

SNSU PK.F-02:2021

Panduan Kalibrasi Luxmeter



DAFTAR ISI

Panduan Kalibrasi Luxmeter.....	1
1. Pendahuluan	1
2. Lingkup.....	1
3. Definisi.....	2
4. Batasan	4
5. Peralatan.....	4
6. Prosedur Kalibrasi	5
7. Evaluasi Ketidakpastian Pengukuran	13
8. Pelaporan Hasil.....	18
Contoh Pelaporan Hasil.....	20
Lampiran 1 Contoh Kalibrasi Luxmeter	21
A. Pengukuran	21
B. Model Matematis.....	22
C. Kalibrasi	23
D. Evaluasi Data.....	23
E. Pelaporan.....	26
Lampiran 2 Perhitungan Nilai Sensitivitas Secara Eksperimental	27
A. Sensitivitas ketidakpastian arus listrik lampu sumber terhadap penunjukan luxmeter $u(\delta_{elect})$	28
B. Sensitivitas ketidakpastian jarak/geometri terhadap penunjukan luxmeter $u(\delta_{align})$	29
Bibliografi	32

PANDUAN KALIBRASI LUXMETER

- Penyusun:
1. Wiwin Farhania
 2. Aditya Achmadi
 3. Yonan Prihhapso
 4. Dini Suryani
 5. Helmi Zaini
 6. Achalik Kontributor: 1. Asesor KAN

Desain sampul: Bagus Muhammad Irvan dan David Nicko Hamanditya
- BSN

Direktorat Standar Nasional Satuan Ukuran Termoelektrik dan Kimia Badan Standardisasi Nasional

Hak cipta © Badan Standardisasi Nasional, 2021

Lembar Pengesahan

Panduan Kalibrasi Luxmeter (SNSU PK.F-02:2021) diterbitkan oleh Badan Standardisasi Nasional sebagai upaya untuk mengharmoniskan pelaksanaan kalibrasi Luxmeter 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 Termoelektrik dan Kimia serta dengan mempertimbangkan masukan dari para ahli di bidang metrologi fotometri dan radiometri.

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 20 Desember 2021

Hastori

Hak cipta © Badan Standardisasi Nasional, 2021

PANDUAN KALIBRASI LUXMETER

1. Pendahuluan

Dokumen ini disusun untuk memberikan pedoman bagi laboratorium kalibrasi dalam melakukan kalibrasi *luxmeter* yang dikenal juga dengan nama *light meter* atau *Illuminance meter*. Serta untuk mengharmonisasikan praktik kalibrasi *luxmeter* oleh laboratorium yang diakreditasi oleh KAN.

Kalibrasi sebuah *luxmeter* dapat dilakukan dengan metode absolut dan metode komparasi, pada dokumen panduan ini hanya dijelaskan kalibrasi *luxmeter* menggunakan metode komparasi yang tertelusur ke SI.

2. Lingkup

Dokumen panduan ini menjelaskan prosedur kalibrasi *luxmeter*, khususnya untuk kalibrasi dengan metode komparasi pada bangku fotometer dengan posisi bidang acuan sensor dan sumber cahaya saling tegak lurus.

SNSU PK.F-02:2021

Dokumen panduan ini digunakan sebagai prosedur kalibrasi *luxmeter* yang menggunakan acuan kalibrasi berupa detektor atau sensor *luxmeter*.

Dokumen panduan ini berlaku untuk kalibrasi *luxmeter* yang menggunakan sumber cahaya *illuminant A*. Kegiatan kalibrasi harus dilakukan secara berkala, frekuensinya tergantung dengan cara pemakaian dan keadaan lingkungan di mana instrumen ini digunakan.

Kalibrasi juga harus dilakukan setelah penyesuaian penunjukan alat (*adjustment*), atau perbaikan yang signifikan pada instrumen, seperti perbaikan yang melibatkan komponen optik, elektronik termasuk detektor atau sensor.

3. Definisi

Illuminance (iluminasi), adalah daya cahaya (*luminous flux*) per unit sudut bidang yang jatuh pada suatu permukaan. Satuan dari besaran iluminasi adalah *lux* (lm/m^2).

Catatan: besaran iluminasi (E_v) dapat diturunkan dari besaran intensitas cahaya (I) sesuai dengan persamaan (1) berikut,

$$E_v = \frac{I}{r^2} \quad (1)$$

dengan, E_v adalah iluminasi dalam *lux (lx)*, I adalah intensitas cahaya atau *luminous intensity* dari lampu sumber dalam *candela (cd)*, dan r merupakan jarak antara sensor *luxmeter* terhadap lampu sumber dalam *meter (m)*.

Luxmeter merupakan instrumen atau alat yang digunakan untuk mengukur tingkat iluminasi. Penunjukan pada alat dalam satuan *lux (lx)* atau *footcandle (fc)*.

Catatan: besaran iluminasi dengan satuan *footcandle (fc)* bukan merupakan satuan SI dan dapat dikonversikan ke dalam satuan *lux (lx)* menggunakan persamaan (2),

$$1 \text{ fc} = 10,764 \text{ lx} \quad (2)$$

Reference Plane (Calibration Plane), adalah bidang pada permukaan sensor *luxmeter* atau pada lampu sumber yang digunakan sebagai bidang acuan dalam mengukur jarak antara sensor dan lampu.

