




METODE KALIBRASI TIME & FREQUENCY

INSTRUKSI KERJA STOPWATCH

STM/IK-TIME&FREQUENCY/01

APPROVAL BY :

PREPARED	CHECKED	APPROVED
		
Manager Teknis	Kepala Lab	Kepala Bisnis Unit

Tgl. Penerbitan : 06 Januari 2016		Doc. No. : STM/IK-TIME&FREQUENCY /01		Halaman : 2 dari 10
Tgl. Revisi : 25 April 2019	Revisi : 3	Dibuat : A. Rendra	Diperiksa : Rudi E	Disahkan : Remi R.
Metode Kalibrasi Stopwatch			No. Salinan :	Status Dokumen :

Riwayat Revisi

Urutan Revisi	Tanggal	Rincian	Oleh
Pertama diterbitkan	06 Januari 2016	Prinsip metode kalibrasi mengacu pada ISO/IEC 17025:2005	Dian
Revisi 01	30 Maret 2017	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pembaharuan reference JCGM 100 : 2008 "<i>Evaluation of Measurement Data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement.</i>" 2. Perbaikan rentang ukur, sebelumnya: <i>Prosedur ini digunakan untuk mengkalibrasi Stopwatch dengan rentang ukur 1/100 s dan 1/10 s</i> Menjadi: <i>Prosedur ini digunakan untuk mengkalibrasi Stopwatch dengan rentang ukur 0.01 sekon sampai 600 sekon (10 menit).</i> 3. Perbaikan resolusi, sebelumnya: <i>Resolusi terkecil 1/10s</i> Menjadi: <i>Resolusi terkecil 0.01 sekon</i> 	Dian
Revisi 02	1 November 2017	Perubahan nomor dokumen dari STM/IK-KELISTRIKAN/01 menjadi STM/IK-TIME/01. Penambahan peralatan standar Stopwatch KST03	Dian
Revisi 03	25 April 2019	<p>Perbaikan Audit Reakreditasi:</p> <ul style="list-style-type: none"> • perubahan range UUT, 0.01 ~ 3600 s menjadi minimal range UUT 10 s ~3600 s, sesuai kemampuan titik ukur kalibrasi. • koreksi bahwa metode kalibrasi dikembangkan sendiri oleh laboratorium, • perubahan kelembaban lingkungan (50±10)%rh menjadi (55±10) %rh mendekati kondisi kalibrasi standar, dan temp. lingkungan (23 ±5) °C menjadi (25 ±5) °C , sesuai gambar 24, pada referensi <i>NIST Special Publication 960-12 & mendekati kondisi kalibrasi standar.</i> • Penambahan nomor seri standar. • mendetailkan langkah kalibrasi. • Menambahkan bagian "K. Perhitungan Koreksi" • Perhitungan ketidakpastian menjadi bagian L, sebelumnya lampiran. Penyusunan ulang sesuai urutan penjelasan referensi JCGM 100 : 2008 & NIST Special Publication 960-12 • Penambahan bagian "M.Pelaporan Hasil Kalibrasi" 	Rendra

Tgl. Penerbitan : 06 Januari 2016		Doc. No. : STM/IK-TIME&FREQUENCY /01		Halaman : 3 dari 10
Tgl. Revisi : 25 April 2019	Revisi : 3	Dibuat : A. Rendra	Diperiksa : Rudi E	Disahkan : Remi R.
Metode Kalibrasi Stopwatch			No. Salinan :	Status Dokumen :

A. Tujuan

Menerangkan standar metode kalibrasi untuk pengkalibrasian Stopwatch

B. Ruang Lingkup

Prosedur ini digunakan untuk mengkalibrasi Stopwatch dengan rentang ukur minimal 10 sekon sampai 3600 sekon (60 menit). Pengukuran dimulai dari pembacaan 0 sekon UUT dan standar.

Prosedur ini menggunakan metode yang dikembangkan laboratorium, dan perhitungan human reaction time mengadopsi dari NIST Special Publication 960-12 metode Totalize 6.B.2 p41,42, namun untuk koreksi Δt / T dinyatakan dalam satuan waktu dengan dikalikan T. Metode divalidasi dengan perbandingan terhadap hasil kalibrasi metode totalize laboratorium lain yang sudah terakreditasi.

