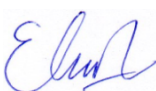




METODEKALIBRASI TIME & FREQUENCY

INSTRUKSI KERJA FREQUENCY GASOLINE ENGINE TACHOMETER (RPM)

STM/IK-TIME & FREQUENCY/10

APPROVAL BY:

PREPARED	CHECKED	APPROVED
		
Teknisi	Manager Teknis	Wakil Kepala Lab

Tgl. Penerbitan : 1 April 2021		Doc. No. : STM/IK-TIME & FREQUENCY/10		Halaman : 2 dari 13
Tgl. Revisi : -	Revisi : -	Dibuat : Shelvan	Diperiksa : A. Rendra	Disahkan : A. Rendra
KALIBRASI GASOLINE ENGINE TACHOMETER (RPM)		No.Salinan :		Status Dokumen :

RiwayatRevisi

UrutanRevisi	Tanggal	Rincian	Oleh
Pertama Diterbitkan	1 April 2021	Prinsip metode kalibrasi mengacu pada SNI ISO/IEC 17025:2017	Shelvan

Tgl. Penerbitan : 1 April 2021		Doc. No. : STM/IK-TIME & FREQUENCY/10		Halaman : 3 dari 13
Tgl. Revisi : -	Revisi : -	Dibuat : Shelvan	Diperiksa : A. Rendra	Disahkan : A. Rendra
KALIBRASI GASOLINE ENGINE TACHOMETER (RPM)			No.Salinan :	Status Dokumen :

A. Tujuan

Menentukan standar prosedur kalibrasi untuk *Gasoline Engine Tachometer* parameter *rpm*

B. Ruang Lingkup

Prosedur ini ditujukan untuk kalibrasi *Gasoline Engine Tachometer* parameter *rpm* dengan rentang ukur 30 rpm ~ 30000 rpm, dimana prosedur kalibrasi tidak disediakan atau tidak diberikan dalam *service manual* oleh manufaktur maupun pemakai.

C. Jenis & Spesifikasi Alat yang Dikalibrasi

- Rentang pengukuran : 30 rpm ~ 30000 rpm
- Satuan pengukuran : rpm

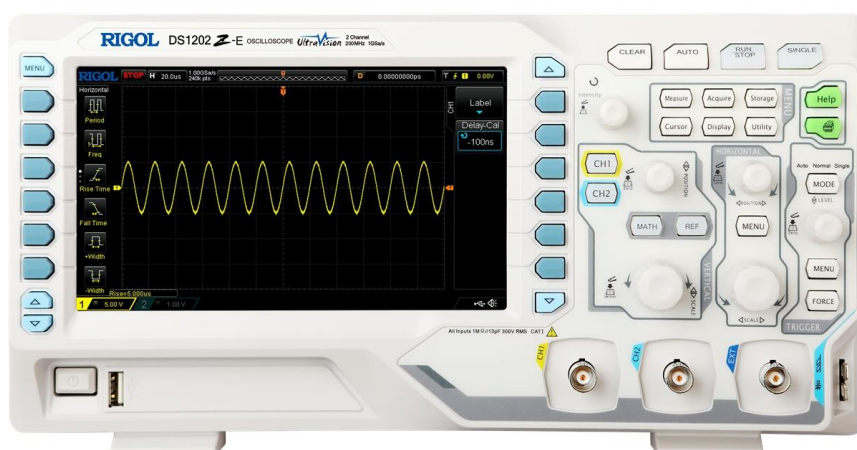
D. Daftar Acuan Kalibrasi

- 1) JCGM 100:2008, “*Evaluation of Measurement Data-Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*”
- 2) KAN Pd-01.3 “*Guide on the Evaluation and Expression of Uncertainty in measurement*”
- 3) Instruksi Manual Oscilloscope Calibrator Rigol 1202-ZE

