

### **Percobaan 7**

#### **Kalibrasi Alat Ukur Kelembaban Udara**

##### **Tujuan :**

Memahami cara menetapkan nilai koreksi dan ketidakpastian pada kalibrasi alat ukur kelembaban udara

##### **Teori Dasar :**

###### **A. Definisi**

Beberapa jenis kelembaban udara, diantaranya:

###### **1. Kelembaban Mutlak atau Absolut.**

Kelembaban ini biasanya dinyatakan dalam gram per meter kubik ( $\text{gr/m}^3$ ). Kelembaban ini merupakan perbandingan masa uap air dengan volume udara kering, yang mana nilainya sama maka dapat dikatakan sama dengan kerapatan atau density dari uap air

###### **2. Kelembaban Spesifik**

Dinyatakan sebagai perbandingan antara masa uap air dengan masa udara basah yang memiliki besaran gram per kilogram ( $\text{gr/kg}$ ).

###### **3. Kelembaban Campuran**

Kelembaban ini dapat dikatakan sebagai kebalikan dari kelembaban spesifik.

###### **4. Kelembaban Relatif atau Nisbi**

Kelembaban ini adalah perbandingan masa uap air yang ada didalam suatu satuan volume udara dengan masa uap air yang diperlukan untuk menjadi udara jenuh pada temperatur yang sama.

###### **B. Alat Ukur Relative Humidity**

Alat yang dipergunakan untuk mengukur kelembaban udara biasanya disebut Hygrometer. Pada zaman sekarang ini alat ukur yang dipergunakan dalam meteorologi, ialah :

###### **1. Hair Hygrometer atau Hygrograph**

Alat ini menggunakan sensor yang berbentuk rambut yang mana mempunyai sifat bahwa dimensinya akan berubah apabila terjadi perubahan kelembaban udara. Tebal dan panjang rambut akan berubah apabila terjadi perubahan dari kelembaban udara. Jika pada penunjukkan hygrometer rambut tersebut dihubungkan dengan sebuah pena yang dapat bergerak diatas kertas yang diletakkan pada sebuah tabung yang dapat berputar seperti jam yang berputar, maka akan didapatkan catatan kelembaban udara secara terus menerus, alat yang seperti itu disebut hygrograph dan kertasnya disebut Pias.

Grafik yang dihasilkan tertulis dalam pias yang memiliki pengaturan yang beragam diantaranya harian, dan mingguan. Tampilan pada pias ini berupa analog dengan satuan persen, dengan resolusi satuan bulat. Pengukuran pada titik skala berdasarkan pada nilai kelembaban ruang yang diset.

### 2. Hygrometer Digital

#### a) Resistance Hygrometer

Bahan-bahan higroskopik dipakai sebagai bahan baku sensor yang menghasilkan sinyal elektrik atas suatu perubahan lingkungan yang bergantung pada perubahan temperatur yang kecil yang berkenaan pada kelembaban relatif.

Perkembangan Sensor kelembaban relatif digital terus meningkat yang banyak digunakan untuk aplikasi pembacaan yang dikendalikan dari jauh, terutama sekali di suatu tempat yang mana nilai dari kelembaban relatif diperlukan. Banyak diantara pengguna yang tidak tanggap terhadap perubahan dari kelembaban, sehingga pabrikan sering membuat sensor dengan pengukuran dan pengolahan data yang khusus.

Sensor yang dibuat dari bahan material kimiawi plastik mempunyai permukaan lapisan elektrik yang tidak bisa digunakan untuk tujuan pengamatan cuaca. Daya hambat permukaan bervariasi menurut kelembaban relatif yang berkenaan dengan lingkungan.

Proses dari adsorpsi, dibandingkan dengan penyerapan, adalah dominan sebab bagian dari sensor yang sensitip terhadap kelembaban seperti itu terbatas pada lapisan permukaan.

