikrometer), pengukuran kesejajaran muka ukur (mikrometer luar), pemeriksaan kesalahan penunjukan mikrometer (mikrometer luar, mikrometer dalam dan kepala mikrometer).
- 2.2. Petunjuk ini juga menetapkan prosedur evaluasi ketidakpastian pengukuran yang terkait dengan kalibrasi mikrometer.

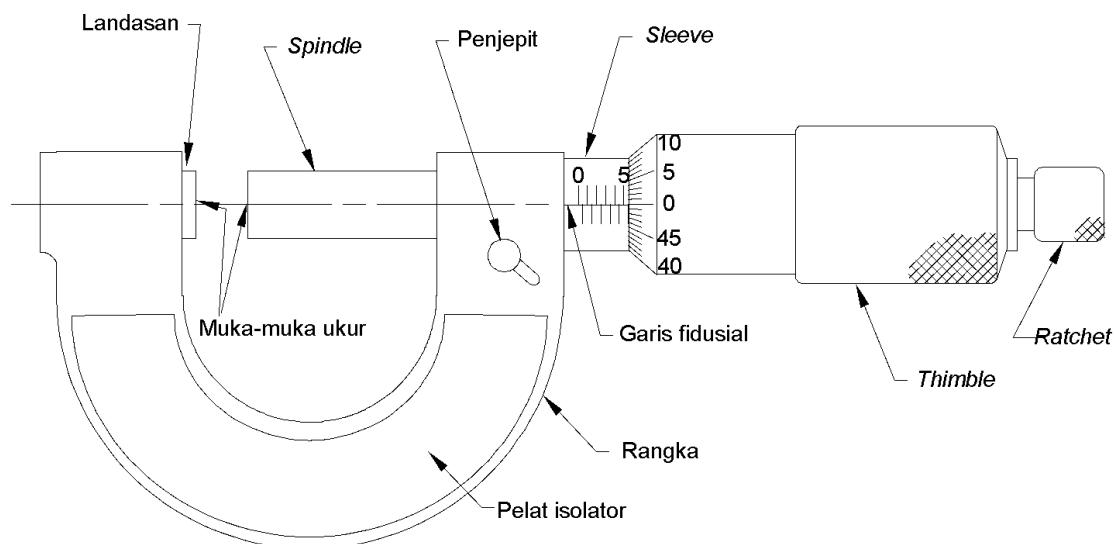
3 Definisi

- 3.1. Mikrometer luar adalah alat ukur yang dapat digunakan untuk mengukur dimensi luar dengan cara membaca jarak antara dua muka ukur sejajar yang berhadapan, yaitu sebuah muka ukur tetap yang terpasang pada satu sisi rangka berbentuk U, dan sebuah muka ukur sisi lainnya. Terletak pada ujung *spindle* yang dapat bergerak tegak lurus terhadap muka ukur, dan dilengkapi dengan *sleeve* dan *thimble* yang mempunyai graduasi sesuai dengan pergerakan *spindle*.
- 3.2. Mikrometer dalam tipe tubular (mikrometer dalam dua-titik) adalah alat ukur yang dapat digunakan untuk mengukur dimensi dalam dengan cara membaca jarak antara dua muka ukur sferis yang saling membelakangi, yaitu sebuah muka ukur tetap yang terpasang pada batang utama dan sebuah muka ukur lainnya yang terletak pada ujung *spindle* yang dapat bergerak searah dengan sumbunya, dan dilengkapi dengan *sleeve* serta *thimble* yang mempunyai graduasi sesuai dengan pergerakan *spindle*.

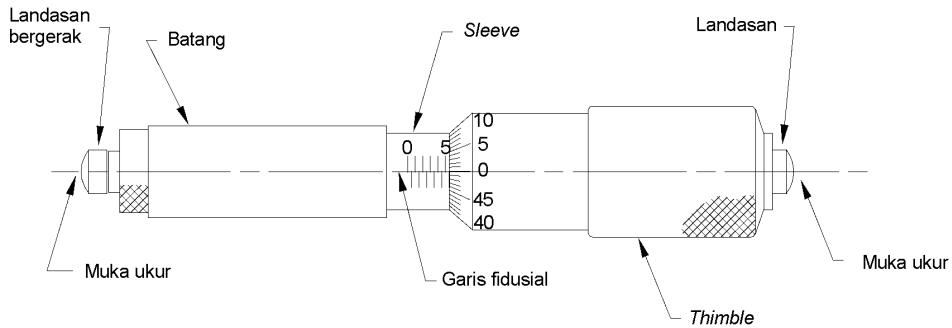
- 3.3. Kepala mikrometer adalah alat ukur yang dapat digunakan untuk mengukur pergerakan spindle-nya yang bergerak searah dengan sumbunya, dan dilengkapi dengan *sleeve* serta *thimble* yang mempunyai graduasi sesuai dengan pergerakan *spindle* serta dilengkapi bagian dudukan.
- 3.4. Kesalahan penunjukan adalah nilai penunjukan mikrometer dikurangi nilai sesungguhnya.
- 3.5. *Setting bar* adalah batang logam dengan dua permukaan rata sejajar, atau dua permukaan sferis, dengan panjang tertentu di antara kedua permukaannya, yang digunakan untuk mengatur posisi pengukuran minimum sebuah mikrometer luar, yang nilai pengukuran minimumnya lebih besar dari 0 mm.