C. Jenis & Spesifikasi Unit Under test (UUT)

- 1) Stopwatch
- 2) Resolusi terkecil 0.01 sekon
- 3) Satuan pengukuran dalam sekon (s, menit)

D. Daftar Acuan Kalibrasi

- 1) NIST Special Publication 960-12
- 2) JCGM 100 : 2008 "Evaluation of Measurement Data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement."
- 3) KAN-G-01 "KAN Guide on the Evaluation and Expression of Uncertainty in measurement"

E. Alat Standar

- 1) Stopwatch Standar KST001 SN: 603Q16R; atau
- 2) Stopwatch Standar KST003 SN: 507Q08R

F. Perlengkapan Kalibrasi dan Aksesoris

- 1) Lap Kain/Majun
- 2) Meja kerja
- 3) Alas yg cukup licin (jika menggunakan tehink adu tombol).

Tgl. Penerbitan : 06 Januari 2016		Doc. No. : STM/IK-TIME&FREQUENCY /01		Halaman : 4 dari 10
Tgl. Revisi : 25 April 2019	Revisi : 3	Dibuat : A. Rendra	Diperiksa : Rudi E	Disahkan : Remi R.
Metode Kalibrasi Stopwatch			No. Salinan :	Status Dokumen :

G. Kondisi Lingkungan

Ruangan kalibrasi dikondisikan dan dijaga dengan ketentuan sebagai berikut :

Temperatur : $(25 \pm 5) ^\circ\text{C}$

Humidity : $(55 \pm 10) \% \text{ rh}$

Jika kalibrasi dilaksanakan secara insitu, sebaiknya ruangan dikondisikan sama dengan ketentuan di atas. Namun jika tidak memungkinkan maka kondisi ruangan dituliskan sesuai keadaan di lapangan.

H. Teori Ringkas

Stopwatch adalah suatu alat ukur yang digunakan untuk mengukur interval waktu yang dibutuhkan dalam melakukan kegiatan yang memiliki ketelitian sampai tingkat sepersekian detik.

Stopwatch ada dua jenis yaitu stopwatch digital (tipe I) dan analog (tipe II). Perbedaan utamanya terletak pada mekanisme pengukuran dan tampilan pembacaannya.

1) Stopwatch Digital (Tipe I)

Stopwatch digital merupakan jenis stopwatch yang menggunakan *quartz oscillators* dan sirkuit elektronik untuk mengukur interval waktu, dan layar/monitor sebagai penunjuk hasil pengukuran. Waktu hasil pengukuran dapat kita baca hingga satuan sepersekian detik.

4) Stopwatch Analog (Tipe II)

Stopwatch analog merupakan jenis stopwatch yang menggunakan mekanisme mekanik untuk mengukur interval waktu. Hasil pengukuran umumnya ditunjukkan dengan jarum penunjuk.



Gambar 1. Stopwatch digital



Gambar 2. Stopwatch analog

Tgl. Penerbitan : 06 Januari 2016		Doc. No. : STM/IK-TIME&FREQUENCY /01		Halaman : 5 dari 10
Tgl. Revisi : 25 April 2019	Revisi : 3	Dibuat : A. Rendra	Diperiksa : Rudi E	Disahkan : Remi R.
Metode Kalibrasi Stopwatch			No. Salinan :	Status Dokumen :

I. Langkah Kalibrasi

1) Persiapan & Function Test

- Bersihkan
- Catat identitas dan informasi lainnya dari UUT sesuai Lampiran 1 : Form Laporan Hasil Kalibrasi. Untuk suhu dan kelembaban lingkungan dicatat pada waktu awal, tengah & akhir kalibrasi. Jika melakukan kalibrasi inlab, maka catat juga pada lembar untuk monitoring kondisi lingkungan sesuai waktu standar pencatatan. Gunakan alat ukur kondisi lingkungan yang sudah ditetapkan untuk masing-masing lab.
- Tentukan titik ukur sebagai berikut sesuai range kalibrasi yang dibutuhkan.

Titik Ukur Kalibrasi Stopwatch		
detik	menit	atau sesuai dengan permintaan pelanggan
10, 20, 30, 40, 50	1, 5, 10, 30, 60	

- Lakukan setting nol dengan cara:

Stopwatch Analog	Stopwatch Digital
<p>Tekan tombol Start/Stop maka jarum penunjuk detik dan jarum penunjuk menit menunjuk ke angka nol.</p> <p>Bila belum menunjukkan angka nol maka putarlah tombol kalibrasi hingga kedua jarum tepat berada pada nol.</p>	<p>Tekan tombol Start/Stop dan Reset untuk menyetel stopwatch ke posisi nol.</p>

- Lakukan pengukuran dengan start alat standar dan UUT secara bersamaan. Hal ini dilakukan dengan menekan tombol start-stop alat standar dengan tombol start-stop UUT dengan cepat. Alternatifnya, dapat dilakukan dengan menekan tombol start-stop alat standar dengan satu tangan dan tombol start-stop UUT dengan tangan lainnya.
- Setelah mencapai titik ukur gunakan cara yang sama untuk menghentikan (stop) alat standar dan UUT secara bersamaan.
- Lakukan pengukuran sebanyak 5 kali untuk setiap titik ukur 10 menit dan yang lebih singkat, 3 kali untuk setiap titik ukur yang lebih dari 10 menit. Catat hasil pengukuran pada Form Laporan Hasil Kalibrasi.

