




# **METODE KALIBRASI KELISTRIKAN**

## **INSTRUKSI KERJA INDUCTANCE METER**

### **STM/IK-KELISTRIKAN/21**

#### **APPROVAL BY :**

PREPARED	CHECKED	APPROVED
		
Teknisi	Manager Teknis	Wakil Kepala Lab

Tgl. Penerbitan : 1 Maret 2021		<b>Doc. No. : STM/IK-KELISTRIKAN/21</b>		Halaman : 2 dari 12
Tgl. Revisi : -	Revisi : -	Dibuat : Bambang	Diperiksa : Rendra	Disahkan : Rendra
<b>KALIBRASI INDUCTANCE METER</b>			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		<b>Doc. No. : STM/IK-KELISTRIKAN/21</b>		Halaman : 3 dari 12
Tgl. Revisi : -	Revisi : -	Dibuat : Bambang	Diperiksa : Rendra	Disahkan : Rendra
<b>KALIBRASI INDUCTANCE METER</b>			No. Salinan :	Status Dokumen :

#### A. Tujuan

Menerangkan standar prosedur kalibrasi untuk *Inductance Meter*.

#### B. Ruang Lingkup

Prosedur ini ditujukan untuk kalibrasi *Inductance Meter* dengan rentang ukur  $1\mu\text{H} \sim 10\text{ H}$ , dimana prosedur kalibrasi tidak disediakan atau tidak diberikan dalam service manual oleh manufaktur maupun pemakai.

#### C. Jenis & Spesifikasi Alat yang Dikalibrasi

- 1) Rentang pengukuran :  $1\mu\text{H} \sim 10\text{ H}$
- 2) Satuan pengukuran : mikroHenry ( $\mu\text{H}$ ), miliHenry(mH), Henry (H)

#### D. Daftar Acuan Kalibrasi

- 1) JCGM 100:2008, *“Evaluation of Measurement Data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement”*
- 2) Instruksi Manual Decade Inductance box Chauvin Arnoux BL07
- 3) EURAMET cg-15 v3.0 *“Guidelines on the Calibration of Digital Multimeters”*
- 4) KAN Pd-01.3 *“Guide on the Evaluation and Expression of Uncertainty in measurement”*

#### E. Alat Standar

- 1) Decade Inductance box Chauvin Arnoux BL07 SN:



Gambar 1 : Decade Inductance box Chauvin Arnoux BL07

#### F. Perlengkapan Kalibrasi dan Aksesoris

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

Tgl. Penerbitan : 1 Maret 2021		<b>Doc. No. : STM/IK-KELISTRIKAN/21</b>		Halaman : 4 dari 12
Tgl. Revisi : -	Revisi : -	Dibuat : Bambang	Diperiksa : Rendra	Disahkan : Rendra
<b>KALIBRASI INDUCTANCE METER</b>			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

**Inductance Meter** merupakan peralatan yang digunakan untuk mengukur nilai induktansi dari suatu rangkaian listrik.

Berikut ini beberapa definisi yang digunakan dalam proses kalibrasi *Inductance Meter*.

- 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 *decade inductance box* dan UUT untuk cara pengoperasiannya.
- b) Periksa **sumber tegangan** dari UUT (110V, 220V atau lainnya).
- c) Jika dibutuhkan, gunakan *voltage transformer* (trafo *step up/down*) untuk mendapatkan sumber tegangan yang sesuai.
- d) Pastikan *switch* UUT dalam keadaan “OFF”.

### 2) Warming Up

- a) Nyalakan UUT dan lakukan warm-up, kurang lebih selama 30 menit.
- b) Tekan tombol “Test” untuk memastikan tidak ada output lain sebelumnya pada peralatan standar.