4 Komponen

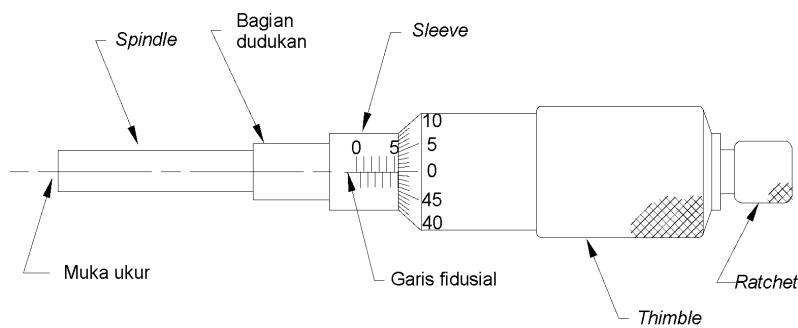
Gambar 1, Gambar 2, dan Gambar 3 menunjukkan nama dari setiap bagian utama mikrometer.



Gambar 1. Mikrometer luar



Gambar 2. Mikrometer dalam



Gambar 3. Kepala mikrometer

5 Prinsip kalibrasi

- 5.1. Pengukuran kesalahan penunjukan mikrometer dilakukan dengan perbandingan terhadap seperangkat balok ukur (*gauge block*).

6 Persyaratan kalibrasi

- 6.1. Sebelum melakukan kalibrasi, harus dipastikan mikrometer dalam keadaan bersih dan berfungsi dengan baik.
- 6.2. Kalibrasi dilakukan dalam suhu $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ dan kelembaban relatif $55\% \pm 10\%$. Jika suhu ruang pengukuran di luar rentang tersebut, kalibrasi dapat dilakukan tetapi pengaruh suhu terhadap ketidakpastian pengukuran harus diperhitungkan dan dipastikan masih di bawah batas toleransi.
- 6.3. Untuk pemeriksaan kerataan muka ukur, menggunakan *optical flat* atau *optical parallel* dengan kerataan kurang dari $0,1 \mu\text{m}$.
- 6.4. Untuk pemeriksaan kesejajaran, menggunakan *optical parallel* dengan kerataan kurang dari $0,1 \mu\text{m}$ dan kesejajaran kurang dari $0,2 \mu\text{m}$, dan/atau *gauge block* Kelas 0 atau Kelas 1 (ISO 3650) atau yang setara.
- 6.5. Untuk pengukuran kesalahan penunjukan, menggunakan balok ukur Kelas 0 atau Kelas 1 (ISO 3650) atau yang setara.

7 Proses kalibrasi

7.1 Pengaturan penunjukan nilai terkecil (pengaturan nol)

- 7.1.1. Untuk mikrometer luar dengan nilai ukur terkecil 0 mm: putar *ratchet* hingga kedua muka ukur berhimpit. Atur posisi *sleeve* agar penunjukannya menjadi 0 mm tepat. Jika posisinya tidak tepat 0 maka perlu dilakukan penyetelan seperti Gambar 10.



Gambar 4. Penyetelan titik 0 pada mikrometer¹

- 7.1.2. Untuk mikrometer luar dengan nilai ukur terkecil lebih besar dari 0 mm: letakkan *setting bar* yang merupakan kelengkapan mikrometer tersebut atau balok ukur dengan nilai nominal sama dengan nilai ukur terkecil mikrometer. Atur posisi *sleeve* agar penunjukannya menjadi sama dengan nilai nominal *setting bar* ataupun balok ukur tersebut. Jika menggunakan balok ukur, maka nilai koreksi balok ukur harus diperhitungkan.



Gambar 5. Penyetelan mikrometer²

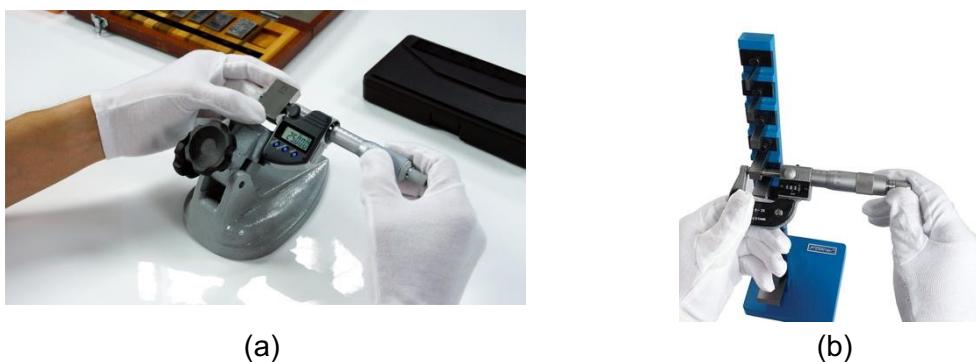
- 7.1.3. Jika menggunakan *setting bar*, *setting bar* harus terkalibrasi dan nilai koreksinya diterapkan pada saat mengatur posisi titik ukur awal mikrometer.