J. Penginputan Data Hasil Kalibrasi

- Buka file template kalibrasi Stopwatch pada PC.
- Input semua identitas dan informasi lainnya dari UUT.
- Input data hasil pengukuran / kalibrasi .
- Jika semua data telah diisi lengkap, lakukan Save As kemudian beri nama file dan simpan pada folder yang telah ditentukan.

Tgl. Penerbitan : 06 Januari 2016		Doc. No. : STM/IK-TIME&FREQUENCY /01		Halaman : 6 dari 10
Tgl. Revisi : 25 April 2019	Revisi : 3	Dibuat : A. Rendra	Diperiksa : Rudi E	Disahkan : Remi R.
Metode Kalibrasi Stopwatch			No. Salinan :	Status Dokumen :

K. Perhitungan Koreksi

Sesuai penjelasan pada “B.Ruang Lingkup”, butir 3, koreksi dirumuskan:

$$C_i = \Delta t / T_s \cdot T_n$$

Dimana:

C_i : Nilai koreksi tiap pengukuran

Δt : Perbedaan antara penunjukan alat standar dan UUT tiap pengukuran

T_s : Lamanya pengukuran berjalan (penunjukan alat standar) tiap pengukuran. Dilakukan koreksi jika bias standar signifikan terhadap kebutuhan akurasi pengukuran sesuai JCGM 100:2008, 3.2.3. Diasumsikan jika bias standar >U95 standar, maka diperlukan koreksi standar.

T_n : Standard nominal setiap pengukuran.

Seluruh pengukuran pada setiap titik ukur dihitung masing-masing koreksinya (C_i) sesuai rumus diatas lalu diditung rata-ratanya sebagai nilai koreksi titik ukur dan standar deviasinya sebagai komponen ketidak pastian *repeatability*.

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n}$$

Dimana:

C : Nilai koreksi tiap titik ukur

n : Jumlah data pada setiap titik ukur

L. Perhitungan Ketidakpastian

1) Model Matematis Pengukuran

$$y = x$$

Sesuai JCGM 100:2008 4.1.4, dimana :

y : Estimasi nilai benar alat

x : Estimasi nilai standar. Koreksi standar tidak eksplisit diikutsertakan dalam model matematis untuk penyederhanaan. Hal ini sesuai JCGM 100:2008 4.1.2. Namun dalam perhitungan dilakukan koreksi jika bias standar signifikan terhadap kebutuhan akurasi pengukuran sesuai JCGM 100:2008, 3.2.3. Diasumsikan jika bias standar >U95 standar, maka diperlukan koreksi standar.

2) Komponen Ketidakpastian Pengukuran

a) Ketidakpastian Pengukuran Berulang (Repeat), $u(rep)$

Merupakan ketidakpastian tipe A, karena diperoleh dari analisa statistik sejumlah observasi. Dengan demikian memiliki tipe distribusi normal dengan pembagi akar kuadrat banyaknya observasi (JCGM 100:2008 4.2.3, 4.2.4). Seluruh pengukuran pada setiap titik ukur dihitung masing-masing koreksinya (C_i) sesuai rumus pada bagian K diatas lalu dihitung standar deviasinya (s) untuk masing-masing titik ukur:

Tgl. Penerbitan : 06 Januari 2016		Doc. No. : STM/IK-TIME&FREQUENCY /01		Halaman : 7 dari 10
Tgl. Revisi : 25 April 2019	Revisi : 3	Dibuat : A. Rendra	Diperiksa : Rudi E	Disahkan : Remi R.
Metode Kalibrasi Stopwatch			No. Salinan :	Status Dokumen :

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_i - C)^2}{n - 1}}$$

dimana :

s : standar deviasi masing-masing titik ukur.

C_i : Koreksi pengukuran ke-i

C : Rata-rata koreksi titik ukur

n : banyaknya pengukuran dalam satu titik ukur.

Komponen ketidak pastian *repeatability*, dapat dirumuskan:

$$u(rep) = \frac{s_{max}}{\sqrt{n_{smax}}}$$

dimana :

s_{max} : Standar deviasi maksimum.

n_{smax} : banyaknya pengukuran dalam satu titik ukur dari s_{max} .