Limiting Photometric Distance, adalah jarak terdekat antara bidang acuan pada sensor *luxmeter* dan lampu, sehingga masih dalam batas kesalahan menurut hukum kebalikan kuadrat (*inverse square law*). Pada umumnya nilai *limiting photometric distance* dapat dihitung dari 10 kali dimensi lampu, sehingga jarak

antara sensor dan lampu harus lebih besar dari *limiting photometric distance* tersebut.

4. Batasan

Dokumen panduan ini hanya menjelaskan metode kalibrasi *luxmeter*, bukan metode untuk melakukan karakterisasi unjuk kerja *luxmeter*, seperti tes kebocoran filter optik di daerah sinar ultraviolet dan di daerah sinar inframerah. Dan tidak menjelaskan batas toleransi unjuk kerja sebuah *luxmeter*.

5. Peralatan

Dalam melakukan kalibrasi *luxmeter* peralatan berikut ini dapat dipergunakan, namun tidak terbatas pada:

- *Luxmeter* acuan;
- Sumber cahaya *illuminant A*;
- *Voltmeter / Avometer*;
- Sumber tegangan yang stabil;
- Resistor;
- Bangku fotometer;
- *Baffle / screen / aperture*;
- *Neutral Density (ND) filter*;
- *Thermohygrometer*;

- Penggaris siku sebagai alat bantu pelurus sensor.
- Laser sebagai alat bantu pelurusan posisi sensor terhadap lampu

6. Prosedur Kalibrasi

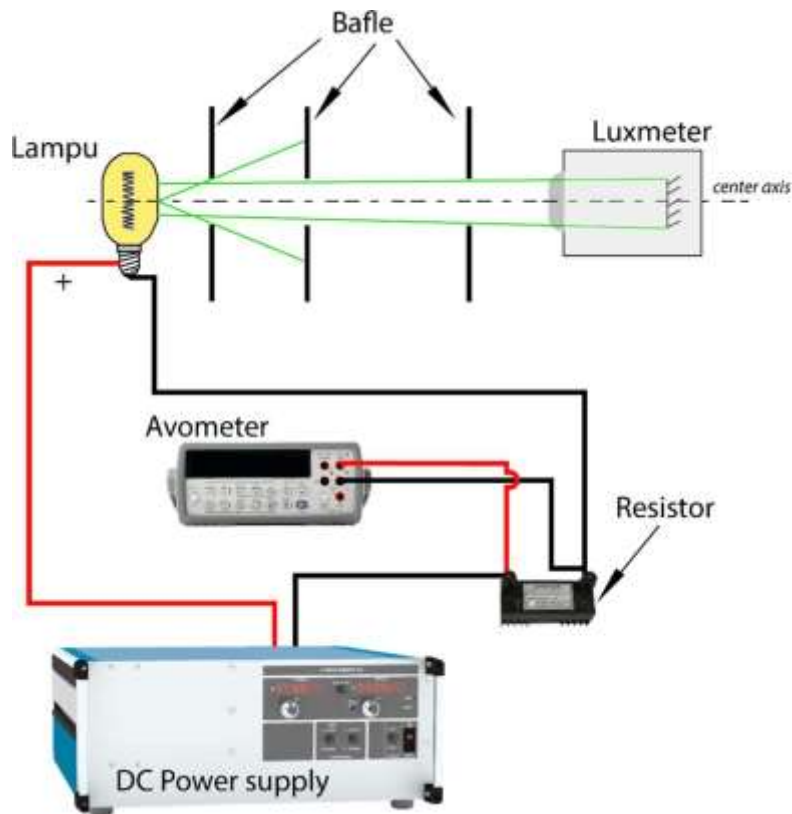
Pemeriksaan Awal

- a) Sebelum kalibrasi dimulai, lakukan pemeriksaan visual bahwa *luxmeter* berfungsi dengan baik. Setiap kekurangan yang ditemukan harus dicatat dan dievaluasi untuk memastikan bahwa hal tersebut tidak mempengaruhi hasil pengukuran *luxmeter*.
- b) Selama proses kalibrasi, suhu lingkungan di sekitar *luxmeter* dipantau dan dicatat. Kondisi lingkungan dijaga agar tidak keluar dari rentang suhu $(24,0 \pm 3,0) ^\circ\text{C}$ dan kelembaban ruangan $(55 \pm 15) \%RH$. Bila pengukuran dilakukan pada kondisi suhu di luar tersebut, maka koreksi terhadap pengaruh suhu harus dipertimbangkan.

Penempatan Peralatan (*alignment*)

- a) Perhatikan posisi tengah filamen lampu sehingga saling tegak lurus terhadap bidang acuan sensor,

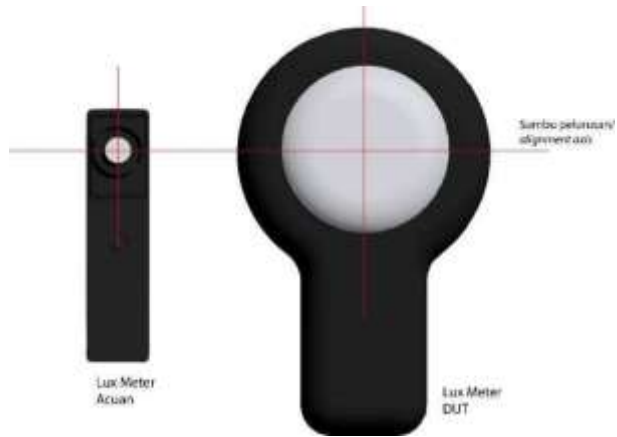
ditunjukkan pada Gambar 1. Pelurusan dapat menggunakan alat bantu laser.