¹ Sumber <https://forum.canadianwoodworking.com/forum/tools/power-tools/metal-working/54476-micrometers-found-some-used-ones>

² Sumber (<https://www.diymotofix.com/blog/precision-measuring-for-the-at-home-mechanic-part-two>)

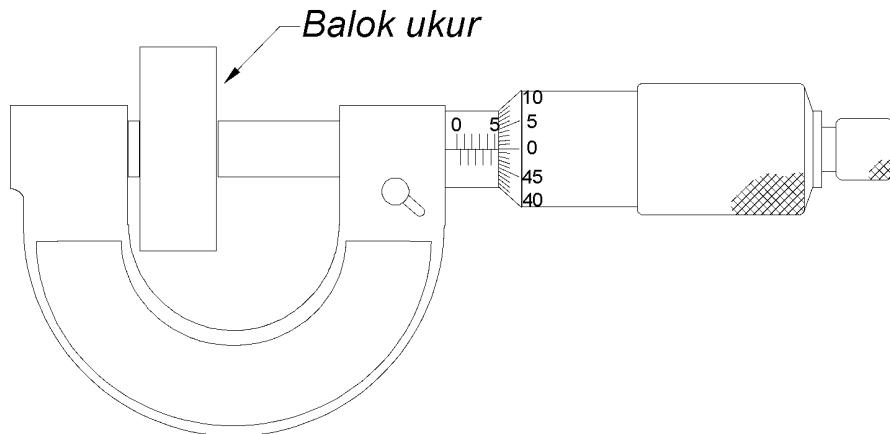
7.2 Pengukuran kesalahan penunjukan mikrometer luar

- 7.2.1. Putar *ratchet* hingga *spindle* berada pada posisi ukur terkecil atau pengaturan posisi minimum yang dapat dilakukan dengan menggunakan balok ukur. Atur posisi *sleeve* agar penunjukannya sesuai dengan nilai ukur tersebut. Letakkan balok ukur atau gabungan balok ukur di antara kedua muka ukur, lalu putar *ratchet* hingga muka ukur berhimpit dengan balok ukur. Balok ukur sebaiknya diletakkan sedemikian sehingga titik tengah balok ukur berhimpit dengan titik tengah muka ukur mikrometer. Jika pengukuran dilakukan berulang, posisi balok ukur terhadap muka ukur mikrometer harus kira-kira sama. Hitung selisih antara penunjukan mikrometer dengan panjang balok ukur.
- 7.2.2. Lakukan pengukuran dengan beberapa ukuran balok ukur atau gabungan balok ukur. Ukuran balok ukur atau gabungan balok ukur yang digunakan harus dipilih agar dapat mengukur kesalahan yang terjadi bukan hanya pada posisi ukur yang merupakan kelipatan bilangan bulat dari putaran *spindle*, melainkan juga beberapa posisi diantaranya. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan balok ukur atau gabungan balok ukur dengan nilai nominal 2,5 mm, 5,1 mm, 7,7 mm, 10,3 mm, 12,9 mm, 15 mm, 17,6 mm, 20,2 mm, 22,8 mm 25 mm dapat digunakan (JIS B 7502).



Gambar 6. Posisi untuk kalibrasi mikrometer
 (a) Mikrometer yang dijepit holder,
 (b) Balok ukur yang dijepit holder³

³ Sumber (<https://jmtest.com/micrometer-calibration/>) dan <https://www.amazon.com/Fowler-53-813-001-2-Micrometer-Checker-Measuring/dp/B01M9E19FE>)



Gambar 7. Posisi balok ukur pada saat kalibrasi mikrometer luar

- 7.2.3 Jika ukuran balok ukur pada 7.4.2 tidak ada atau untuk ukuran di atas 25 mm, maka bisa dilakukan proses penggabungan beberapa buah balok ukur (*wringing*).



Gambar 8. Menggabungkan 2 balok ukur yang tebal⁴



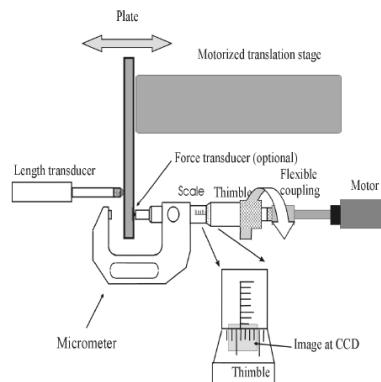
Gambar 9. Menggabungkan balok ukur tebal dengan balok tipis⁵

^{4&5} Sumber (Mitutoyo Catalogue)