Bagian dari sensor digital ini terdiri dari bahan elektrolit yang dapat menghantarkan listrik pada bahan higroskopik yang berasal dari suatu fungsi dari jumlah uap air yang diserap. Bahan elektrik ini dapat mendeteksi segala bentuk perubahan fisik, seperti solusi 'gel' agar-agar atau cairan, atau suatu peristiwa pertukaran-ion. Perubahan impedansi yang terukur dari hasil polarisasi yang berasal dari tegangan AC yang dikonversikan ke tegangan DC. Penggunaan frekuensi rendah dapat digunakan sebagai pembalasan DC yang akan nilai yang diukur, dengan demikian antara sensor dengan peralatan pendukung yang lain.

#### b) Capacitance Hygrometer

Hygrometer ini menggunakan metoda didasarkan variasi dari kekayaan yang dielektrikum dari suatu padat, higroskopik, material dalam hubungan dengan kelembaban relatif yang berkenaan dengan lingkungan. Bahan Bahan yang Polymeric adalah paling banyak digunakan dalam metode ini. Air yang tersimpan di dalam polymer mengubah nilai dielektrikum dalam kaitan dengan momen dwikutub yang besar dari molekul air itu.

Sensor kelembaban ini terdiri dari suatu polymer kertas perak yang disisipkan dua elektroda untuk membentuk suatu kapasitor. Impedansi elektrik dari kapasitor ini menyediakan suatu ukuran dari kelembaban relatif. Nilai dari kapasitansi yang mungkin diukur hanya sedikit atau beberapa ratus pikofarad, tergantung dari ukuran elektroda dan ketebalan dari dielektrikum itu. Pada gilirannya, mempengaruhi cakupan dari frekuensi eksitasi yang digunakan untuk mengukur impedansi dari alat, yang mana secara normal sedikitnya beberapa kHz. Hal seperti itu, memerlukan koneksi yang pendek itu sehingga dibuat antar sensor dan elektrik menghubungkan ke memperkecil efek dari kapasitansi yang sesaat. Oleh karena itu, sensor kapasitansi secara normal mempunyai alat penghubung yang elektrik membangun dalam hal pemeriksaan dan untuk mempertimbangkan efek dari temperatur lingkungan diperoleh dari komponen sirkuit itu.

Selain itu ada juga sensor yang digunakan untuk mengukur kelembaban dengan menggunakan 2 buah alat ukur kelembaban yang lebih dikenal dengan Psychrometer. Psychrometer terdiri dari 2 jenis yaitu psychrometer analog (menggunakan 2 buah alat ukur kelembaban Gelas) dan Psychrometer digital ini menggunakan prinsip dari dua buah alat ukur kelembaban yang mana masing – masing alat ukur kelembaban diperlakukan berbeda. Namun dari hasil selisih kelembaban yang akan dihasilkan perubahan tegangan yang dikonversikan kedalam satuan persen.

### C. Definisi / Istilah

1. Sensor Kelembaban adalah suatu sumber yang dapat membangkitkan input Kelembaban bila diatur kelembabannya yang mengakibatkan peregangan dan penyusutan yang diterima oleh hair pada higrometer.
2. Pias adalah suatu recorder tampilan yang menampilkan dan menyimpan hasil getaran sebagai output dari sensor Kelembaban.
3. Relative Humidity adalah Perbandingan dalam persen Tekanan Uap air dengan tekanan uap air jenuh pada kelembaban dan tekanan yang sama.
4. Titik kalibrasi adalah titik pengukuran selain humidity normal ruangan.
5. Resolusi adalah satuan terkecil pada indikator Kelembaban.
6. Pemanas Air ( Heater ) untuk menghasilkan uap air yang digunakan untuk proses pembasahan.
7. Pembasahan adalah proses dimana media chamber diberikan uap air atau di udara yang banyak mengandung uap air.
8. Pengeringan adalah proses uap air yang ada didalam media chamber diisap atau di udara kurang mengandung uap air.
9. Perulangan adalah suatu pernyataan kedekatan antara hasil-hasil pengukuran yang diperoleh dari perlakuan yang sama, dengan orang yang sama pada waktu yang hampir bersamaan.

a.

