

Percobaan 8

Kalibrasi Alat Ukur Arah dan Kecepatan Angin

Tujuan :

Memahami cara menetapkan nilai koreksi dan ketidakpastian pada kalibrasi alat ukur arah dan kecepatan angin

Teori Dasar :

Anemometer adalah suatu alat (instrumen) yang digunakan untuk mengukur arah dan kecepatan angin. Anemometer dapat dibagi dalam 2 kategori yaitu alat untuk mengukur kecepatan (velocity) dari angin dan alat untuk mengukur tekanan dari angin.

Tipe anemometer yang sering digunakan diantaranya adalah cup-anemometer dan propeller. Cup Anemometer ini terdiri dari cup (mangkuk) hemispherical (setengah bola) yang terletak diujung dari lengan horizontal dari anemometer. Aliran udara yang berhembus kearah cup sehingga putaranya sebanding dengan kecepatan angin. Alat ini menggunakan hasil konversi sumber tegangan yang berasal dari induksi listrik. Induksi listrik yang dihasilkan dari Bergeraknya magnet yang mengakibatkan medan magnet yang dikonversikan ke energi listrik.

Tampilan pada indikator sensor dapat berupa digital maupun analog dengan satuan m/s, km/jam maupun knot. Resolusi yang ditampilkan bisa dari desimal maupun satuan bulat tergantung pada spesifikasi alat. Pengukuran pada tiap titik skala didasarkan pada nilai kecepatan media yang diset.

Kalibrasi Anemometer dengan rentang ukur kecepatan angin 0 ~ 20 m/s (0 ~ 40 Knot) menggunakan sensor standar thermal Anemometer dan Micromanometer sedangkan arah angin dengan rentang ukur 0° ~ 360° menggunakan Wind Direction Simulator.

A. Definisi

1. **Wind Tunnel** adalah alat kalibrator untuk kecepatan angin yang dapat menghasilkan angin Laminer yang kecepatannya dapat dikontrol sehingga dapat digunakan untuk menguji peralatan untuk kalibrasi sensor kecepatan angin
2. **Wind Direction Simulator** adalah alat kalibrator untuk arah angin.
3. **Reference Alat Standar** : 642 Hot Wire Anemometer dan FCO12-Micromanometer.
4. **Rentang Ukur** adalah batas ukur terendah sampai batas ukur tertinggi suatu nilai ukur.
5. **Skala terkecil** adalah garis skala pembacaan terkecil yang tertera pada Anemometer

6. **Resolusi** adalah satuan terkecil pada indikator kecepatan angin

B. Persyaratan Kalibrasi

1. Sensor Kecepatan angin dan arah angin standar harus tertelusur ke standar nasional maupun internasional.
2. Dalam satu pengambilan proses kalibrasi harus dilakukan orang telah mendapatkan training alat yang digunakan dan memiliki sertifikat.

C. Peralatan Yang Digunakan

1. Sensor Kecepatan dan indikator standar yang terkalibrasi.
2. Termohygrometer.
3. Barometer.
4. Wind Direction Simulator yang terkalibrasi.
5. Combilog 1020 dengan perangkat PC beserta printer.
6. Anemometer yang akan dikalibrasi

D. Persiapan Kalibrasi

1. Siapkan alat yang akan dikalibrasi.
2. Bersihkan alat yang akan dikalibrasi dari kotoran dan debu yang menempel pada alat yang akan dikalibrasi.
3. Catat nomor kalibrasi dan spesifikasi alat yang akan dikalibrasi.
4. Masukkan Anemometer yang akan dikalibrasi ke dalam windtunnel di tempat yang telah disediakan.
5. Untuk arah angin, letakkan wind direction simulator pada permukaan lantai yang rata

E. Pelaksanaan Kalibrasi

1. Naikkan panel listrik yang terdapat di panel utama.
2. Nyalakan panel kabinet pada posisi "On".
3. Nyalakan perangkat PC dan indikator sensor standar.
4. Atur kecepatan angin pada kecepatan 2 m/s atau 4 knot
5. Tunggu hingga kecepatan angin di dalam windtunnel stabil (tunggu ± 1 menit).
6. Baca dan inputkan dalam program komputer setiap kali ada perubahan nilai kecepatan angin.
7. Naikkan kecepatan angin untuk 7 m/s (14 knot), 15m/s (30 knot) dan 20 m/s (40 knot), lalu ulangi langkah f.
8. Setelah selesai kalibrasi, turunkan kecepatan angin perlahan hingga 0.
9. Matikan panel kabinet dan panel listrik.
10. Setelah selesai melakukan kalibrasi kecepatan angin, letakkan sensor anemometer (wind direction) pada wind direction simulator.
11. Putar arah angin ke sudut 00 , kemudian catat nilai yang ditunjukkan atau di tampilkan pada display anemometer.
12. Ulangi langkah k untuk nilai sudut 900 , 1800 , dan 2700.
13. Setelah selesai melakukan kalibrasi arah angin, rapihkan sensor anemometer pada tempatnya.
14. Siapkan label untuk identifikasi anemometer yang sudah dikalibrasi

F. Perhitungan Hasil Kalibrasi

A. Kecepatan Angin

1. Hitung nilai kecepatan angin standar yang terkoreksi, $V_{(std,terkoreksi)}$

$$V_{i(std,terkoreksi)} = V_{i(std,pembacaan)} + k_{sert}$$

2. Hitung nilai koreksi antara sensor kecepatan angin yang dikalibrasi terhadap sensor kecepatan angin standar (anemometer termal), $V_{i(koreksi)}$.