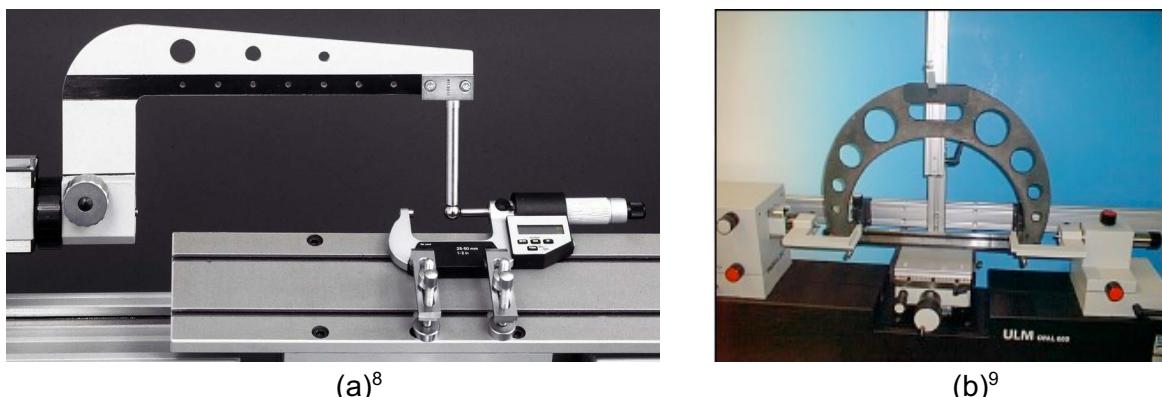


Gambar 10. Menggabungkan 2 balok ukur tipis⁶

7.2.4 Kalibrasi mikrometer bisa juga dilakukan tanpa menggunakan gauge block, dalam hal ini menggunakan *Linear Variable Differential Transformer* (LVDT) dan *1-D Measuring Machine*. Namun bagi mikrometer dengan ukuran 0 mm - 25 mm, titik ukur awal tidak dimulai dari nol (0), tapi tergantung dari diameter alat bantu yang digunakan.



Gambar 11. Kalibrasi mikrometer menggunakan LVDT⁷



Gambar 12. Kalibrasi mikrometer menggunakan *1-D Measuring Machine*

⁶ Sumber (Mitutoyo Catalogue)

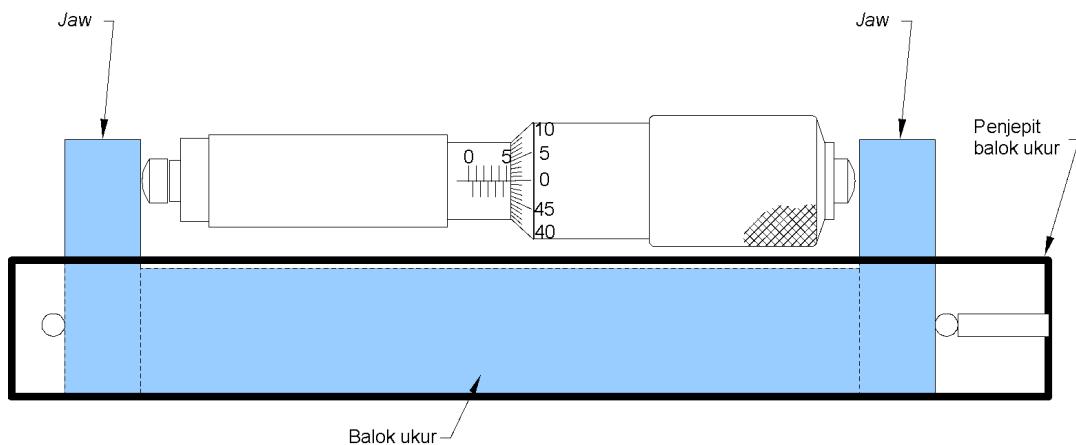
⁷ Sumber (https://www.researchgate.net/publication/27516760_Measurement_Traceability_and_Uncertainty_in_Machine_Vision_Applications)

⁸ Sumber (<https://www.accurus.ch/uploads/2/5/1/1/25115752/dms680cat-en.pdf>)

⁹ Sumber (ULM Manual Book Mahr)