### D. Persyaratan Kalibrasi

1. Sensor Kelembaban digital standar dan indikator harus tertelusur ke standar Nasional ataupun Internasional
2. Dalam satu pengambilan proses harus dilakukan oleh satu orang petugas dan tidak boleh diganti.
3. Media kalibrasi yang mempunyai kapasitas pengaturan Kelembaban yang diinginkan dengan kondisi kestabilan dan keseragaman Kelembaban yang tinggi serta terkalibrasi.

### E. Peralatan Yang Digunakan

1. Sensor Kelembaban dan indikator digital standar yang terkalibrasi.
2. Media kalibrasi berupa chamber yang mempunyai elemen pemanas yang menghasilkan uap air ( proses pembasahan ). Pengisap dan penyedot uap air yang dapat diatur ( Proses Pengeringan ).
3. Termohygrograf / Termohygrometer yang terkalibrasi.
4. Sensor Kelembaban dan indikator analog yang akan dikalibrasi.

### F. Persiapan Kalibrasi

1. Siapkan lembar kerja secara lengkap
2. Bersihkan alat yang akan dikalibrasi dari kotoran dan debu yang menempel
3. Catat nomor kalibrasi dan spesifikasi alat yang akan dikalibrasi serta data kondisi lingkungan pada lembar kerja.
4. Lihat dan baca instruksi kerja alat atau petunjuk pemakaian sensor Kelembaban dan indikator .

### G. Pelaksanaan Kalibrasi

1. Masukkan sensor Kelembaban standar dan sensor Kelembaban alat yang dikalibrasi kedalam media chamber Humidifier Test Chamber.
2. Hidupkan “ **power on** ”
3. Pada display system dipastikan dalam kondisi siap.
4. Lihat kondisi kelembaban pada normal chamber, misal 60 %. Kemudian ubah display control 40 %.
5. Atur valve Pengeringan ( Dehumidifier ) pada posisi B, kemudian switch pada pump I di-ON-kan. Nyalakan ventilasi fan untuk meratakan kelembaban.
6. Tunggu hingga Kelembaban media stabil.
7. Baca dan catat pada lembar kerja untuk nilai Kelembaban yang ditunjukkan pada alat standar dan alat yang dikalibrasi. Setelah 2 menit, baca dan catat kembali.
8. Ubah kelembaban 40 % menjadi 60 %, lalu ulangi langkah f dan g.
9. Setelah mencapai tahap kelembaban 60 %RH dilanjutkan ke tahap pembasahan ( Humidifier ). Untuk tahap ini, tutup semua valve (posisi B ke posisi O) yang dilakukan pada tahap pengeringan.
10. Nyalakan Media Pemanas air. Atur valve Pembasahan ( Humidifier ) pada posisi C, kemudian switch pada pompa II di-ON-kan.
11. Ubah kelembaban 60 %RH menjadi 80 %RH. Tunggu hingga Kelembaban media stabil. Lalu ulangi langkah g.
12. Setelah mencapai 80 %RH, atur kelembaban media menjadi kelembaban ruangan.
13. Tunggu hingga media kelembaban menjadi stabil, setelah itu matikan datalogger combilog dan melepas semua koneksi yang terhubung.
14. Lalu sensor kelembaban yang dikalibrasi dapat diambil dari media chamber.

### H. Perhitungan Hasil Kalibrasi

1. Hitung nilai Kelembaban standar yang terkoreksi,  $RH_{(std,terkoreksi)}$

$$RH_{(std,terkoreksi)} = RH_{(std,pembacaan)} + k_{Sert}$$

2. Hitung nilai koreksi antara sensor kelembaban yang dikalibrasi terhadap kelembaban digital standar,  $RH_{i(koreksi)}$ .

$$RH_{i(koreksi)} = \left( (RH_{i(std,pembacaan)} + k_{Sert}) - RH_{i(alat)} \right)$$

3. Hitung rata – rata nilai yang ditunjukan oleh nilai koreksi antara sensor kelembaban yang dikalibrasi terhadap sensor kelembaban digital standar,  $\overline{RH_{(koreksi)}}$ .

$$\overline{RH_{(koreksi)}} = \sum \frac{RH_{i(koreksi)}}{n}$$

Dengan

$RH_{i(koreksi)}$  adalah nilai kelembaban koreksi pada pembacaan ke -i

$\overline{RH}_{i(koreksi)}$  adalah nilai kelembaban koreksi rata - rata

$k_{Sert}$  adalah nilai koreksi titik ukur yang terdapat pada sertifikat standar.

