




METODE KALIBRASI KELISTRIKAN

REFERENCE TRANSFORMER TURN RATIO / VOLTAGE RATIO

STM/IK-KELISTRIKAN/25

APPROVAL BY :

PREPARED	CHECKED	APPROVED
		
Teknisi	Manager Teknis	Wakil Kepala Lab

Tgl. Penerbitan : 1 Maret 2021		Doc. No. : STM/IK-KELISTRIKAN/25		Halaman : 2 dari 12
Tgl. Revisi : -	Revisi : -	Dibuat : Bambang	Diperiksa : Rendra	Disahkan : Rendra
KALIBRASI REFERENCE TRANSFORMER TURN RATIO / VOLTAGE RATIO			No. Salinan :	Status Dokumen :

Riwayat Revisi

Urutan Revisi	Tanggal	Rincian	Oleh
Pertama Diterbitkan	1 Maret 2021	Prinsip metode kalibrasi mengacu pada SNI ISO/IEC 17025:2017	Bambang

Tgl. Penerbitan : 1 Maret 2021		Doc. No. : STM/IK-KELISTRIKAN/25		Halaman : 3 dari 12
Tgl. Revisi : -	Revisi : -	Dibuat : Bambang	Diperiksa : Rendra	Disahkan : Rendra
KALIBRASI REFERENCE TRANSFORMER TURN RATIO / VOLTAGE RATIO			No. Salinan :	Status Dokumen :

A. Tujuan

Menerangkan standar prosedur kalibrasi untuk *Reference Transformer Turn Ratio / Voltage Ratio Tester*

B. Ruang Lingkup

Prosedur ini ditujukan untuk kalibrasi *Reference Transformer Turn Ratio / Voltage Ratio*, fasa tunggal dan 3 fasa yang dapat dikalibrasi per fasa, dimana prosedur kalibrasi tidak disediakan atau tidak diberikan dalam service manual oleh manufaktur maupun pemakai.

C. Jenis & Spesifikasi Alat yang Dikalibrasi

- 1) Rentang pengukuran : 0.8 ~ 10000
- 2) Satuan pengukuran : *dimensionless*

D. Daftar Acuan Kalibrasi

- 1) JCGM 100:2008, "*Evaluation of Measurement Data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*"
- 2) Instruksi Manual Transmille 9041A
- 3) Instruksi manual Digital Multimeter GW instek tipe *GDM-8261A*
- 4) EURAMET cg-15 v3.0 "*Guidelines on the Calibration of Digital Multimeters*"
- 5) KAN Pd-01.3 "*Guide on the Evaluation and Expression of Uncertainty in measurement*"
- 6) Ohlen, Matz & Werelius, Peter "*Aguide to Transformer Ratio measurement*" Megger Application Information (2010), [https://megger.com/support/technical-library/application-notes/a-guide-to-transformer-ratio-measurements-\(1\)](https://megger.com/support/technical-library/application-notes/a-guide-to-transformer-ratio-measurements-(1))

E. Alat Standar

- 1) *Multi Product Calibrator* merk Transmille, tipe 9041A SN: R1267H17 / ID: ELC001C
- 2) *Digital Multimeter GW Instek* tipe *GDM-8261A* SN : GEN190885



Gambar 1 : Standar kalibrator Transmille 9041A dan digital multimeter GW instek

F. Perlengkapan Kalibrasi dan Aksesoris

- 1) Kabel konektor
- 2) Obeng (untuk UUT dengan koneksi terminal sekrup)

Tgl. Penerbitan : 1 Maret 2021		Doc. No. : STM/IK-KELISTRIKAN/25		Halaman : 4 dari 12
Tgl. Revisi : -	Revisi : -	Dibuat : Bambang	Diperiksa : Rendra	Disahkan : Rendra
KALIBRASI REFERENCE TRANSFORMER TURN RATIO / VOLTAGE RATIO			No. Salinan :	Status Dokumen :

G. Kondisi Lingkungan

Kalibrasi inlab :

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

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

Transformer turn ratio (TTR) merupakan perbandingan jumlah lilitan kumparan tegangan tinggi terhadap jumlah lilitan kumparan tegangan rendah. *Transformer Voltage Ratio (TVR)* adalah perbandingan tegangan rms pada terminal kumparan tegangan tinggi terhadap tegangan rms pada terminal kumparan tegangan rendahnya, pada kondisi beban tertentu. Untuk seluruh tujuan praktis, ketika transformer pada kondisi open circuit, *TVR* dan *TTR* nya dapat dianggap *equal* (referensi 6, bab 2.2.1).