E. Alat Standar

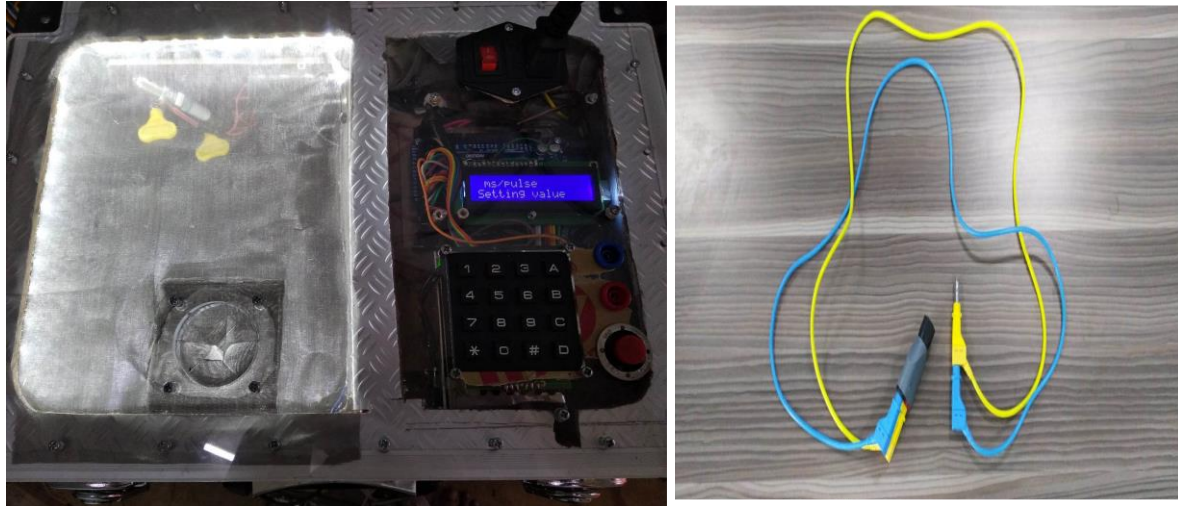
Oscilloscope Calibrator, merk *Rigol*, tipe DS1202 Z-E, SN : DS1ZE215003761

(Sumber Frekuensi).



Gambar 1 : Standar Oscilloscope Calibrator Rigol 1202-ZE

Tgl. Penerbitan : 1 April 2021		Doc. No. : STM/IK-TIME & FREQUENCY/10		Halaman : 4 dari 13
Tgl. Revisi : -	Revisi : -	Dibuat : Shelvan	Diperiksa : A. Rendra	Disahkan : A. Rendra
KALIBRASI GASOLINE ENGINE TACHOMETER (RPM)			No.Salinan :	Status Dokumen :



Gambar 2: Engine Pulse Simulator dan kabel konektor

F. Perlengkapan Kalibrasi dan Aksesoris

- Kabel konektor (Gambar 2)
- Engine Pulse Simulator (EPS, Gambar 2)

G. Kondisi Lingkungan

Kalibrasi inlab :

Suhu ruangan : $23^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$

Kelembaban relatif : $55\% \pm 10\%$

Kalibrasi insitu:

Jika tidak dapat dikondisikan sebagaimana kalibrasi inlab, maka kalibrasi dilakukan dengan menyesuaikan kondisi yang ada.

H. Teori Ringkas

Gasoline Engine Tachometer merupakan peralatan yang dapat digunakan untuk mengukur kecepatan putar *gasoline engine*. Yang dideteksi oleh alat ini adalah elektromagnetik pulse yang timbul saat Langkah pembakaran pada engine. Jumlah rotation/pulse (rpp) tergantung jenis engine dan jumlah silinder pada suatu crank shaft yang ingin diukur rpm nya. Untuk engine 1 silinder, 2 tak, maka diperoleh 1 rpp, untuk 1 silinder, 4 tak maka diperoleh 2 rpp. Jumlah silinder membagi rpp karena silinder-silinder tersebut memutar shaft output engine yang sama. Pada engine 1 silinder, Langkah pembakaran (pulse) terjadi setiap 1 putaran engine, sedangkan jika 4 tak setiap 2 putaran mesin.