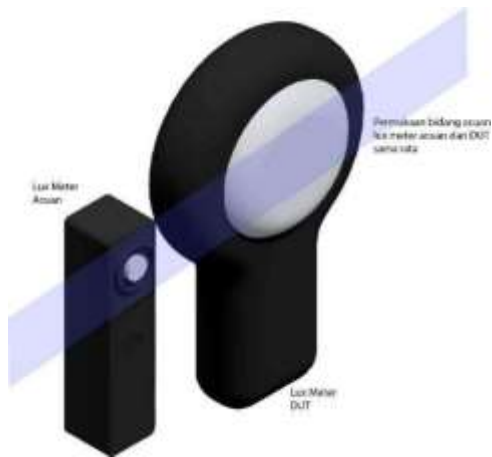
Gambar 1. Penempatan lampu, baffle, dan sensor pada bangku fotometer serta komponen kelistrikan lampu sumber untuk kalibrasi luxmeter.

SNSU PK.F-02:2021

- b) Lampu *tungsten-halogen* sebagai sumber cahaya dengan tipe *illuminant A* dialiri arus sesuai dengan nilai yang tercantum di sertifikat kalibrasi (pada suhu warna 2856 K). Lampu dinyalakan secara bertahap sehingga tercapai nilai arus atau tegangan sesuai dengan sertifikat (hal ini jugaberlaku ketika mematikan lampu sumber).
- c) Tunggu selama 15 menit atau lebih sehingga intensitas lampu telah stabil, ditandai dengan tegangan *supply* yang telah stabil, sesuai pada nominal yang tertera pada sertifikat kalibrasi lampu.
- d) Atur posisi permukaan sensor *luxmeter* acuan sehingga tegak lurus terhadap arah berkas cahaya dari lampu sumber.
- e) Posisikan *luxmeter* acuan dan *luxmeter* DUT (*Device Under Test*) sehingga titik tengah masing- masing sensor berada pada satu sumbupelurusan seperti ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Sumbu pelurusan luxmeter acuan dan luxmeter DUT.



Gambar 3. Pelurusan posisi permukaan sensor luxmeter acuan dan luxmeter DUT sama rata.

SNSU PK.F-02:2021

- f) Atur sehingga permukaan sensor *luxmeter* acuan dan *luxmeter* DUT rata dalam satu garis lurus (dapat menggunakan alat bantu seperti penggaris) sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3.
- g) Arahkan berkas cahaya dari lampu sumber dengan menggunakan *baffle / screen / aperture* sehingga tepat mengenai permukaan sensor *luxmeter* acuan maupun *luxmeter* DUT ketika keduanya berada pada posisi pengukuran. Pastikan berkas cahaya pada permukaan sensor *luxmeter* lebih besar dari luasan sensor (baik luasan sensor *luxmeter* acuan atau pun *luxmeter* DUT) seperti ditunjukkan pada gambar 5 dan bukan seperti ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Baffle ditempatkan sehingga berkas cahaya dari lampu sumber overfilled sensor luxmeter acuan (area dengan warna hijau), akan tetapi karena luasan sensor luxmeter acuan lebih kecil sehingga berkas cahaya menjadi under-filled pada luxmeter DUT.



Gambar 5. Baffle ditempatkan sehingga berkas cahaya dari lampu sumber overfilled sensor luxmeter acuan maupun sensor luxmeter DUT (area dengan warna jingga), ini merupakan penempatan posisibaffle yang paling tepat.

Kalibrasi

- a) Atur jarak *luxmeter* acuan pada bangku fotometer sehingga menunjukkan nilai iluminasi sesuai dengan titik ukur dalam kalibrasi. Jarak terdekat antara sensor *luxmeter* dan lampu sumber harus lebih besar dari *limiting photometric distance*. Kemudian catat penunjukan *luxmeter* acuan.

SNSU PK.F-02:2021

- b) Ganti posisi/geser kedua sensor, sehingga sensor *luxmeter* DUT mendapat sinar dari lubang *baffle*.
- c) Untuk pengukuran dengan DUT, pastikan rentang kalibrasi sesuai dengan pengaturan rentang ukur pada *luxmeter* DUT. Gunakan tombol "HOLD" pada DUT bila ada, atau tunggu pembacaan hingga stabil dan catat nilai iluminasi yang terukur oleh *luxmeter* DUT.
- d) Lakukan pembacaan berulang nilai iluminasi untuk mendapatkan data pengukuran dengan menggeser antara posisi *luxmeter* acuan dan *luxmeter* DUT bergantian.
- e) Lakukan pengulangan pembacaan paling tidak sebanyak 10 kali untuk setiap titik ukur kalibrasi.
- f) Untuk pengukuran di titik ukur kalibrasi lainnya, atur jarak sensor *luxmeter* acuan dan *luxmeter* DUT terhadap lampu sumber (sesuaikan posisi *baffle* dengan sensor *luxmeter*) pada bangku fotometer. Ulangi Langkah (a) hingga (e) sehingga seluruh titik ukur kalibrasi terpenuhi.
- g) Sebuah filter ND (*neutral density*) dengan nilai transmisi sebesar 50% atau OD (*optical density*) 0,3 dapat digunakan di depan lampu. Filter optik ini dapat digunakan untuk melemahkan intensitas