Prinsip pengukuran TTR yang umum adalah TTR Tester menghasilkan excitation test voltage pada kumparan primer transformer, dan mengukur tegangan pada kumparan sekundernya. (referensi 6, bab 3.1).

Pada metoda kalibrasi ini standar bekerja sebagaimana TTR Tester, dan UUTnya adalah reference transformer.

Berikut ini beberapa definisi yang digunakan dalam proses kalibrasi *Reference Transformer Turn Ratio / Voltage Ratio*.

- 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

Tgl. Penerbitan : 1 Maret 2021		Doc. No. : STM/IK-KELISTRIKAN/25		Halaman : 5 dari 12
Tgl. Revisi : -	Revisi : -	Dibuat : Bambang	Diperiksa : Rendra	Disahkan : Rendra
KALIBRASI REFERENCE TRANSFORMER TURN RATIO / VOLTAGE RATIO			No. Salinan :	Status Dokumen :

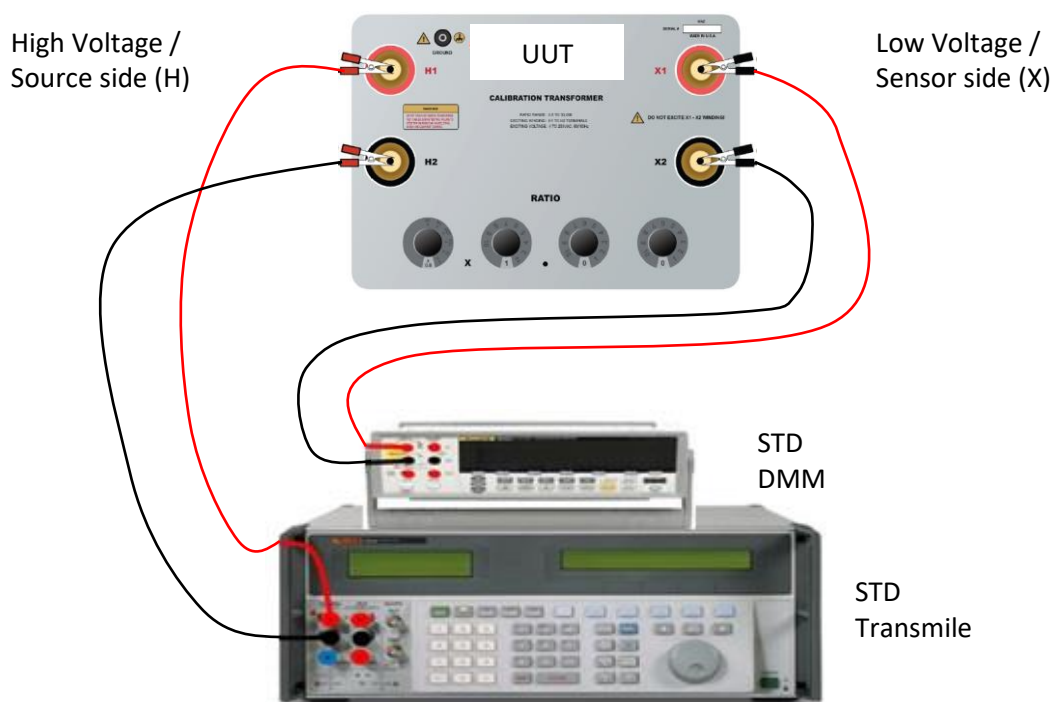
I. Langkah Kalibrasi

1) Persiapan & Function Test

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

2) Warming Up

- Sambungkan standar Multi Product Calibrator, UUT dan standar Digital Multimeter (DMM) seperti gambar 2 berikut ini:



Gambar 2 : Rangkaian koneksi UUT dengan standar

- Nyalakan peralatan standar lalu lakukan warm-up, kurang lebih selama 30 menit.
- Tekan tombol [Standby] agar tidak ada output lain sebelumnya pada peralatan standar.
- Sementara menunggu warm-up, lakukan pencatatan data UUT seperti identitas dan spesifikasi, sesuai Form Laporan Hasil Kalibrasi untuk parameter Resistansi meter.

Tgl. Penerbitan : 1 Maret 2021		Doc. No. : STM/IK-KELISTRIKAN/25		Halaman : 6 dari 12
Tgl. Revisi : -	Revisi : -	Dibuat : Bambang	Diperiksa : Rendra	Disahkan : Rendra
KALIBRASI REFERENCE TRANSFORMER TURN RATIO / VOLTAGE RATIO			No. Salinan :	Status Dokumen :

3) Prosedur Kalibrasi

- Lakukan pengukuran terkecil mulai dari titik ukur terendah yang dapat dicapai UUT, pada fasa A jika terdapat 3 fasa. Seting tegangan output transmille 20 VAC atau sesuai nominal tegangan maksimum pada range tersebut jika lebih kecil, pada frekuensi 50 Hz.
- Tekan tombol [Output On] pada Transmille dan tunggu selama minimal 5 detik agar pembacaan UUT dan standar DMM stabil.
- Catat nilai nominal dan resolusi UUT dan penunjukan dan range standar DMM pada Form Laporan Hasil Kalibrasi. Tunggu setidaknya 5 detik dan catat kembali penunjukan standar DMM dan UUT, ulangi hingga didapat masing-masing 5 data pengamatan.
- Tekan tombol [Standby] pada Transmille sehingga berada pada kondisi standby.
- Jika UUT 3 fasa, rangkai ulang standard dan UUT untuk fasa UUT berikutnya (B, lalu C).
- Ulangi langkah a ~ e untuk titik ukur 10 % FS (*Full Scale*, nilai skala penuh rentang), lalu 90 % FS. Khusus range tertinggi UUT, titik ukur 90 % FS diganti 100% FS. Hal ini sesuai permintaan mayoritas pelanggan. Jika tidak dapat dicapai, maka gunakan titik ukur maksimal yang dapat dicapai dan catat nilai tersebut pada Form Laporan Hasil Kalibrasi.
- Ulangi langkah a ~ f untuk range tengah, jika ada minimal 3 range, lalu upper range jika ada, baru kemudian range lainnya, hingga semua range terkalibrasi. Urutan ini untuk mendeteksi abnormality seperti penyimpangan yang besar sedini mungkin dan pada level energi yg lebih aman.
- Jika terdapat lebih dari 5 rentang ukur, maka titik ukur 10% FS tidak perlu diambil, kecuali untuk rentang terendah dan tertinggi. Hal ini untuk penyederhanaan sesuai EURAMET cg-15 v3.0 3.4.2.2 .

J. Penginputan Data Hasil Kalibrasi

- Buka file template kalibrasi Electrical pada PC.
- Input semua identitas dan informasi lainnya dari alat.
- 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 : 1 Maret 2021		Doc. No. : STM/IK-KELISTRIKAN/25		Halaman : 7 dari 12
Tgl. Revisi : -	Revisi : -	Dibuat : Bambang	Diperiksa : Rendra	Disahkan : Rendra
KALIBRASI REFERENCE TRANSFORMER TURN RATIO / VOLTAGE RATIO			No. Salinan :	Status Dokumen :

K. Perhitungan Koreksi

Koreksi dirumuskan:

$$C_i = T_{ist} / T_{isd} - T_{ix}$$

Dengan,

C_i : Koreksi pembacaan alat terhadap Standar.