$u(rep)$ memiliki satuan yang sama dengan nilai standar sehingga koefisien sensitifitas dapat diperoleh dari turunan pertama model matematis , sesuai KAN-G-01 Bab 10, p18 :

$$c_1 = dy / dx = 1$$

dimana :

c_1 : koefisien sensitifitas dari ketidakpastian ke-1

dy / dx : turunan pertama model matematis pengukuran.

Derajat kebebasan ketidakpastian ini dapat dirumuskan sesuai KAN-G-01 Bab 8, p14 :

$$v_1 = n - 1$$

dimana :

v_1 : derajat kebebasan efektif dari ketidakpastian ke-1

n : banyaknya pengukuran dalam satu titik ukur.

b) Ketidakpastian Resolusi Alat, $u(res)$

Merupakan ketidakpastian tipe B, karena tidak berasal dari analisa statistik sejumlah observasi. Berasal dari manual alat / observasi penunjukan alat, untuk mendapatkan perubahan nilai terkecil yang dapat diamati. Kemungkinan besar nilai pembacaan alat berada dimana saja didalam limit ini, sehingga dapat diasumsikan memiliki tipe distribusi rectangular dengan pembagi akar kuadrat tiga, dan besarnya (a) adalah setengah dari lebar limit,(JCGM 100:2008 4.3.7).

Dengan demikian ketidakpastian Resolusi Alat dapat dihitung dengan rumus :

$$u(res) = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

dimana :

a : 0.5 x resolusi.

Tgl. Penerbitan : 06 Januari 2016		Doc. No. : STM/IK-TIME&FREQUENCY /01		Halaman : 8 dari 10
Tgl. Revisi : 25 April 2019	Revisi : 3	Dibuat : A. Rendra	Diperiksa : Rudi E	Disahkan : Remi R.
Metode Kalibrasi Stopwatch			No. Salinan :	Status Dokumen :

$u(res)$ memiliki satuan yang sama dengan nilai standar sehingga koefisien sensitifitas dapat diperoleh seperti pada point a) Ketidakpastian Pengukuran Berulang, sehingga diperoleh:

$$c_2 = 1$$

Derajat kebebasan ketidakpastian ini, sesuai KAN-G-01 Bab 9, p17 dapat diasumsikan tidak berhingga, hal ini dikarenakan sangat kecil kemungkinannya nilai penunjukan UUT berada diluar batas resolusi. Dalam hal ini untuk memudahkan dalam perhitungan otomatis, nilai tak berhingga diwakili oleh nilai yang cukup besar, sehingga digunakan:

$$v_2 = 10000$$

c) **Ketidakpastian Kalibrasi Standar, $u(Cal_s)$**

Merupakan ketidakpastian tipe B, karena tidak berasal dari analisa statistic sejumlah observasi. Berasal dari sertifikat kalibrasi standar yang terdefinisi tingkat kepercayaannya, sehingga dapat diasumsikan memiliki tipe distribusi normal dengan pembagi *coverage factor* (k), sesuai KAN-G-01 Bab 9, p17. Dengan demikian ketidakpastian kalibrasi Standar dapat dihitung dengan rumus :

$$u(Cal_s) = \frac{U_{95std}}{k_{95std}}$$

dimana

U_{95std} : ketidakpastian diperluas pada tingkat kepercayaan 95% sesuai sertifikat kalibrasi standar

k_{95std} : *coverage factor* pada tingkat kepercayaan 95% sesuai sertifikat standar

$u(Cal_s)$ memiliki satuan yang sama dengan nilai standar sehingga koefisien sensitifitas dapat diperoleh seperti pada point a) Ketidakpastian Pengukuran Berulang, sehingga diperoleh:

$$c_3 = 1$$

Derajat kebebasan ketidakpastian ini dapat ditentukan menggunakan table *t-distribution* berdasarkan tingkat kepercayaan dan *coverage factor* sesuai JCGM 100:2008 G.3.4, untuk $k = 2$, diperoleh:

$$v_2 = 60$$

d) **Ketidakpastian Human Reaction Time Error dan Standar Deviasi, $u(HR_{Te})$ dan $u(HR_{Ts_d})$**

Merupakan ketidakpastian tipe B, dengan pola distribusi masing-masing rectangular dan normal ($k=1$), dan pembagi masing-masing akar kuadrat tiga dan k, sesuai *NIST Special Publication 960-12 metode Totalize 6.B.2 p44, table 11*.