cahaya sumber sehingga rentang iluminasi rendah dapat dicapai pada bangku fotometer yang pendek. Pemilihan dan pengaruh penggunaan filter ND atau OD dapat dibaca lebih lanjut pada daftarpustaka.

- h) Untuk rentang yang lebih tinggi diperlukan lampu dengan intensitas yang lebih tinggi sehingga diperlukan penggantian lampu dan *alignment* ulang dari awal.

7. Evaluasi Ketidakpastian Pengukuran

Ketidakpastian pengukuran yang berkaitan dengan kalibrasi sebuah *luxmeter* dapat dievaluasi menggunakan persamaan matematis berikut,

$$\Delta E_v = E_s - E_{DUT} \quad (3)$$

dengan, ΔE_v adalah koreksi *luxmeter* DUT, E_s adalah penunjukan *luxmeter* acuan, E_{DUT} adalah penunjukan *luxmeter* DUT.

Berdasarkan model matematis tersebut ketidakpastian baku gabungan $u_c(\Delta E_v)$ pada kalibrasi *luxmeter* dapat dijabarkan sebagai berikut,

$$u^2(y) = \sum_{i=1}^n [c_i \times u(x_i)]^2 \quad (4)$$

$$u^2(\Delta E_v) = (c_1 \times u(E_s))^2 + (c_2 \times u(\delta_{\text{drift}}))^2 + (c_3 \times u(\delta_{\text{res}}))^2 + (c_4 \times u(\delta_{\text{lin}}))^2 + (c_5 \times u(E_{\text{DUT}}))^2 + (c_6 \times u(\delta_{\text{align}}))^2 + (c_7 \times u(\delta_{\text{elect}}))^2 \quad (5)$$

dengan komponen ketidakpastian,

$u(E_s)$: Komponen ketidakpastian yang berasal dari sertifikat kalibrasi *luxmeter* acuan dengan satuan *lux (lx)*, dan dibagi dengan nilai faktor cakupan sesuai yang tertera dalam sertifikat.

$u(\delta_{\text{drift}})$: Komponen ketidakpastian yang berasal dari catatan tren perubahan nilai *luxmeter* acuan semenjak dikalibrasi pertama kali. Komponen ini dapat diestimasi dari nilai rata-rata koreksi *luxmeter* acuan (ΔE_s) terhadap nilai sertifikat dibagi dengan rentang waktu dalam tahun (*lx/tahun*). Komponen ini memiliki rapat kebolehjadian atau *probability distribution function* (PDF) persegi.

$u(\delta_{\text{res}})$: Komponen ketidakpastian yang berasal dari resolusi *luxmeter* dengan satuan *lux (lx)*, diestimasi dari setengah nilai resolusi alat

dengan PDF persegi untuk *luxmeter* digital dan PDF segitiga untuk *luxmeter* analog.

$u(\delta_{lin})$: Komponen ini berasal dari ketidak-linieran penunjukan *luxmeter* acuan, dan dapat diestimasi menggunakan nilai-nilai koreksi *luxmeter* acuan yang terdapat pada sertifikat kalibrasi.

$$non - linieritas = \left| \frac{E_{v,i}}{E_{v,max}} \cdot \frac{S_{max}}{S_i} - 1 \right|$$

dengan $E_{v,i}$ adalah nilai pada titik ukur yang akan dihitung ketidak-linierannya, S_i adalah nilai acuan pada titik ukur tersebut yang didapat dari sertifikat kalibrasi, $E_{v,max}$ adalah nilai titik ukur tertinggi, dan S_{max} adalah nilai acuan pada titik ukur tertinggi tersebut.

$u(E_{DUT})$: Komponen ketidakpastian yang berasal dari perulangan pengamatan atau pengambilan data secara langsung pada *luxmeter* DUT. Komponen ini diestimasi dari nilai standar deviasi $s(E_{DUT})$ perulangan pengambilan data.

$u(\delta_{align})$: Komponen ketidakpastian yang berasal dari kesalahan geometri penempatan *luxmeter* acuan terhadap *luxmeter* DUT. Komponen ini dapat diestimasi secara eksperimental, dengan melihat perubahan nilai *luxmeter* ketika ada perubahan jarak posisi sensor DUT terhadap posisi sensor acuan (misal beberapa milimeter). Komponen ini memiliki PDF persegi.

$u(\delta_{elect})$: Komponen ketidakpastian yang berasal dari perubahan tegangan atau arus listrik yang digunakan untuk menyalakan lampu sumber pada sistem kalibrasi *luxmeter*. Komponen ini dapat diestimasi secara eksperimental dengan melihat perubahan penunjukan *luxmeter* terhadap perubahan tegangan atau arus listrik.