$$V_{i(alat,terkoreksi)} = ((V_{i(std,pembacaan)} + k_{sert}) - V_{i(alat,pembacaan)})$$

3. Hitung rata – rata nilai yang ditunjukkan oleh nilai koreksi antara sensor kecepatan angin yang dikalibrasi terhadap sensor arah angin standar, $V_{(alat,terkoreksi)}$.

$$\overline{V_{(alat,terkoreksi)}} = \sum \frac{V_{i(alat,terkoreksi)}}{n}$$

Dengan

$V_{i(koreksi)}$ adalah nilai kecepatan angin koreksi pada pembacaan ke -i

$\overline{V_{(alat,terkoreksi)}}$ adalah nilai kecepatan angin koreksi rata - rata

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

4. Model matematis pelaksanaan kalibrasi sensor arah dan kecepatan angin ini sebagai berikut :

1. Sensor kecepatan angin

- a. Peralatan standar yang digunakan untuk mengkalibrasi, diantaranya : repeatability, sertifikat (δ_{sert}), dan drift (δ_{drift}) .
- b. Display standar ($\delta_{display_pembacaan_std}$)
- c. Display alat yang akan dikalibrasi ($\delta_{display_pembacaan_alat}$)
- d. Resolusi Standar ($\delta_{resolusi_std}$)
- e. Inhomogenitas ($\delta_{inhomogenitas}$)

Sehingga model matematis pelaksanaan kalibrasi sensor kecepatan angin ini sebagai berikut :

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

Dengan

$$v_{(std,terkoreksi)} = \overline{v_{std}} + K_{sert_std} + \delta v_{sert_std} + \delta v_{drift_std} + \delta v_{display_pembacaan_std} + \delta v_{resolusi_std} + \delta v_{stab}$$

$$v_{(alat,terkoreksi)} = \overline{v_{alat}} + \delta v_{res_alat} + \delta v_{display_pembacaan_alat}$$

2. Sensor Arah angin

- a. Peralatan standar yang digunakan untuk mengkalibrasi, diantaranya : repeatability, sertifikat (δ_{sert}), dan drift (δ_{drift}) .
- b. Resolusi Alat ($\delta_{resolusi_alat}$)

Sehingga model matematis pelaksanaan kalibrasi sensor arah angin ini sebagai berikut :

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

dengan

$$\begin{aligned} d_{(std, terkoreksi)} &= \bar{d}_{std} + k_{sert, std} + \delta_{sert} + \delta_{rep} \\ d_{i(alat, terkoreksi)} &= \bar{d}_{alat} + \delta_{resolusi_alat} \end{aligned}$$

Perhitungan Ketidakpastian

a. Sensor Kecepatan Angin

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 Kecepatan angin Standar (u_2)

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

Dengan

U_{95sert} = Ketidakpastian yang diperluas sensor kecepatan angin standar 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 Kecepatan Angin Standar (u_3)

$$u_3 = \frac{u_{drift}}{\sqrt{3}}$$

dimana :

$u_{drift} = 0$ (Sesuai manual book alat standar)

4. Hitung Ketidakpastian baku display standar (u_4)

$$u_4 = \frac{V_{std_max} - V_{std_min}}{2\sqrt{3}}$$

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

V_{std_max} = Nilai Sensor Kecepatan Angin Standar maksimum

V_{std_min} = Nilai Sensor Kecepatan Angin Standar minimum

5. Hitung repeatabilitas pembacaan alat yang dikalibrasi (u_5)

$$u_5 = \frac{V_{alat_max} - V_{alat_min}}{2\sqrt{3}}$$

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

V_{alat_max} = Nilai kecepatan angin alat yang dikalibrasi maksimum

V_{alat_min} = Nilai kecepatan angin 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)

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

$u_{inhom omedia}$ = 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

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

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4}{\frac{u_1^4}{\nu_1} + \frac{u_2^4}{\nu_2} + \frac{u_3^4}{\nu_3} + \frac{u_4^4}{\nu_4} + \frac{u_5^4}{\nu_5} + \frac{u_6^4}{\nu_6} + \frac{u_7^4}{\nu_7}}$$

11. Hitung Ketidakpastian Yang Diperluas (U)

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

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

b. Sensor Arah Angin

1. Hitung Ketidakpastian Ripitabilitas / Pengulangan Pembacaan (u_1)

1. Hitung Ketidakpastian Tipe A Pengulangan (Repitabilitas) Pembacaan (u_1)

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

dimana :

SD = Standar Deviasi

n = jumlah pengukuran

2. Hitung Ketidakpastian Baku Sensor Arah Angin Standar (u_2)

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

Dengan

U_{95sert} = Ketidakpastian yang diperluas Sensor Arah Angin Standar dari sertifikat.

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

3. Hitung Ketidakpastian resolusi standar (u_3)

$$u_3 = \frac{L}{\sqrt{3}}$$

dengan

L = 1/2 dari skala terkecil alat standar

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

4. Koefisien Sensitifitas (c_i)

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

5. Hitung Ketidakpastian Baku Gabungan (u_{gab})

$$u_{gab} = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2}$$

6. Hitung Derajat Bebas Efektif

$$v_{eff} = \frac{u_c^4}{\sum_1^n \frac{u_i^4(y)}{v_i}}$$
$$v_{eff} = \frac{u_c^4}{\frac{u_1^4}{v_1} + \frac{u_2^4}{v_2} + \frac{u_3^4}{v_3}}$$

7. Hitung Ketidakpastian Yang Diperluas (U)

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

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

Pengayaan Materi



Pustaka:

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