4. Model matematis pelaksanaan kalibrasi kelembaban udara, ini sebagai berikut :

## 1. Sensor Kelembaban Udara Digital

- Peralatan standar yang digunakan untuk mengkalibrasi, diantaranya : repeatability, sertifikat (  $\delta_{sert}$ ), dan drift (  $\delta_{drift}$  ) .
- Display standar (  $\delta_{display\_std}$  )
- Display alat yang akan dikalibrasi (  $\delta_{display\_alat}$  )
- Resolusi Standar (  $\delta_{resolusi\_std}$  )
- Inhomogenitas (  $\delta_{inhomogenitas}$  )

Sehingga model matematis pelaksanaan kalibrasi Kelembaban Udara Digital ini sebagai berikut :

$$Koreksi_i = RH_{i(std,terkoreksi)} - RH_{i(alat,terkoreksi)}$$

Dengan

$$RH_{(std,terkoreksi)} = \overline{RH}_{std} + k_{sert,std} + \delta_{sert} + \delta_{drift} + \delta_{rep} + \delta_{display\_std} + \delta_{resolusi\_std}$$

$$RH_{i(alat,terkoreksi)} = \overline{RH}_{alat} + \delta_{display\_alat} + \delta_{inhomogenitas}$$

## 2. Sensor Kelembaban Udara Analog

- Peralatan standar yang digunakan untuk mengkalibrasi, diantaranya : repeatability, sertifikat (  $\delta_{sert}$ ), dan drift (  $\delta_{drift}$  ) .
- Display standar (  $\delta_{display\_std}$  )
- Resolusi Standar (  $\delta_{resolusi\_std}$  )
- Inhomogenitas (  $\delta_{inhomogenitas}$  )

Sehingga model matematis pelaksanaan kalibrasi Kelembaban Udara Analog ini sebagai berikut :

$$Koreksi_i = RH_{i(std,terkoreksi)} - RH_{i(alat,terkoreksi)}$$

dengan

$$RH_{(std,terkoreksi)} = \overline{RH}_{std} + k_{sert,std} + \delta_{sert} + \delta_{drift} + \delta_{rep} + \delta_{resolusi\_std} + \delta_{display\_std}$$

$$RH_{i(alat,terkoreksi)} = \overline{RH}_{alat} + \delta_{inhomogenitas}$$

### Perhitungan Ketidakpastian Alat Ukur Kelembapan Udara

#### a. Sensor Kelembaban Digital

##### 1. Hitung Ketidakpastian Riptabilitas / Pengulangan Pembacaan ( $u_1$ )

1. Hitung Ketidakpastian Tipe A Pengulangan (Repeatibilitas) Pembacaan ( $u_1$ )

$$u_1 = \frac{SD}{\sqrt{n}}$$

dimana :

SD = Standar Deviasi

n = jumlah pengukuran

2. Hitung Ketidakpastian Baku Sensor dan Indikator Kelembapan ( $u_2$ )

$$u_2 = \frac{U_{95sert}}{k}$$

Dengan

$U_{95sert}$  = Ketidakpastian yang diperluas standar sensor dan indikator kelembapan dari sertifikat.

$k$  = Faktor cakupan pada tingkat kepercayaan 95% dengan derajat bebas tak terhingga yang terdapat di sertifikat alat standar.