Tgl. Penerbitan : 1 April 2021		Doc. No. : STM/IK-TIME & FREQUENCY/10		Halaman : 5 dari 13
Tgl. Revisi : -	Revisi : -	Dibuat : Shelvan	Diperiksa : A. Rendra	Disahkan : A. Rendra
KALIBRASI GASOLINE ENGINE TACHOMETER (RPM)		No.Salinan :		Status Dokumen :

Berikut ini beberapa definisi yang digunakan dalam proses kalibrasi *Gasoline Engine Tachometer*.

- 1) UUT : *Unit Under Test*, merupakan alat ukur yang akan dikalibrasi
- 2) Resolusi : Perbedaan terkecil antara indikasi yang ditampilkan yang dapat dibedakan secara bermakna. (*EURAMET cg-15 v3.0 2.6*)
- 3) Titik Ukur : Nilai dimana besaran ukur dilakukan kalibrasi.
- 4) Pembacaan UUT : Nilai yang terindikasi pada UUT.
- 5) *Full scale range* : Nilai Skala Penuh Rentang, besaran nilai ukur maksimum suatu rentang pada UUT

I. Langkah Kalibrasi

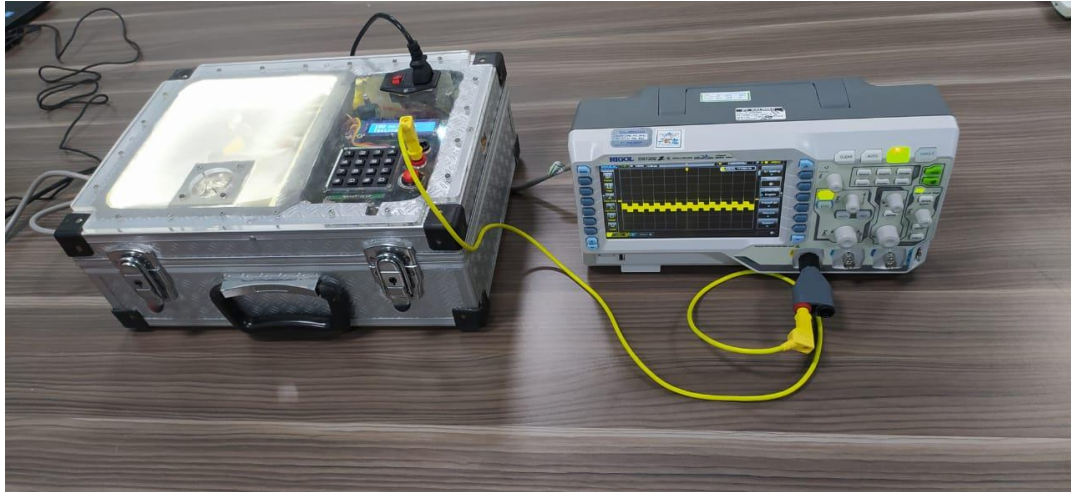
1) Persiapan & Function Test

- a) Jika diperlukan dapat membaca Manual Standar dan UUT untuk cara pengoperasiannya.
- b) Periksa **sumber tegangan** dari UUT maupun peralatan standar (110V, 220V atau lainnya).
- c) Jika dibutuhkan, gunakan *voltage transformer* (trafo step up/down) untuk mendapatkan sumber tegangan yang sesuai.
- d) Pastikan switch UUT dan Standard Calibrator dalam keadaan “OFF”.