Koefisien sensitivitas c_1 hingga c_5 adalah 1.

Tabel 1. Perhitungan ketidakpastian pengukuran yang berkaitan dengan kalibrasi luxmeter.

Sumber ketidakpastian (u_i)	Simbol	Rapat kebolehjadian (PDF)	Pembagi	Koefisien sensitivitas (c_i)	Ketidakpastian baku ($u(x_i)$)	Derajat kebebasan (ν_i)
Nilai acuan	E_x	Normal	$k^* = 2$	$c_1 = 1$	$u(E_x) = \frac{U_{95}(\Delta E_x)}{k}$	$\nu_1 = \infty$
Pergeseran nilai luxmeter acuan	δ_{drift}	Persegi	$\sqrt{3}$	$c_2 = 1$	$u(\delta_{drift}) = \frac{\Delta E_x}{\text{toleran} \times 2 \times \sqrt{3}}$	$\nu_2 = \frac{1}{2} \left[\frac{\Delta u(x_i)}{u(x_i)} \right]^{-2} \nu_n$
Resolusi instrumen	δ_{res}	Persegi	$\sqrt{3}$	$c_3 = 1$	$u(\delta_{res}) = \frac{\text{resolusi}}{2 \times \sqrt{3}}$	$\nu_3 = \frac{1}{2} \left[\frac{\Delta u(x_i)}{u(x_i)} \right]^{-2} \nu_n$
Non-linearity	δ_{lin}	Persegi	$\sqrt{3}$	$c_4 = 1$	$u(\delta_{lin}) = \frac{\left \frac{E_{min} - E_{max}}{E_{max} - E_{min}} - 1 \right \times E_{DUT}}{2 \times \sqrt{3}}$	$\nu_4 = \frac{1}{2} \left[\frac{\Delta u(x_i)}{u(x_i)} \right]^{-2} \nu_n$
Perulangan pembacaan DUT	E_{DUT}	Normal	\sqrt{n}	$c_5 = 1$	$s(E_{DUT}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2}{n}}$ $u(E_{DUT}) = \frac{s(E_{DUT})}{\sqrt{n}}$	$\nu_5 = n - 1$
Kesalahan geometri	δ_{align}	Persegi	$\sqrt{3}$	$c_6 = 0,2^{max}$	$u(\delta_{align}) = \frac{\text{align}}{2 \times \sqrt{3}}$	$\nu_6 = \frac{1}{2} \left[\frac{\Delta u(x_i)}{u(x_i)} \right]^{-2} \nu_n$
Pengaruh kelistrikan	δ_{elect}	Persegi	$\sqrt{3}$	$c_7 = 0,3^{max}$	$u(\delta_{elect}) = \frac{\text{elect}}{2 \times \sqrt{3}}$	$\nu_7 = \frac{1}{2} \left[\frac{\Delta u(x_i)}{u(x_i)} \right]^{-2} \nu_n$
Ketidakpastian baku gabungan ($u_c(y)$)						$\sqrt{\sum_{i=1}^n c_i^2 u^2(x_i)}$
Derajat kebebasan efektif (ν_{eff})						$\frac{u_c^2(y)}{\sum_{i=1}^n \frac{c_i^4 u^4(x_i)}{\nu_i}}$
Faktor cakupan pada tingkat kepercayaan 95% (k)						$t(\nu_{eff})$
Ketidakpastian bentangan pada tingkat kepercayaan 95% (U)						$t(\nu_{eff}) \cdot u_c(y)$

* k merupakan faktor cakupan yang tertera pada sertifikat kalibrasi acuan.

** $\Delta u(x_i)/u(x_i)$ merupakan perkiraan nilai keandalan

(*reliability*) yang bersifat subjektif dan didapatkan berdasarkan penilaian ilmiah dari berbagai pengamatan. Misalkan nilai $\Delta u(x_i)/u(x_i)$ diperkirakan memiliki keraguan-raguan sebesar 10%, maka didapatkan nilai derajat kebebasan,

$$v_i \cong \frac{1}{2} \left[\frac{10^{-2}}{100} \right] \cong 50 \quad (7)$$

*** Koefisien sensitivitas komponen ketidakpastian didapatkan melalui metode eksperimental. Penggunaan metode eksperimental dapat dilihat pada lampiran 2 dokumen ini.

8. Pelaporan Hasil

Setiap sertifikat (laporan) kalibrasi harus mencakup setidaknya informasi berikut, kecuali jika laboratorium memiliki alasan khusus untuk tidak melakukannya:

Nama dan alamat pelanggan yang melakukan permintaan kalibrasi;

Deskripsi, kondisi dan identifikasi unik yang tidak ambigu dari *luxmeter* yang dikalibrasi beserta pabrikan, model, nomor seri dan/atau informasi lain yang diperlukan;

SNSU PK.F-02:2021

Tanggal pelaksanaan kalibrasi, penerbitan sertifikatkalibrasi;

Kondisi lingkungan (setidaknya suhu dan kelembaban)di tempat dilakukannya kalibrasi;

Identifikasi metode kalibrasi yang digunakan, atau deskripsi singkat yang tidak ambigu tentang metode tidak baku yang digunakan;

Hasil kalibrasi dengan ketidakpastian pengukurannya; Informasi tambahan yang diprasyaratkan oleh SNI ISO/IEC 17025:2017 klausul 7.8.