3. Hitung Ketidakpastian Baku Drift Standar Sensor kelembapan ( $u_3$ )

$$u_3 = \frac{U_{exp}}{\sqrt{3}}$$

dimana :

$U_{exp}$  = 1 % RH (Sesuai manual book alat standar)

4. Hitung Ketidakpastian baku display standar ( $u_4$ )

$$u_4 = \frac{RH_{max} - RH_{min}}{2\sqrt{3}}$$

Berdasarkan estimasi maka nilai derajat kebebasan adalah  $\nu_{rep} = \infty$ , sebaran persegi dengan :

$RH_{max}$  = Nilai kelembapan standar maksimum

$RH_{min}$  = Nilai kelembapan standar minimum

5. Hitung repeatabilitas pembacaan alat yang dikalibrasi ( $u_5$ )

$$u_5 = \frac{RH_{max} - RH_{min}}{2\sqrt{3}}$$

Berdasarkan estimasi maka nilai derajat kebebasan adalah  $\nu_{rep} = \infty$  dengan :

$RH_{max}$  = Nilai kelembapan alat yang dikalibrasi maksimum

$RH_{min}$  = Nilai kelembapan alat yang dikalibrasi minimum

6. Hitung Ketidakpastian resolusi standar ( $u_6$ )

$$u_6 = \frac{L}{\sqrt{3}}$$

dengan

$L = 1/2$  dari skala terkecil alat standar

$k = \sqrt{3}$  = Faktor cakupan pada tingkat kepercayaan 95% dengan derajat bebas tak terhingga

7. Hitung Ketidakpastian Inhomogenitas Media Yang Digunakan ( $u_7$ )

$$u_7 = \frac{u_{inhom media}}{\sqrt{3}}$$

$u_{inhom media}$  = Inhomogenitas media

8. Koefisien Sensitifitas ( $c_i$ )

$$c_i = \partial f / \partial x_i$$

9. Hitung Ketidakpastian Baku Gabungan ( $u_{gab}$ )

$$u_{gab} = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2 + u_7^2}$$

10. Hitung Derajat Bebas Efektif

$$v_{eff} = \frac{u_c^4}{\sum_1^n \frac{u_i^4(y)}{v_i}}$$

$$v_{eff} = \frac{u_c^4}{\frac{u_1^4}{v_1} + \frac{u_2^4}{v_2} + \frac{u_3^4}{v_3} + \frac{u_4^4}{v_4} + \frac{u_5^4}{v_5} + \frac{u_6^4}{v_6} + \frac{u_7^4}{v_7}}$$

11. Hitung Ketidakpastian Yang Diperluas ( $U$ )

$$U = k \times u_{gab}$$

$k$  = dari tabel t student pada tingkat kepercayaan 95 % dengan derajat bebas  $v_{eff}$ .

## b. Sensor Kelembaban Digital

### 1. Hitung Ketidakpastian Ripitabilitas / Pengulangan Pembacaan ( $u_1$ )

1. Hitung Ketidakpastian Tipe A Pengulangan (Repeatibilitas) Pembacaan ( $u_1$ )

$$u_1 = \frac{SD}{\sqrt{n}}$$

dimana :

SD = Standar Deviasi

n = jumlah pengukuran

2. Hitung Ketidakpastian Baku Sensor dan Indikator Kelembapan ( $u_2$ )

$$u_2 = \frac{U_{95sert}}{k}$$

Dengan

$U_{95sert}$  = Ketidakpastian yang diperluas standar sensor dan indikator kelembapan dari sertifikat.

$k$  = Faktor cakupan pada tingkat kepercayaan 95% dengan derajat bebas tak terhingga yang terdapat di sertifikat alat standar.