Tgl. Penerbitan : 1 Maret 2021		Doc. No. : STM/IK-KELISTRIKAN/21		Halaman : 6 dari 12
Tgl. Revisi : -	Revisi : -	Dibuat : Bambang	Diperiksa : Rendra	Disahkan : Rendra
<b>KALIBRASI INDUCTANCE METER</b>			No. Salinan :	Status Dokumen :

### 3) Prosedur Kalibrasi Digital / Analog *Inductance Meter*

- a) Nyalakan UUT, rangkai UUT dengan *decade box* seperti pada gambar 3 di atas.
- b) Pengukuran *Range* terkecil dimulai dari zero seting dengan cara memilih posisi “Auto Null” pada knob putar / tombol pilih range jika ada, kontak kutub positif dan negatif lalu tekan tombol “test” hingga nilai induktansi menunjukkan 0 atau mendekati. Beberapa digital *Inductance Meter* dapat melakukan auto zeroing, jika tidak, maka perlu menekan tombol zeroing. Pada analog *Inductance Meter*, putar knob zeroing sehingga jarum menunjuk nol atau sedekat mungkin. Bisa ataupun tidak dilakukan zeroing, catat pembacaan UUT yang didapat pada Form Laporan Hasil Kalibrasi.
- c) Lepaskan kedua kutub kabel konektor, lalu hubungkan kembali, dan tunggu selama minimal 5 detik agar stabil, catat pembacaan UUT yang didapat pada Form Laporan Hasil Kalibrasi.
- d) Ulangi langkah c hingga didapat 5 data pada titik ukur zero.
- e) Lakukan pengukuran dengan Setting Nilai Standar 10 % FS (*Full Scale*, nilai skala penuh rentang ), untuk UUT digital atau 0,1% FS untuk UUT analog, atau pendekatannya yang tersedia. Untuk penyederhanaan hanya digunakan nilai pada 1 knob standar, sebagaimana yang tersedia pada sertifikat kalibrasi standar, dan nominal 1 setiap knob tidak digunakan, kecuali pada knob x 1  $\mu\text{H}$ , nilai tersebut menggunakan nominal 10 pada range dibawahnya. Untuk UUT yang resolusinya tidak memenuhi, pilih titik ukur yang mendekati. Misal, range 8 H, resolusi 1 H, maka titik ukur 10% = 0,8 H diambil pada skala terdekat 1 H. Catat titik ukur yang diambil pada Form Laporan Hasil Kalibrasi. Atur frekuensi pengukuran UUT sesuai rekomendasi manual 100 Hz, untuk knob x 1 H, 1 kHz untuk knob x 100 mH , 10 kHz untuk knob x 10 mH, x 1 mH, x 100  $\mu\text{H}$ , x 10  $\mu\text{H}$ , dan x 1  $\mu\text{H}$ .
- f) Tekan tombol [test] pada UUT dan tunggu selama minimal 5 detik atau hingga pembacaannya stabil.
- g) Catat nilai penunjukan UUT dan resolusi UUT pada Form Laporan Hasil Kalibrasi.
- h) Tekan tombol [Test] pada UUT sehingga berada pada kondisi standby.
- i) Ulangi langkah f ~ h sampai didapat lima data pengamatan.
- j) Ulangi langkah e ~ i untuk setting Nilai decade inductance box sebesar 100% FS untuk UUT digital atau 1% dan 100% FS untuk UUT analog. Khusus range tertinggi, 50% dan 100% untuk UUT digital, 1% dan 100% untuk UUT Analog. Hal ini sesuai permintaan mayoritas pelanggan. Jika tidak dapat dicapai, maka seting output decade inductance box maksimal yang dapat dicapai

Tgl. Penerbitan : 1 Maret 2021		<b>Doc. No. : STM/IK-KELISTRIKAN/21</b>		Halaman : 7 dari 12
Tgl. Revisi : -	Revisi : -	Dibuat : Bambang	Diperiksa : Rendra	Disahkan : Rendra
<b>KALIBRASI INDUCTANCE METER</b>			No. Salinan :	Status Dokumen :

dan catat nilai tersebut pada Form Laporan Hasil Kalibrasi. Jika hanya terdapat 3 range atau kurang, tambahkan titik ukur 20%, dan 50% untuk UUT Digital, 1%, dan 10% untuk UUT Analog.

- k) Ulangi langkah e ~ j 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.
- l) Jika terdapat lebih dari 5 rentang ukur, maka titik ukur 10% FS untuk UUT digital atau 0,1% FS untuk UUT analog 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**

- 1) Buka file template kalibrasi Electrical Time Frequency 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 beri nama *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. 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.