2) Warming Up & Pendataan UUT

- a) Nyalakan peralatan standar dan lakukan *warm-up*, kurang lebih selama 30 menit.
- b) Tekan tombol [Standby] / [Output On] agar tidak ada output lain sebelumnya pada peralatan standar.
- c) Sementara menunggu warm-up, lakukan pencatatan data UUT seperti identitas dan spesifikasi, sesuai Form Laporan Hasil Kalibrasi.
- d) Nyalakan UUT dan letakkan UUT kedalam Engine Pulse Simulator, dengan posisi sensor menempel ke kabel busi atau sedekat mungkin (Gambar 4) sehingga pembacaan UUT stabil.

Tgl. Penerbitan : 1 April 2021		Doc. No. : STM/IK-TIME & FREQUENCY/10		Halaman : 6 dari 13
Tgl. Revisi : -	Revisi : -	Dibuat : Shelvan	Diperiksa : A. Rendra	Disahkan : A. Rendra
KALIBRASI GASOLINE ENGINE TACHOMETER (RPM)			No.Salinan :	Status Dokumen :



Gambar 3 : Koneksi Standar ke UUT



Gambar 4 : Peletakan UUT

3) Prosedur Kalibrasi Gasoline Engine Tachometer

- Rangkailah EPS dengan Oscilloscope seperti pada gambar 3 di atas.
- Pengukuran dimulai dari sinyal maksimum EPS (1000 ms/pulse) atau dibawahnya yang masih dapat dibaca oleh UUT.

Tgl. Penerbitan : 1 April 2021		Doc. No. : STM/IK-TIME & FREQUENCY/10		Halaman : 7 dari 13
Tgl. Revisi : -	Revisi : -	Dibuat : Shelvan	Diperiksa : A. Rendra	Disahkan : A. Rendra
KALIBRASI GASOLINE ENGINE TACHOMETER (RPM)		No.Salinan :		Status Dokumen :

- c) Tekan tombol "Test" pada EPS lalu atur setting Time/div (tpd) standar sesuai setting EPS, lalu setting trigger level standar agar pembacaan standar stabil. Pastikan "spike" yang merupakan engine pulse berhimpitan dengan grid tpd.
- d) Jika pembacaan UUT sudah cukup stabil catat penunjukan UUT pada worksheet.
- e) Ulangi langkah d diatas setiap kurang lebih lima detik hingga didapat lima data pengamatan.
- f) Tekan tombol "Test" pada EPS dan setting titik ukur berikutnya (1000, 500, 300, 240, 120, 60, 30, 12, 6, 5, 4, 2) ms/pulse, diikuti dengan pengulangan langkah c ~ e untuk semua titik ukur yang masih terbaca oleh UUT.

J. Penginputan Data Hasil Kalibrasi

- 1) Buka file template kalibrasi Electrical pada PC.
- 2) Input semua identitas dan informasi lainnya dari alat.
- 3) Input data hasil pengukuran / kalibrasi .
- 4) Jika semua data telah diisi lengkap, lakukan *Save As* kemudian berinama *file* dan simpan pada *folder* yang telah ditentukan.

K. Perhitungan Koreksi

Koreksi dirumuskan :

$$C_i = T_{is} - T_{ix}$$

Dengan,

C_i : Koreksi pembacaan alat terhadap Standar.

T_{is} : Nilai nominal Standar sesuai model matematis bagian I dibawah. Dilakukan koreksi pada komponen besaran standar jika bias standar signifikan terhadap kebutuhan akurasi pengukuran sesuai JCGM 100:2008, 3.2.3. Diasumsikan jika bias standar $>U_{95}$ standar, makadiperlukan koreksi standar.

T_{ix} : Pembacaan UUT

Setiap titik ukur dihitung masing-masing koreksinya (C_i) sesuai rumus diatas.