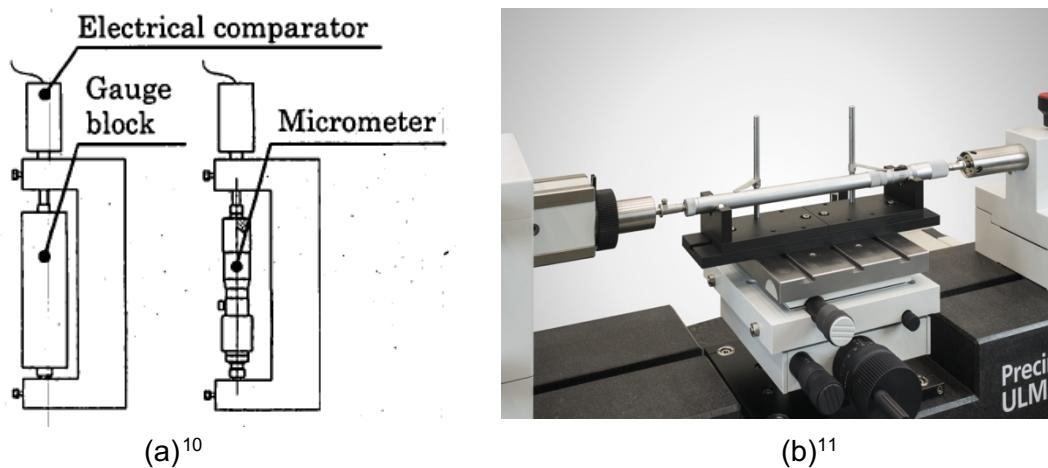
7.3 Pengukuran kesalahan penunjukan mikrometer dalam

7.3.1. Susun balok ukur atau gabungan balok ukur dengan nilai nominal sama dengan nilai ukur terkecil mikrometer dalam di antara dua *jaw* tipe rata menggunakan penjepit balok ukur. Lakukan pengaturan posisi nol mikrometer dalam menggunakan susunan balok ukur tersebut. Lakukan pengukuran kesalahan penunjukan dengan menambahkan beberapa balok ukur untuk menghitung selisih penunjukan mikrometer dalam dan panjang balok ukur. Lihat klausul 7.4.2 untuk menentukan panjang balok ukur yang digunakan.



Gambar 13. Susunan sistem kalibrasi mikrometer dalam menggunakan *gauge block*

7.3.2. Pengukuran kesalahan penunjukan mikrometer dalam bisa juga menggunakan alat selain *gauge block*.



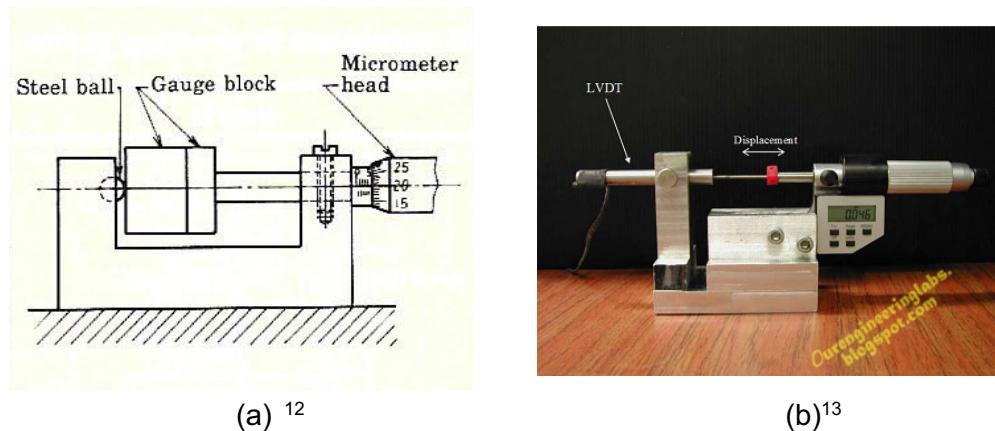
Gambar 14. Susunan sistem kalibrasi mikrometer dalam menggunakan electrical comparator atau 1-D Measuring Machine

¹⁰ JIS B 7502:1994

¹¹ Sumber (ULM Manual Book Mahr)

7.4 Pengukuran kesalahan penunjukan kepala mikrometer

7.4.1. Pasangkan kepala mikrometer pada rangka kalibrasi. Putar *ratchet* sehingga muka ukur *spindle* berhimpit dengan bola baja, lakukan penyetelan nol. Lakukan pengukuran kesalahan penunjukan dengan menambahkan beberapa balok ukur di antara bola baja dan muka ukur *spindle* untuk menghitung selisih penunjukan kepala mikrometer dan panjang balok ukur. Lihat klausul 7.4.2 untuk menentukan panjang balok ukur yang digunakan. Posisi gauge block juga bisa digantikan dengan menggunakan *Length Transducer* atau LVDT.



Gambar 15. Sistem kalibrasi kepala mikrometer

8 Evaluasi ketidakpastian pengukuran

8.1 Model matematis

8.1.1. Kesalahan penunjukan mikrometer (kalibrasi dilakukan dengan menggunakan gauge block) dihitung dengan model matematis seperti pada persamaan di bawah ini. Bagi laboratorium yang melakukan kalibrasi dengan menggunakan LVDT atau ULM, maka model matematis dapat disesuaikan dengan memperhatikan sumber ketidakpastian.