T_{ist}, isd : Nilai nominal Standar transmille (t) dan DMM (d). Dilakukan koreksi
Jika bias standar signifikan terhadap kebutuhan akurasi pengukuran sesuai JCGM 100:2008, 3.2.3. Diasumsikan jika bias standar $>U_{95}$ standar, maka diperlukan koreksi standar. Jika tidak ada nilai standar yang sama dengan titik ukur, maka digunakan nilai interpolasi linear antara nilai standar terdekat diatas dan dibawah titik ukur.

T_{ix} : Pembacaan UUT

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

L. Perhitungan Ketidakpastian

1) Model Matematis Pengukuran

$$y = x / z$$

Sesuai JCGM 100:2008 4.1.4, dimana :

y : Estimasi nilai benar UUT

x, z : Estimasi nilai standar transmille (x) dan DMM (z). 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 $>U_{95}$ 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 standar DMM yang menggambarkan performa UUT. 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 ketidak pastian *repeatability*, yang dapat dirumuskan:

Tgl. Penerbitan : 1 Maret 2021		Doc. No. : STM/IK-KELISTRIKAN/25		Halaman : 8 dari 12
Tgl. Revisi : -	Revisi : -	Dibuat : Bambang	Diperiksa : Rendra	Disahkan : Rendra
KALIBRASI REFERENCE TRANSFORMER TURN RATIO / VOLTAGE RATIO			No. Salinan :	Status Dokumen :

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

dimana :

s : standar deviasi pembacaan DMM yang menggambarkan performa UUT untuk setiap titik ukur, dihitung dengan menggunakan rumus Standar Deviasi.

n : banyaknya pengukuran dalam satu titik ukur.

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

$$c_1 = dy / dz = -x.z^{-2}$$

dimana :

$c_{1u,ld}$: koefisien sensitivitas 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 :

$v_{1u,ld}$: derajat kebebasan efektif dari ketidakpastian ke-1

n : banyaknya pengukuran dalam satu titik ukur.

b) Ketidakpastian kalibrasi Standar Transmille, $u(Cals_t)$ dan Standar DMM $u(Cals_d)$

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 :

$$u(Cal_{st,sd}) = \frac{U_{95std}}{k_{95std}}$$

dimana:

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

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

Koefisien sensitivitas $u(Cal_{st,sd})$ dapat diperoleh dari turunan pertama model matematis sesuai KAN Pd-01.3 Bab 10, p15 :

Tgl. Penerbitan : 1 Maret 2021		Doc. No. : STM/IK-KELISTRIKAN/25		Halaman : 9 dari 12
Tgl. Revisi : -	Revisi : -	Dibuat : Bambang	Diperiksa : Rendra	Disahkan : Rendra
KALIBRASI REFERENCE TRANSFORMER TURN RATIO / VOLTAGE RATIO			No. Salinan :	Status Dokumen :

$$c_{2t} = dy / dx = 1/z$$

$$c_{2d} = dy / dz = -x.z^{-2}$$

dimana :

$c_{3t,3d}$: koefisien sensitivitas dari ketidakpastian ke-2

y : model matematis pengukuran.

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:

$$v_2 = 60$$

c) Ketidakpastian *drift* standar $u(Df_s)$

Merupakan ketidakpastian tipe B, karena tidak berasal dari analisa statistik sejumlah observasi. Berasal dari nilai selisih hasil kalibrasi standar terbaru dan sebelumnya (transmille: Cal_{st1} , Cal_{st2} , DMM : Cal_{sd1} , Cal_{sd2}) 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).