Tgl. Penerbitan : 1 April 2021		Doc. No. : STM/IK-TIME & FREQUENCY/10		Halaman : 8 dari 13
Tgl. Revisi : -	Revisi : -	Dibuat : Shelvan	Diperiksa : A. Rendra	Disahkan : A. Rendra
KALIBRASI GASOLINE ENGINE TACHOMETER (RPM)			No.Salinan :	Status Dokumen :

L. Perhitungan Ketidakpastian

1) Model Matematis Pengukuran

$$y = (1000 \cdot 60 / tpd) \cdot (rpp / cyl)$$

Sesuai JCGM 100:2008 4.1.4, dimana:

y : Estimasi nilai benar UUTs

tpd : Estimasi nilai time/div standar Oscilloscope

rpp : Konstanta Rotation per pulse sesuai jenis engine 2 tak / 4 tak, lihat bagian (H) Teori Ringkas

cyl : Konstanta Jumlah cylinder

Koreksi standar tidak eksplisit diikuti sertakan 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 $> U_{95} \text{ standar}$, maka diperlukan koreksi standar.

2) Komponen Ketidakpastian Pengukuran

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

Merupakan ketidakpastian tipe A, karena diperoleh dari analisa statistic sejumlah observasi. Dengan demikian memiliki tipe distribusi normal dengan pembagi akar kuadrat banyaknya observasi (JCGM 100:2008 4.2.3, 4.2.4). Setiap titik ukur dihitung standar deviasinya (s) sebagai komponen ketidakpastian *repeatability*, yang dapat dirumuskan:

$$u(rep) = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

dimana:

s : standar deviasi pembacaan UUT / nominal standar untuk setiap titik ukur, dihitung dengan menggunakan rumus Standar Deviasi.

n : banyaknya pengukuran dalam satu titik ukur.

$u(rep)$ dapat diperoleh dari turunan pertama model matematis, sesuai KAN Pd-01.3 Bab 10, p15 :

$$c_1 = dy / dy = 1$$

Tgl. Penerbitan : 1 April 2021		Doc. No. : STM/IK-TIME & FREQUENCY/10		Halaman : 9 dari 13
Tgl. Revisi : -	Revisi : -	Dibuat : Shelvan	Diperiksa : A. Rendra	Disahkan : A. Rendra
KALIBRASI GASOLINE ENGINE TACHOMETER (RPM)			No.Salinan :	Status Dokumen :

dimana :

c_1 : koefisien sensitifitas dari ketidakpastian ke-1

y : model matematis pengukuran.

Derajat kebebasan ketidakpastian ini dapat dirumuskan sesuai KAN Pd-01.3 Bab 8, p11 :

$$v_1 = n - 1$$

dimana:

v_1 :derajat kebebasan efektif dari ketidakpastian ke-1

n :banyaknya pengukuran dalam satu titik ukur.

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

Merupakan ketidak pastian tipe B, karena tidak berasal dari analisa statistic sejumlah observasi. Berasaldari manual UUT / observasi penunjukan UUT, untuk mendapatkan perubahan nilai terkecil yang dapat diamati. Kemungkinan besar nilai pembacaan UUT 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 UUT dapat dihitung dengan rumus:

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

dimana:

a : 0.5 x resolusi.

$u(res)$ merupakan besaran yang sama dengan y pada model matematis sehingga koefisien sensitifitas dapat diperoleh :

$$c_2=1$$

Derajat kebebasan ketidakpastian ini, sesuai KAN Pd-01.3 Bab 9, p15 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:

$$v_2 = 10000$$

Tgl. Penerbitan : 1 April 2021		Doc. No. : STM/IK-TIME & FREQUENCY/10		Halaman : 10 dari 13
Tgl. Revisi : -	Revisi : -	Dibuat : Shelvan	Diperiksa : A. Rendra	Disahkan : A. Rendra
KALIBRASI GASOLINE ENGINE TACHOMETER (RPM)			No.Salinan :	Status Dokumen :

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 Pd-01.3 Bab 9, p14.