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

e : Kesalahan penunjukan mikrometer

r : Penunjukan mikrometer

l_s : Panjang balok ukur

$\bar{\theta} = \frac{t_s + t_t}{2} - 20 \text{ } ^\circ\text{C}$: Selisih antara (suhu rata-rata kedua benda) terhadap suhu acuan 20 $^\circ\text{C}$

t_s : Suhu balok ukur

t_t : Suhu mikrometer

¹² JIS B 7502:1994

¹³ Sumber (<https://ourelabs.blogspot.com/2017/01/study-and-calibration-of-lvdt-tranducer.html>)

$\delta\alpha = \alpha_t - \alpha_s$: Selisih antara koefisien muai kedua benda
α_s	: Koefisien muai thermal balok ukur
α_t	: Koefisien muai thermal mikrometer
$\bar{\alpha} = \frac{\alpha_s + \alpha_t}{2}$: Koefisien muai thermal rata-rata kedua benda
$\delta\theta = t_t - t_s$: Selisih antara suhu kedua benda
l_d	: Drif nilai koreksi balok ukur
l_w	: Koreksi akibat <i>wringing</i> balok ukur
l_g	: Koreksi akibat ketidaksempurnaan geometrik muka ukur mikrometer

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

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

8.2 Evaluasi sumber ketidakpastian

8.2.1. Sumber ketidakpastian dalam persamaan (2) dapat dievaluasi menurut panduan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Evaluasi beberapa sumber ketidakpastian

Besaran	Estimasi nilai besaran	Evaluasi ketidakpastian
$u(l)$	<p>Nilai didapat dari rata-rata penunjukan mikrometer dari pengukuran berulang</p> $l = \frac{\sum_i^n l_i}{n}$	<p>Terdapat dua sumber ketidakpastian yaitu variasi pengukuran berulang δl_{rep} dan pembulatan akibat keterbatasan resolusi, δl_{rnd}.</p> $u^2(l) = u^2(\delta l_{rep}) + u^2(\delta l_{rnd})$ $u(\delta l_{rep}) = \frac{s}{\sqrt{n}}$ <p>s : simpangan baku</p> <p>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> $u(\delta l_{rnd}) = \frac{a}{\sqrt{3}}$ <p>a : setengah dari nilai terkecil yang dapat dibaca dari skala penunjukan mikrometer.</p>

Besaran	Estimasi nilai besaran	Evaluasi ketidakpastian
		Pada mikrometer dengan skala analog tanpa nonius, nilai a bisa saja lebih kecil dari $\frac{1}{2}$ divisi skala terkecil mikrometer.
$u(l_s)$	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 $20 \pm \Delta t^\circ C$ sehingga nilai θ dapat diestimasi $0^\circ C$. Mikrometer dan balok ukur diasumsikan terbuat dari material yang sama sehingga keduanya mempunyai koefisien muai thermal yang sama pula, atau $\delta\alpha = 0^\circ C$.	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 mikrometer 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: $u(\delta\alpha) = \frac{\Delta t}{\sqrt{3}}$
$u(\delta\theta)$	Mikrometer dan balok ukur dikondisikan cukup lama sehingga mempunyai suhu yang sama, sehingga perbedaan suhunya mendekat nol. $\delta\theta = 0^\circ C$	$u(\delta\theta)$ 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:

Besaran	Estimasi nilai besaran	Evaluasi ketidakpastian
		$u(l_d) = \frac{\Delta l_d}{\sqrt{3}}$ $\Delta l_d = (0,05 + 0,0005 \cdot l_s) \cdot y \mu m$ (Kelas 1), atau $\Delta l_d = (0,02 + 0,00025 \cdot l_s) \cdot y \mu m$ (Kelas 0) <i>l_s</i> : panjang nominal balok ukur dalam mm <i>y</i> : jangka waktu sejak kalibrasi balok ukur terakhir dalam tahun
<i>u(l_w)</i>	Efek <i>wringing</i> balok ukur diasumsikan bernilai nol. <i>l_w</i> = 0	<i>u(l_w)</i> mempunyai rentang ketidakpastian Δl_w yang sebanding dengan banyaknya <i>wringing</i> (<i>k</i>) dengan distribusi persegi: $u(l_w) = \frac{\Delta l_w}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{k \cdot (0,05 \mu m)^2}}{\sqrt{3}}$
<i>u(l_g)</i>	Efek geometris akibat ketidaksempurnaan muka ukur mikrometer diasumsikan bernilai nol. <i>l_g</i> = 0	<i>u(l_g)</i> mempunyai rentang ketidakpastian Δl_g dengan distribusi persegi: $u(l_g) = \frac{\Delta l_g}{\sqrt{3}} = \frac{0,5}{\sqrt{3}} \mu m$

8.3 Budget ketidakpastian

8.3.1 Contoh budget ketidakpastian ditunjukkan dalam Tabel 2 dengan nilai masukan sebagai berikut:

I _s	U(I _s)	Resolusi	SD	α_s	t	Δt_s	U($\delta \alpha_s$)	U(l _d)	U(l _w)	U(l _g)
mm	μm	μm	μm	$^{\circ}C^{-1}$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C^{-1}$	μm	μm	μm
50	0,1025305	1	0,516	1,15E-05	20,06	0,06	1,2E-06	0,09	0,05	0,5