Contoh Pelaporan Hasil

Nama Alat :
Instrument
 Merk / Pabrik :
Manufacturer
 Type / No.Seri :
Type / Serial Number
 Tanggal Kalibrasi :
Calibration Date
 Tempat Kalibrasi :
Calibration Place
 Suhu :
Temperature
 Kelembaban :
Relative Humidity

Hasil Kalibrasi / Calibration Result

Rentang <i>Range</i> (lx)	Penunjukan Standar <i>Standard Reading</i> (lx)	Penunjukan Alat <i>Instrument Reading</i> (lx)
Auto	1000	
	800	
	600	
	400	
	200	
	100	
	50	

Lampiran 1 Contoh Kalibrasi *Luxmeter*

A. Pengukuran

Sebuah *luxmeter* dengan rentang pengukuran 100 ~ 1000 *lux* dikalibrasi menggunakan metode perbandingan terhadap sensor *luxmeter* acuan. *Luxmeter* DUT memiliki resolusi sebesar 1 *lx* dengan hasil kalibrasi ditunjukkan pada tabel 1.

Pembacaan *luxmeter* DUT dibandingkan dengan pembacaan *luxmeter* acuan pada bangku fotometer. Permukaan sensor DUT dan *luxmeter* acuan ditempatkan sejajar dengan kesalahan geometri beberapa milimeter dengan ketidakpastian sebesar 0,1% dari penunjukan *luxmeter* pada setiap titik ukur. Sumber cahaya yang digunakan dalam kalibrasi ini merupakan *tungsten-halogen* 1000 Watt yang dinyalakan pada suhu warna 2856 K. Sebuah *power supply* DC digunakan sebagai sumber kelistrikan lampu tersebut. Lampu dinyalakan pada arus 3,83 Ampere sesuai dengan nominal parameter kelistrikan pada sertifikat lampu. Selama pengukuran berlangsung parameter kelistrikan dari lampu sumber direkam menggunakan sebuah *Avometer*. Dari hasil pengukuran

Avometer (skema pengukuran mengikuti Gambar 1.) diketahui standar deviasi nominal kelistrikan sebesar 0,0135 ampere. Kelistrikan memiliki korelasi yang kuat dengan kuat cahaya yang dihasilkan oleh lampu, ditunjukkan dengan koefisien sensitivitas sebesar 0,3, yang diperoleh secara eksperimental (lihat lampiran 2).

Dalam proses kalibrasi digunakan sensor acuan sebuah *luxmeter* dengan kelas A sesuai dengan DIN 5032. *Luxmeter* acuan dikalibrasi secara berkala dengan ketidakpastian pada tingkat kepercayaan 95% sebesar 2% dari pembacaan *luxmeter*. Berdasarkan rekaman hasil kalibrasi beberapa tahun terakhir, *luxmeter* acuan mengalami pergeseran nilai sebesar 0,7 lx/tahun. Nilai ini merupakan pergeseran terbesar (maksimum) yang diambil dari pergeseran di setiap titik ukur yang tertera pada sertifikat kalibrasi. Sedangkan dari hasil kalibrasi terakhir diketahui *luxmeter* acuan memiliki tren penunjukan yang linier dengan nilai non-linearity sebesar 0,2%.

B. Model Matematis

Kalibrasi ini bertujuan untuk menentukan koreksi dari penunjukan *luxmeter* DUT sesuai dengan model matematis pada persamaan (3).

C. Kalibrasi

Kalibrasi dilakukan setelah lampu sumber cahaya dinyalakan selama 15 menit sehingga komponen-kelistrikan dan intensitas cahaya sumber telah stabil. Pengambilan data dilakukan mencakup satu siklus pengendalian penuh untuk rentang ukur 100 – 1000 lux.

D. Evaluasi Data

a) Formulir pengambilan data

Tabel 2. Data hasil kalibrasi luxmeter pada rentang 100-1000 lx dengan 10 perulangan ($n=10$).

Penunjukan Standar <i>Standard Reading</i> (lx)	Penunjukan DUT/ <i>DUT Reading</i> (lx)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1000,7	890	890	891	891	890	891	890	891	890	890
800,0	712	711	711	711	712	712	712	712	711	712
599,9	534	534	534	533	534	533	533	534	533	534
399,9	360	360	359	359	360	359	359	360	359	360
200,0	182	183	183	182	182	181	182	181	181	182
100,0	92	92	93	93	93	93	92	92	92	92

b) Evaluasi ketidakpastian pengukuran.

Tabel 3. Evaluasi ketidakpastian pengukuran (dalam satuan lx) yang berkaitan dengan kalibrasi luxmeter pada titik ukur 400 lx.