$T_{ix}$  : Pembacaan UUT

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

Tgl. Penerbitan : 1 Maret 2021		<b>Doc. No. : STM/IK-KELISTRIKAN/21</b>		Halaman : 8 dari 12
Tgl. Revisi : -	Revisi : -	Dibuat : Bambang	Diperiksa : Rendra	Disahkan : Rendra
<b>KALIBRASI INDUCTANCE METER</b>			No. Salinan :	Status Dokumen :

## L. Perhitungan Ketidakpastian

### 1) Model Matematis Pengukuran

$$y = x$$

Sesuai JCGM 100:2008 4.1.4, dimana :

y : Estimasi nilai benar UUT

x : Estimasi nilai standar. 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  $>U_{95}$  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). 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 untuk setiap titik ukur, dihitung dengan menggunakan rumus Standar Deviasi.

n : banyaknya pengukuran dalam satu titik ukur.

$u(rep)$  memiliki satuan yang sama dengan nilai standar sehingga koefisien sensitifitas dapat diperoleh dari turunan pertama model matematis, KAN Pd-01.3 Bab 10, p15 :

$$c_1 = dy / dx = 1$$

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 :

$$v_1 = n - 1$$



Tgl. Penerbitan : 1 Maret 2021		<b>Doc. No. : STM/IK-KELISTRIKAN/21</b>		Halaman : 9 dari 12
Tgl. Revisi : -	Revisi : -	Dibuat : Bambang	Diperiksa : Rendra	Disahkan : Rendra
<b>KALIBRASI INDUCTANCE METER</b>			No. Salinan :	Status Dokumen :

dimana :

$v_1$  : derajat kebebasan efektif dari ketidakpastian ke-1

$n$  : banyaknya pengukuran dalam satu titik ukur.

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

Merupakan ketidakpastian tipe B, karena tidak berasal dari analisa statistik sejumlah observasi. Berasal dari 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.

$u(res)$  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 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:

$$v_2 = 10000$$

**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:

Tgl. Penerbitan : 1 Maret 2021		Doc. No. : STM/IK-KELISTRIKAN/21		Halaman : 10 dari 12
Tgl. Revisi : -	Revisi : -	Dibuat : Bambang	Diperiksa : Rendra	Disahkan : Rendra
KALIBRASI INDUCTANCE METER			No. Salinan :	Status Dokumen :

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

$k_{95\text{std}}$  : *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* (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 yang mendefinisikan limit drift standar. 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 drift Standar dapat dihitung dengan rumus :

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

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

dimana :

$Df_s$  : Nominal drift standar.

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

$$c_4 = 1$$

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 drift. Dalam hal ini untuk memudahkan dalam perhitungan otomatis, nilai tak berhingga

Tgl. Penerbitan : 1 Maret 2021		<b>Doc. No. : STM/IK-KELISTRIKAN/21</b>		Halaman : 11 dari 12
Tgl. Revisi : -	Revisi : -	Dibuat : Bambang	Diperiksa : Rendra	Disahkan : Rendra
<b>KALIBRASI INDUCTANCE METER</b>			No. Salinan :	Status Dokumen :

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 nilai standar dan  $UUT$ . Limit ketidakpastian ini menggunakan nilai terbesar selisih akibat pembulatan nilai standar dan  $UUT$  ( $Rnd$ ). 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). Dengan demikian ketidakpastian kalibrasi Standar dapat dihitung dengan rumus :

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

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

$$c_6 = 1$$

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:

$$v_6 = 10000$$

**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 :

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

Tgl. Penerbitan : 1 Maret 2021		<b>Doc. No. : STM/IK-KELISTRIKAN/21</b>		Halaman : 12 dari 12
Tgl. Revisi : -	Revisi : -	Dibuat : Bambang	Diperiksa : Rendra	Disahkan : Rendra
<b>KALIBRASI INDUCTANCE METER</b>			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,  $\nu_{eff}$ , sesuai JCGM 100:2008 G.4.1 eq (G.2.b):

$$\nu_{eff} = \frac{U_C^4}{\frac{U(rep)^4}{\nu_1} + \frac{U(res)^4}{\nu_2} + \frac{U(Cals)^4}{\nu_3} + \frac{U(Dfs)^4}{\nu_4} + \frac{U(Rnd)^4}{\nu_6}}$$

#### 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