Dengan demikian ketidakpastian kalibrasi Standar dapat dihitung dengan rumus :

$$u(Df_s) = \frac{|Cal_{s1} - Cal_{s2}|}{2\sqrt{3}}$$

$u(Df_{st, sd})$ merupakan besaran pada standar sehingga koefisien sensitivitasnya dapat diperoleh seperti pada point c) Ketidakpastian kalibrasi standar, sehingga diperoleh

$$c_{4t} = 1/z$$

$$c_{4d} = -x.z^{-2}$$

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

$$v_3 = 10000$$

Tgl. Penerbitan : 1 Maret 2021		Doc. No. : STM/IK-KELISTRIKAN/25		Halaman : 10 dari 12
Tgl. Revisi : -	Revisi : -	Dibuat : Bambang	Diperiksa : Rendra	Disahkan : Rendra
KALIBRASI REFERENCE TRANSFORMER TURN RATIO / VOLTAGE RATIO			No. Salinan :	Status Dokumen :

d) Ketidakpastian Interpolasi Nilai Standar Transmille, $u(Int_{st})$, DMM $u(Int_{sd})$

Merupakan ketidakpastian tipe B, karena tidak berasal dari analisa statistik sejumlah observasi. Berasal dari interpolasi nilai standar pada sertifikat kalibrasi standar $u(Int_{st, sd})$. Limit ketidakpastian ini menggunakan hasil interpolasi seperti yang digunakan pada perhitungan koreksi diatas ($T_{ist, isd}$), dan estimasi nilai benar yang diperoleh dari interpolasi kuadrat ($T_{istq, T_{isdq}}$), 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). Dengan demikian ketidakpastian kalibrasi Standar dapat dihitung dengan rumus :

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

$u(Int_{st, sd})$ merupakan besaran pada standar sehingga koefisien sensitivitasnya dapat diperoleh seperti pada point c) Ketidakpastian kalibrasi standar, sehingga diperoleh

$$c_{4t} = 1/z$$

$$c_{4d} = -x.z^{-2}$$

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:

$$v_4 = 10000$$

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

Merupakan ketidakpastian tipe B, karena tidak berasal dari analisa statistic sejumlah observasi. Berasal dari pembulatan pembacaan standar DMM (Rnd). Lalu di absolutkan karena yang diambil hanya lebarnya, tidak arahnya. Kemungkinan besar nilai benar standar dan UUT 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). Untuk nilai standar adalah pilihan nominal fix pada UUT, sehingga tidak ada pembulatan. Dengan demikian ketidakpastian kalibrasi Standar dapat dihitung dengan rumus :

Tgl. Penerbitan : 1 Maret 2021		Doc. No. : STM/IK-KELISTRIKAN/25		Halaman : 11 dari 12
Tgl. Revisi : -	Revisi : -	Dibuat : Bambang	Diperiksa : Rendra	Disahkan : Rendra
KALIBRASI REFERENCE TRANSFORMER TURN RATIO / VOLTAGE RATIO			No. Salinan :	Status Dokumen :

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

$u(Rnd)$ merupakan besaran yang sama dengan point a) Ketidakpastian Pengukuran Berulang , sehingga diperoleh:

$$c_5 = 1$$

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

$$v_5 = 10000$$

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 :

$$U_c = \sqrt{U(rep)^2 + U(Calst)^2 + U(Calsd)^2 + U(Dfst)^2 + U(Dfsd)^2 + U(Intst)^2 + U(Intsd)^2 + U(Rnd)^2}$$

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):

$$v_{eff} = \frac{U_c^4}{\frac{U(rep)^4}{v_1} + \frac{U(Calst)^4}{v_{2t}} + \frac{U(Calsd)^4}{v_{2d}} + \frac{U(Dfst)^4}{v_{3t}} + \frac{U(Dfsd)^4}{v_{3d}} + \frac{U(Intst)^4}{v_{4t}} + \frac{U(Intsd)^4}{v_{4d}} + \frac{U(Rnd)^4}{v_5}}$$

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):

Tgl. Penerbitan : 1 Maret 2021		Doc. No. : STM/IK-KELISTRIKAN/25		Halaman : 12 dari 12
Tgl. Revisi : -	Revisi : -	Dibuat : Bambang	Diperiksa : Rendra	Disahkan : Rendra
KALIBRASI REFERENCE TRANSFORMER TURN RATIO / VOLTAGE RATIO			No. Salinan :	Status Dokumen :

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

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