Sumber ketidakpastian (u_i)	Simbol	Rapat kebolehjadian (PDF)	Pembagi	Koefisien sensitivitas (c_i)	Ketidakpastian baku ($u(x_i)$)	Derajat kebebasan (ν_i)
Nilai acuan	E_x	Normal	2	1	4,0	60
Pergeseran nilai luxmeter acuan	δ_{drift}	Persegi	$\sqrt{3}$	1	0,40	50
Resolusi instrumen	δ_{res}	Persegi	$\sqrt{3}$	1	0,29	50
Non-linearity	δ_{lin}	Persegi	$\sqrt{3}$	1	0,011	50
Perulangan pembacaan DUT	E_{DUT}	Normal	$\sqrt{10}$	1	0,17	9
Kesalahan geometri	δ_{align}	Persegi	$\sqrt{3}$	0,2	0,00029	50
Pengaruh kelistrikan	δ_{elect}	Persegi	$\sqrt{3}$	0,3	0,0029	50
Ketidakpastian baku gabungan ($u_c(y)$)						4,02
Derajat kebebasan efektif (ν_{eff})						62,07
Faktor cakupan pada tingkat kepercayaan 95% (k)						2,0
Ketidakpastian bentangan pada tingkat kepercayaan 95% (U)						8,1

25 dari 33

E. Pelaporan

Nama Alat : Light Meter
 Merk / Pabrik : CONTOH
 Tipe / No. Seri : XS-1 / 1001011
 Tanggal Kalibrasi : 14 Juni 2021
 Tempat Kalibrasi : Laboratorium Kalibrasi
 Suhu : (22,8 ± 3,0) °C
 Kelembaban : (60,8 ± 5,0) %RH

Hasil Kalibrasi

Rentang (lx)	Penunjukan Standar (lx)	Penunjukan Alat (lx)
1000	1000,7	890
	800,0	712
	599,9	534
	399,9	360
	200,0	182
	100,0	92

Ketidakpastian pengukuran dinyatakan pada tingkatkepercayaan 95 %, dengan faktor cakupan k = 2 adalah 2%.

Lampiran 2

Perhitungan Nilai Sensitivitas Secara Eksperimental

Dalam evaluasi ketidakpastian, perhitungan suatu ketidakpastian gabungan u_c untuk suatu besaran yang diukur y dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (8), dimana semua besaran input x_i saling tidak berkorelasi. Pada persamaan tersebut setiap komponen ketidakpastian $u(x_i)$ dikalikan dengan c_i yang dikenal sebagai nilai sensitivitasnya. Nilai sensitivitas tersebut digunakan sebagai pembobotan agar seluruh komponen ketidakpastian $u(x_i)$ dapat dievaluasi dalam suatu satuan pengukuran yang sama dengan y sebagai hasil pengukuran.

Secara matematis, nilai sensitivitas dapat diperoleh dengan menurunkan secara parsial persamaan y terhadap x sebagaimana diperlihatkan pada persamaan (9). Nilai tersebut dapat didekati dengan cara eksperimental, sebagaimana pada suku kedua persamaan (9), dimana perubahan hasil pengukuran luxmeter Δy diukur untuk perubahan yang terjadi pada salah satu parameter inputnya Δx . Pada kalibrasi Luxmeter sesuai panduan yang disusun, ada dua sumber ketidakpastian yang sensitivitasnya harus dievaluasi karena memiliki satuan selain Lux, yaitu ketidakpastian karena arus/tegangan listrik lampu sumber, dan

ketidakpastian karena kesalahan jarak/geometri. Pada lampiran ini akan diuraikan contoh evaluasi sensitivitas dengan metode eksperimental.

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N [c_i u(x_i)]^2 \cong \sum_{i=1}^N u_i^2(y) \quad (8)$$

$$c_i = \frac{dy}{dx_i} \cong \frac{\Delta y}{\Delta x_i} \quad (9)$$

A. Sensitivitas Ketidakpastian Arus Listrik Lampu Sumber Terhadap Penunjukan Luxmeter $u(\delta_{elect})$.

Sensitivitas elektrik c_{elect} dapat diestimasi secara eksperimental dengan menggunakan setup pada Gambar 1, dimana nilai arus yang diberikan kepada lampu diubah dan nilai iluminasi yang terukur oleh luxmeter dipantau. Hasil pengukuran tersebut dapat dilihat pada Tabel 4. Dimana telah dilakukan penyetelan arus pada tiga nilai arus listrik yang masing-masing menghasilkan nilai iluminasi yang terukur oleh luxmeter. Dari ketiga nilai tersebut dapat dihitung nilai koefisien sensitivitas c_{elect} menggunakan persamaan (10), dimana dari data #1 dan #2 diperoleh nilai sensitivitas 0,26 lux/mA dan begitu juga dari data #2 dan #3 diperoleh nilai sensitivitas 0,27 lux/mA. Cara lain dapat dilakukan dengan membuat grafik dari ketiga data tersebut untuk kemudian menghitung gradien

iluminasi terhadap arus listrik, sebagaimana terlihat pada Gambar 6. Dikarenakan ketiga pasang data tersebut membentuk garis lurus maka perhitungan gradien dapat dilakukan dengan pendekatan regresi linear, dan diperoleh nilai gradien 0,2677 lux/mA. Nilai tersebut merupakan nilai sensitivitas yang dapat digunakan untuk rentang sesuai dengan data arus listrik yang digunakan. Dari semua cara tersebut sensitivitas dapat dibulatkan menjadi 0,3 lux/mA.