Dengan demikian ketidakpastian kalibrasi standar dapat dihitung dengan rumus :

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

dimana

$U_{95\ std}$: ketidakpastian diperluas pada tingkat kepercayaan 95% sesuai sertifikat kalibrasi Standar

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

Koefisien sensitifitas $u(Cal_s)$, dapat diperoleh dari turunan pertama model matematis, sesuai KAN Pd-01.3 bab 10, P 15.

$$c_3 = dy / dtpd = (1000 \cdot 60 / tpd^2) \cdot (rpp / cyl)$$

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

$$v_3 = 60$$

d) Ketidakpastian drift standar $u(Df_s)$

Merupakan ketidakpastian tipe B, karena tidak berasal dari analisa statistik sejumlah observasi. Berasal dari data sheet standar (Df_s) yang mendefinisikan limit drift standar dari parikan atau dari selisih hasil kalibrasi standar terbaru dan sebelumnya (“Cald1, Cald2”) yang merupakan kondisi drift terbaru standar, di absolutkan karena yang diambil hanya lebarnya tidak arahnya. Kemungkinan besar nilai benar standar 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).

Tgl. Penerbitan : 1 April 2021		Doc. No. : STM/IK-TIME & FREQUENCY/10		Halaman : 11 dari 13
Tgl. Revisi : -	Revisi : -	Dibuat : Shelvan	Diperiksa : A. Rendra	Disahkan : A. Rendra
KALIBRASI GASOLINE ENGINE TACHOMETER (RPM)			No.Salinan :	Status Dokumen :

Dengan demikian ketidakpastian drift Standar dapat dihitung dengan rumus :

$$U(Df_s) = \frac{+Df_s - -Df_s}{2\sqrt{3}}$$

$$U(Df_s) = \frac{Df_s}{\sqrt{3}}$$

Atau

$$U(Df_s) = \frac{|Cal_{d1} - Cal_{d2}|}{2\sqrt{3}}$$

$u(Df_s)$ merupakan besaran yang sama dengan $u(Cal_s)$ sehingga koefisien sensitifitas dapat diperoleh seperti pada point c) ketidakpastian kalibrasi standar, sehingga diperoleh :

$$C_4 = C_3$$

Derajat kebebasan ketidak pastian ini, sesuai KAN Pd-01.3 Bab 9, p15 dapat diasumsikan tidak berhingga, hal ini dikarenakan sangat kecil kemungkinannya nilai output standar diluar batas drift. Dalam hal ini untuk memudahkan dalam perhitungan otomatis, nilai tak berhingga diwakili oleh nilai yang cukup besar, sehingga digunakan:

$$\nu_4 = 10000$$

e) Ketidakpastian Interpolasi Nilai Standar, $u(Int_s)$

Merupakan ketidakpastian tipe B, karena tidak berasal dari analisa statistic sejumlah observasi. Berasal dari interpolasi nilai standar pada sertifikat kalibrasi standar. Limit ketidak pastian ini menggunakan hasil interpolasi seperti yang digunakan pada perhitungan koreksi diatas (T_{is}), dan estimasi nilai benar yang diperoleh dari interpolasi kuadratik (T_{isq}), dengan tambahan 1 titik ukur terdekat diatasnya, kecuali pada range tertinggi, menggunakan 1 titik ukur terdekat di bawahnya. Kemungkinan besar nilai benar standar berada dimana saja didalam limit ini, sehingga dapat diasumsikan memiliki tipe distribusi rectangular dengan pembagi akar kuadrat tiga, dan besarnya (a) adalah nilai setengah dari lebar limit (nilai absolut),(JCGM 100:2008 4.3.7).