Tabel 2. Contoh *budget ketidakpastian*

Komponen	Satuan	U	v_i	u_i	c_i	u_ic_i	(u_ic_i)²	(u_ic_i)⁴/v_i
Repeatability	µm	0,52	9	2.E-01	1	2.E-01	3.E-02	8.E-05
Resolusi	µm	0,50	200	3.E-01	1	3.E-01	8.E-02	3.E-05
Standar balok ukur	µm	0,1025	200	5.E-02	1	5.E-02	3.E-03	3.E-08
Perubahan suhu terhadap suhu acuan 20 °C	°C	0,03	200	2.E-02	0,58	1.E-02	1.E-04	5.E-10
Selisih suhu mikrometer dan balok ukur	°C	0,05	200	3.E-02	0,58	2.E-02	4.E-04	8.E-10
Koef. muai thermal	°C ⁻¹	1,2E-06	200	7.E-07	50	3.E-05	1.E-09	6.E-21
Drift standar	µm/tahun	0,0946	200	5.E-02	1	5.E-02	3.E-03	4.E-08
Lapisan wringing	µm	0,05	200	3.E-02	1	3.E-02	8.E-04	3.E-09
Kesalahan geometri	µm	0,50	200	3.E-01	1	3.E-01	8.E-02	3.E-05
Jumlah							0,200177	0,000149
Ketidakpastian baku gabungan, uc							0,447412	
Derajat kebebasan efektif, v _{eff}								269,7656
Faktor cakupan, k-student's for v _{eff} and CL 95 %							1,97	
Ketidakpastian bentangan, U = k.uc (Satuan, Unit)							0,88	µm

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

9 Laporan kalibrasi

- 9.1. Jika laboratorium melakukan pengecekan kerataan atau kesejajaran muka ukur, dan nilai hasil pengukuran kerataan atau kesejajaran muka ukur melebihi batas yang diijinkan dalam standar spesifikasi yang diacu, laporan kalibrasi sebaiknya mencantumkan hasil pengukuran kerataan dan kesejajaran muka ukur, serta menyebutkan batas yang diijinkan dan acuan kepada standar spesifikasi tersebut.
- 9.2. Hasil pengukuran kesalahan penunjukan dapat ditampilkan sebagai nilai kesalahan pengukuran, atau sebagai nilai koreksi penunjukan dengan tanda (+/-) yang berlawanan dengan nilai kesalahan penunjukan beserta nilai ketidakpastian pengukurnya.
- 9.3. Untuk mikrometer luar dengan nilai ukur terkecil lebih besar dari 0 mm, laporan harus menyebutkan jenis dan identitas alat yang dipakai untuk menentukan posisi nilai ukur terkecil (misalnya *setting bar* atau balok ukur).

Lampiran A
(informatif)

Contoh laporan kalibrasi

Nama Alat / *Instrument Name* :
 Nama Pembuat / *Manufacturer* :
 Type & No. Seri / *Serial Number* :
 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)	Koreksi / <i>Correction</i> (mm)
0 , 0	
2 , 5	
5 , 1	
7 , 7	
10 , 3	
12 , 9	
15 , 0	
17 , 6	
20 , 2	
22 , 8	
25 , 0	

Catatan/*Notes*:

Standar kalibrasi / *Reference standard* :

Prosedur kalibrasi / *Calibration procedure* :

Hasil pengukuran yang dilaporkan tertelusur ke SI melalui / *The reported measurement result is traceable to the SI through*

Kerataan muka ukur/ *Flatness of measurement face*:

Kesejajaran muka ukur/ *Parallelism of measurement face*:

Ketidakpastian pengukuran/ *Measurement uncertainty*:

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)

Lampiran B

(informatif)

Pengukuran kerataan dan kesejajaran muka ukur mikrometer

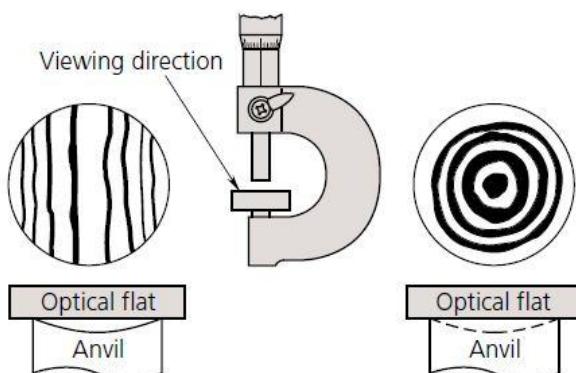
Jika laboratorium akan melakukan pengukuran kerataan dan kesejajaran muka ukur mikrometer, maka:

- Pengukuran kerataan muka ukur dilakukan dengan perbandingan terhadap sebuah standar kerataan optis (*optical flat*) dengan menggunakan prinsip interferensi cahaya.
- Pengukuran kesejajaran muka ukur dapat dilakukan dengan dua cara yaitu pertama dengan cara perbandingan terhadap standar kesejajaran (*optical parallel*), dan kedua dengan cara sebuah balok ukur yang dipindah-pindah posisinya.