Tabel 4. Data arus listrik terhadap nilai iluminasi dan perhitungansensitivitasnya

No.	Current (I) mA	ΔI mA	Illuminance (E) lux	ΔE lux	Coefficient sensitivity (c_{elect}) lux/mA
#1	3781,3	20,3	163,6	5,3	0,26
#2	3801,6		168,9		
#2	3801,6	17,2	168,9	4,7	0,27
#3	3818,8		173,6		

$$c_{elect} = \frac{\Delta E}{\Delta I} \quad (10)$$

B. Sensitivitas Ketidakpastian Jarak/Geometri Terhadap Penunjukan Luxmeter $u(\delta_{align})$.

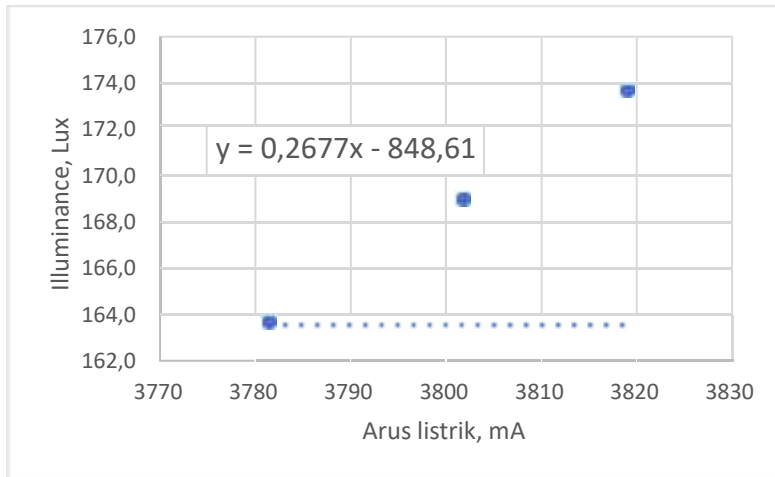
Estimasi sensitivitas kesalahan geometri c_{align} dapat dilakukan dengan cara yang sama sebagaimana untuk c_{elect} . Eksperimen dilakukan dengan setup pengukuran sesuai

Gambar 1, dimana nilai iluminasi diamati untuk tiga jarak yang berbeda antara lampu dan luxmeter. Dari eksperimen tersebut diperoleh data sebagaimana pada Tabel 5, dan dihitung nilai sensitivitas sesuai persamaan (11). Selain itu perhitungan nilai

c_{align} dilakukan dengan metode regresi linier pada Gambar 7 dan diperoleh nilai sensitivitas yang sama dengan di tabel yaitu

-0,2 lux/mm.

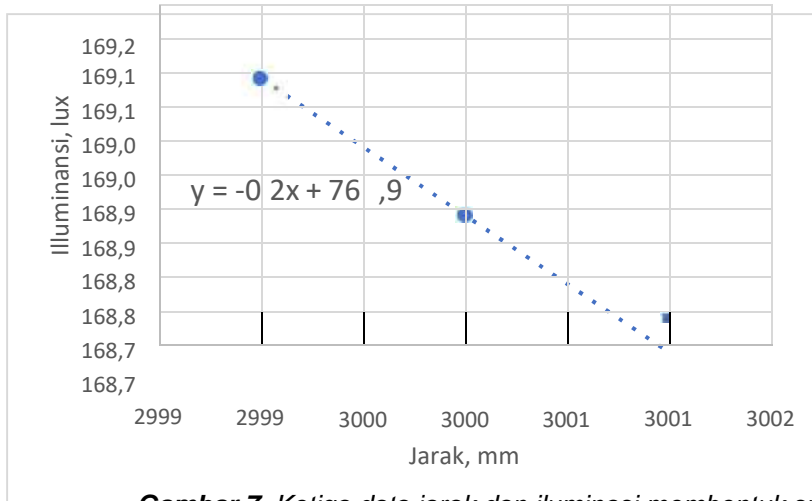
$$c_{align} = \overline{\frac{\Delta E}{\Delta r}} \quad (11)$$



Gambar 6. Ketiga data Arus listrik dan iluminasi membentuk suatu pola linier dengan gradien sebesar 0,2677 lux/mA.

Tabel 5. Data jarak ukur terhadap nilai iluminasi dan perhitungansensitivitasnya.

No.	Jarak (r) mm	Δr mm	illuminance (E) lux	ΔE Lux	Coefficient sensitivity (C_{align}) lux/mm
#1	3001	1	168,7	-0,2	-0,2
#2	3000		168,9		
#2	3000	1	168,9	-0,2	-0,2
#3	2999		169,1		



Gambar 7. Ketiga data jarak dan iluminasi membentuk suatu polalinier dengan gradien

Bibliografi

ISO/CIE 19476, *Characterization of the performance of illuminance meters and luminance meters*, 2014.

Casimer Decusatis, *Handbook of Applied Photometry*, AIP Press, 1998.

ISO/IEC Guide 98, *Uncertainty of measurement-part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement*, 2008.

SNI ISO/IEC 17025, *Persyaratan umum kompetensi laboratorium pengujian dan kalibrasi*, 2017.

Nelfyenny, *et al*, *The effect of glass neutral density filter on illuminance measurement error*, J.Phys.: Conf. Ser. 1918 022028.