Tgl. Penerbitan : 1 April 2021		Doc. No. : STM/IK-TIME & FREQUENCY/10		Halaman : 12 dari 13
Tgl. Revisi : -	Revisi : -	Dibuat : Shelvan	Diperiksa : A. Rendra	Disahkan : A. Rendra
KALIBRASI GASOLINE ENGINE TACHOMETER (RPM)		No.Salinan :		Status Dokumen :

Dengan demikian ketidakpastian interpolasi nilai Standar dapat dihitung dengan rumus :

$$U(Int_s) = \frac{|T_{is} - T_{isq}|}{2\sqrt{3}}$$

$u(Int_s)$ merupakan besaran yang sama dengan $u(Cal_s)$ sehingga koefisien sensitifitas dapat diperoleh seperti pada point c) Ketidakpastian kalibrasi standar, sehingga diperoleh :

$$c_5 = c_3$$

Derajat kebebasan ketidak pastian ini, sesuai KAN Pd-01.3 Bab 9, p15 dapat diasumsikan tidak berhingga, hal ini dikarenakan sangat kecil kemungkinannya nilai output standar diluar batas ketidakpastian intepolasi. Dalam hal ini untuk memudahkan dalam perhitungan otomatis, nilai tak berhingga diwakili oleh nilai yang cukup besar, sehingga digunakan:

$$v_5 = 10000$$

f) Ketidakpastian Pembulatan Nilai Standar dan UUT, $u(Rnd)$

Merupakan ketidakpastian tipe B, karena tidak berasal dari analisa statistic sejumlah observasi. Berasal dari pembulatan nilai standar dan UUT. Limit ketidak pastian ini menggunakan nilai terbesar selisih akibat pembulatan nilai standar dan UUT (Rnd). Kemungkinan besar nilai benar berada dimana saja didalam limit ini, sehingga dapat diasumsikan memiliki tipe distribusi rectangular dengan pembagi akar kuadrat tiga, dan besarnya (a) adalah nilai setengah dari lebar limit (nilai absolut),(JCGM 100:2008 4.3.7).

Dengan demikian ketidakpastian kalibrasi pembulatan dapat dihitung dengan rumus :

$$U(Rnd) = \frac{|Rnd|}{2\sqrt{3}}$$

$u(Rnd)$ merupakan besaran yang sama dengan estimasi nilai benar UUT (y) sehingga koefisien sensitifitas dapat diperoleh seperti pada point a) Ketidakpastian Pengukuran Berulang, sehingga diperoleh:

$$c_6 = 1$$

Derajat kebebasan ketidak pastian ini, sesuai KAN Pd-01.3 Bab 9, p15 dapat diasumsikan tidak berhingga, hal ini dikarenakan sangat kecil kemungkinannya nilai output standar diluar

Tgl. Penerbitan : 1 April 2021		Doc. No. : STM/IK-TIME & FREQUENCY/10		Halaman : 13 dari 13
Tgl. Revisi : -	Revisi : -	Dibuat : Shelvan	Diperiksa : A. Rendra	Disahkan : A. Rendra
KALIBRASI GASOLINE ENGINE TACHOMETER (RPM)			No.Salinan :	Status Dokumen :

batas ketidakpastian Pembulatan. Dalam hal ini untuk memudahkan dalam perhitungan otomatis, nilai tak berhingga diwakili oleh nilai yang cukup besar, sehingga digunakan:

$$v_6 = 10000$$

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 :

$$U_c = \sqrt{U(\text{rep})^2 + U(\text{res})^2 + U(\text{Cals})^2 + U(\text{Dfs})^2 + U(\text{Ints})^2 + U(\text{Rnd})^2}$$

4) Faktor Cakupan, k.

Faktor cakupan, didapat dari tabel t-distribution pada tingkat kepercayaan 95% namun terlebih dahulu menghitung nilai Derajat Kebebasan Efektif, v_{eff} , sesuai JCGM 100:2008

G.4.1 eq (G.2.b):

$$v_{\text{eff}} = \frac{U_c^4}{\frac{U(\text{rep})^4}{v_1} + \frac{U(\text{res})^4}{v_2} + \frac{U(\text{Cals})^4}{v_3} + \frac{U(\text{Dfs})^4}{v_4} + \frac{U(\text{Ints})^4}{v_5} + \frac{U(\text{Rnd})^4}{v_6}}$$

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 Sertifikat Kalibrasi untuk UUT kelistrikan