B.1 Pengukuran kerataan muka ukur mikrometer luar dan kepala mikrometer

Pengukuran kerataan mikrometer luar dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu:

- B.1.1 Letakkan sebuah *optical flat* atau *optical parallel* pada permukaan ukur hingga berhimpit. Atur posisi kontak *optical flat* terhadap permukaan ukur mikrometer, sedemikian sehingga tampak beberapa lingkaran interferensi yang konsentrik. Hitung banyaknya garis interferensi merah yang timbul dari cahaya putih pada permukaan kontak muka ukur. Satu garis merah dapat diasumsikan setara dengan ketidakrataan sebesar $0,3 \mu\text{m}$. Jika garis berbentuk lingkaran konsentris, maka jumlah garis dihitung dari jumlah lingkaran. Jika garis berbentuk lurus sejajar, maka jumlah garis dihitung setengahnya.



Gambar B.1. Pengukuran kerataan muka ukur mikrometer¹⁴

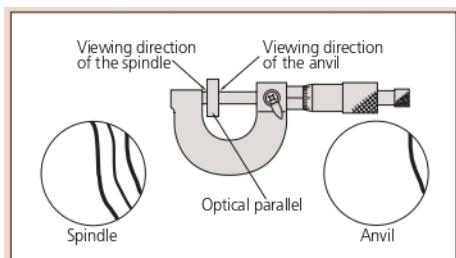
- B.1.2 Lakukan pemeriksaan kerataan pada kedua muka ukur (untuk mikrometer luar).

¹⁴ Sumber (Mitutoyo Catalogue)

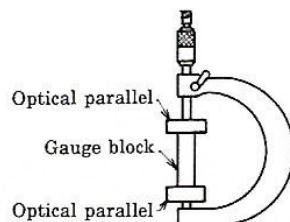
B.2. Pengukuran kesejajaran muka ukur mikrometer luar

B.2.1 Menggunakan optical parallel

B.2.1.1 Letakkan sebuah *optical parallel*, atau gabungan sebuah balok ukur yang diapit dua *optical parallel*, pada muka ukur tetap sedemikian sehingga pola interferensi menjadi satu warna saja atau timbul pola kurva tertutup. Kemudian putar *ratchet* hingga muka ukur *spindle* merapat pada permukaan *optical flat*. Hitung banyaknya garis interferensi merah yang timbul dari cahaya putih pada permukaan kontak muka ukur *spindle*.



(a)¹⁵



(b)¹⁶

Gambar B.2. (a) Pengukuran kesejajaran muka ukur mikrometer 0 mm - 25 mm

(b) Pengukuran kesejajaran muka ukur mikrometer > 25 mm

B.2.1.2 Lakukan pemeriksaan B.2.1.1 sedikitnya pada empat nilai ukur, masing-masing terpaut $\frac{1}{4}$ putaran *spindle* (menggunakan *optical parallel* set).



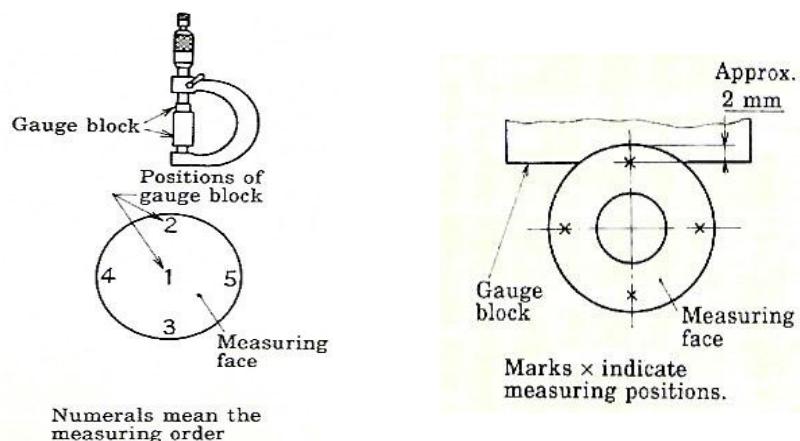
Gambar B.3. *Optical parallel* set

¹⁵ Sumber (Mitutoyo Catalogue)

¹⁶ JIS B 7502:1994

B.2.2 Menggunakan balok ukur

B.2.2.1 Letakkan sebuah balok ukur di tengah kedua muka ukur dan putar *ratchet*, lakukan pembacaan. Berikutnya lakukan hal yang sama, dengan posisi balok ukur di empat tepi muka ukur. Hitung selisih pembacaan yang terbesar.



Gambar B.4. Mengukur kesejajaran menggunakan balok ukur¹⁷

¹⁷ JIS B 7502:1994

Bibliografi

JIS B 7502:1994, *Micrometer calipers*.

ISO 3650:1998, *Geometrical Product Specifications (GPS) - Length standards - Gauge blocks*.

ISO 3611:2010, *Geometrical Product Specifications (GPS) - Dimensional measuring equipment: Micrometers for external measurements - Design and metrological characteristics*.

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

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



Diterbitkan oleh :

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