3. Hitung Ketidakpastian Baku Drift Standar Sensor kelembapan ( $u_3$ )

$$u_3 = \frac{U_{exp}}{\sqrt{3}}$$

dimana :

$U_{exp}$  = 1 % RH (Sesuai manual book alat standar)

4. Hitung Ketidakpastian baku display standar ( $u_4$ )

$$u_4 = \frac{RH_{max} - RH_{min}}{2\sqrt{3}}$$

Berdasarkan estimasi maka nilai derajat kebebasan adalah  $\nu_{rep} = \infty$ , sebaran persegi dengan :

$RH_{max}$  = Nilai kelembapan standar maksimum

$RH_{min}$  = Nilai kelembapan standar minimum

5. Hitung Ketidakpastian resolusi standar ( $u_5$ )

$$u_5 = \frac{L}{\sqrt{3}}$$

dengan

$L$  = 1/2 dari skala terkecil alat standar

$k = \sqrt{3}$  = Faktor cakupan pada tingkat kepercayaan 95% dengan derajat bebas tak terhingga

6. Hitung Ketidakpastian Inhomogenitas Media Yang Digunakan ( $u_6$ )

$$u_6 = \frac{u_{inhomomedia}}{\sqrt{3}}$$

$u_{inhomomedia}$  = Inhomogenitas media



7. Koefisien Sensitifitas ( $c_i$ )

$$c_i = \partial f / \partial x_i$$

8. Hitung Ketidakpastian Baku Gabungan ( $u_{gab}$ )

$$u_{gab} = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2 + u_7^2}$$

9. Hitung Derajat Bebas Efektif

$$v_{eff} = \frac{u_c^4}{\sum_1^n \frac{u_i^4(y)}{v_i}}$$

$$v_{eff} = \frac{u_c^4}{\frac{u_1^4}{v_1} + \frac{u_2^4}{v_2} + \frac{u_3^4}{v_3} + \frac{u_4^4}{v_4} + \frac{u_5^4}{v_5} + \frac{u_6^4}{v_6} + \frac{u_7^4}{v_7}}$$

10. Hitung Ketidakpastian Yang Diperluas (  $U$  )

$$U = k \times u_{gab}$$

$k$  = dari tabel t student pada tingkat kepercayaan 95 % dengan derajat bebas  $v_{eff}$ .

## Prosedur

1. Siapkan lembar form data mentah dalam format file Excel.
2. Isi identifikasi alat yang dikalibrasi dan alat standar.
3. Dari rentang nilai alat ukur kelembapan ambil 4 titik set point kelembapan (20%, 40%, 60%, 80%) dan masukkan nilai pada kolom set point.
4. Masukkan nilai kelembapan hasil pembacaan alat standar dengan menggunakan **formula** dalam Excel sedemikian sehingga **nilai bacaan bervariasi maksimal +/- 2 % tanpa desimal** dari nilai **SETPOINT** (simulasi).
5. Masukkan nilai koreksi alat standar 1 % (simulasi).
6. Ulangi langkah 4 untuk mengisi kolom nilai hasil pembacaan alat yang dikalibrasi pada masing-masing setpoint.
7. Lengkapi perhitungan  **$RH_{(std, terkoreksi)}$ ,  $RH_{i(koreksi)}$  dan  $\overline{RH}_{i(koreksi)}$**
8. Lakukan perhitungan ketidakpastian untuk alat ukur kelembapan Analog dan Digital. Gunakan  $U_{95sert} = 0.2$

## Tabel data mentah

DATA KALIBRASI					
No. Order/Identifikasi :			Alat Standar		
Nama Alat :			Nama Alat :		
Merk :			Merk :		
Type :			Type :		
Nomor Seri :			Nomor Seri :		
Pemilik :			Daerah Ukur :		
Daerah Ukur :			Skala Ukur :		
Skala Ukur :			U (uncertainty) :		
Tanggal Kalibrasi :					
Keadaan Ruangan			Koreksi Standar :		
Temp : °C					
RH : %					
Set Point	STANDAR			Alat yang dikalibrasi	Koreksi
	Pembacaan	Koreksi	Suhu/ Tekanan/ RH/Arah angin		
	Rata-Rata				
	Rata-Rata				
	Rata-Rata				
	Rata-Rata				
Petugas Kalibrasi					
No	Nama	Tanda Tangan			

### Pustaka:

1. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (JCGM 100:2008)
2. Sumber pustaka lainnya