Dilakukan suatu eksperimen yang melibatkan empat orang teknisi yang masing-masing melakukan 10 kali kalibrasi sesuai IK ini untuk titik ukur 1 menit, yang mengacu pada *NIST Special Publication 960-12 metode Totalize 6.B.2 p41,42*

Kemudian *reaction time* dihitung sesuai bagian “K. Perhitungan koreksi”, dimana titik ukur dalam hal ini

Tgl. Penerbitan : 06 Januari 2016		Doc. No. : STM/IK-TIME&FREQUENCY /01		Halaman : 9 dari 10
Tgl. Revisi : 25 April 2019	Revisi : 3	Dibuat : A. Rendra	Diperiksa : Rudi E	Disahkan : Remi R.
Metode Kalibrasi Stopwatch			No. Salinan :	Status Dokumen :

merupakan hasil pengambilan data standar masing-masing teknisi, sehingga diperoleh C untuk masing-masing teknisi. Kemudian diambil nilai C terbesar sebagai $u(HRTe)$

Data eksperimen ini dihitung juga sesuai rumus standar deviasi (s) seperti pada bagian “2.a ketidakpastian Pengukuran Berulang” untuk setiap operator. Kemudian diambil nilai s terbesar sebagai $u(HRTsd)$ sesuai contoh hasil perhitungan pada *NIST Special Publication 960-12 metode Totalize 6.B.2 p44, table 11.*

Dengan demikian ketidakpastian dapat dirumuskan :

$$u(HRTe) = \frac{C_{\max}}{\sqrt{3}}$$

$$u(HRTsd) = s_{\max}$$

$u(HRTsd)$ dan $u(HRTe)$ memiliki satuan yang sama dengan nilai standar sehingga koefisien sensitifitas dapat diperoleh seperti pada point a) Ketidakpastian Pengukuran Berulang, sehingga diperoleh:

$$c_4 = 1$$

$$c_5 = 1$$

Derajat kebebasan untuk $u(HRTe)$ dan $u(HRTsd)$ diasumsikan tidak berhingga, hal ini dikarenakan sangat kecil kemungkinannya nilai benar alat berada diluar nilai batas *human reaction time* ini. Dalam hal ini untuk memudahkan dalam perhitungan otomatis, nilai tak berhingga diwakili oleh nilai yang cukup besar, sehingga diperoleh:

$$v_4 = 10000$$

$$v_5 = 10000$$

3) Ketidakpastian Gabungan, U_c .

Ketidakpastian Gabungan yang dinyatakan dengan rumus :

$$U_c = \sqrt{\sum_{i=1}^n (C_i U_i)^2}$$

dimana :

n : banyaknya komponen ketidakpastian

Bila komponen ketidakpastian diatas dimasukkan kedalam persamaan ketidakpastian baku maka akan diperoleh persamaan berikut :

$$U_c = \sqrt{U(\text{rep})^2 + U(\text{res})^2 + U(\text{Cals})^2 + U(HRTe)^2 + U(HRTsd)^2}$$

Tgl. Penerbitan : 06 Januari 2016		Doc. No. : STM/IK-TIME&FREQUENCY /01		Halaman : 10 dari 10
Tgl. Revisi : 25 April 2019	Revisi : 3	Dibuat : A. Rendra	Diperiksa : Rudi E	Disahkan : Remi R.
Metode Kalibrasi Stopwatch			No. Salinan :	Status Dokumen :

4) Faktor Cakupan, k.

Faktor cakupan, didapat dari tabel t-distribution pada tingkat kepercayaan 95% namun terlebih dahulu menghitung nilai Derajat Kebebasan Efektif, ν_{eff} , sesuai JCGM 100:2008 G.4.1 eq (G.2.b):

$$\nu_{eff} = \frac{U_c^4}{\frac{U(rep)^4}{\nu_1} + \frac{U(res)^4}{\nu_2} + \frac{U(Cals)^4}{\nu_3} + \frac{U(HRTe)^4}{\nu_4} + \frac{U(HRTsd)^4}{\nu_4}}$$

5) Ketidakpastian Terentang, U_{95} .

Ketidakpastian pengukuran dinyatakan dalam bentuk ketidakpastian terentang pada tingkat kepercayaan 95% (U_{95}) sesuai JCGM 100:2008 6.2.1 eq (18):

$$U_{95} = k \cdot U_c$$

Jika nilai U_{95} terhitung tersebut lebih kecil dari Nilai CMC (Calibration Measurement Capability) yang sudah terakreditasi, maka U_{95} menggunakan nilai CMC terakreditasi.

M. Pelaporan Hasil Kalibrasi

Laporkan hasil kalibrasi, perhitungan koreksi dan ketidakpastiannya sesuai Lampiran 2: Sertifikat Kalibrasi Stopwatch.