



ETH3F3
Instrumentasi dan Pengukuran Elektrik

Konsep Dasar Kesalahan Pengukuran

S1 Teknik Elektro – Fakultas Teknik Elektro





JENIS KESALAHAN PENGUKURAN

Kesalahan
Umum

Kesalahan
Sistematis

Kesalahan
Acak





JENIS-JENIS KESALAHAN

1. Kesalahan Umum (kecerobohan, gross errors)

Penyebab: Kekeliruan manusia dalam melakukan pembacaan, pencatatan, dan pemakaian instrumen.

Contoh: efek pembebanan yang ditimbulkan oleh voltmeter saat terhadap suatu rangkaian.

Cara menghindari/ mengurangi error: memperhatikan cara penggunaan dan pembacaan instrumen dengan baik.



Kesalahan umum

1

Pemakaian instrumen ukur yang tidak sesuai

Biasanya terjadi perubahan nilai ukur ketika mengukur rangkaian yang lebih lengkap.

Contoh: efek pembebanan pada multimeter. Hindari dengan pemilihan multimeter secara cermat.

2

Kesalahan umum dalam pengukuran berulang.

Sebaiknya setiap pembacaan dilakukan pada kondisi pengubahan instrumen dari keadaan mati ke keadaan hidup.



JENIS-JENIS KESALAHAN

2. Kesalahan Sistematis

Dibagi menjadi 2 kategori:

a. Instrumental errors

Kesalahan yang melekat pada instrumen dikarenakan struktur listrik ataupun mekaniknya.

Contoh: pegas yang teregang.

Cara menghindarinya:

- ✓ Memilih instrumen yang sesuai untuk pengukuran tertentu.
- ✓ Menggunakan faktor koreksi
- ✓ Mengkalibrasi instrumen dengan instrumen standar.

b. Environmental errors

Disebabkan oleh faktor di luar instrumen itu sendiri, termasuk kondisi lingkungan sekitarnya.

Contoh: temperatur, kelembaban, tekanan udara.





JENIS-JENIS KESALAHAN

3. Kesalahan Acak (random errors)

Penyebab: faktor yang tidak diketahui dan terjadi walaupun semua kesalahan sistematis telah diperhitungkan.

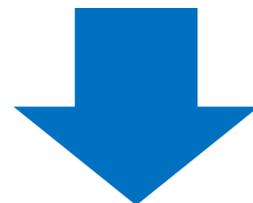
Kesalahan ini tidak bisa dikoreksi dengan teknik kalibrasi ataupun teknik kontrol lainnya.

Cara menghindari: meningkatkan jumlah pembacaan dan menggunakan rata-rata statistic untuk memperoleh aproksimasi terbaik terhadap harga yang sebenarnya.

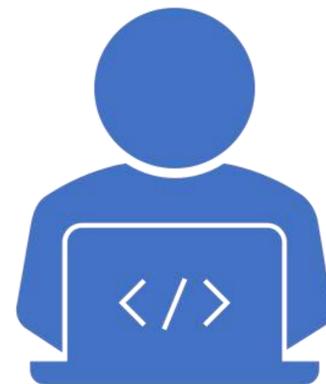




**KESALAHAN
PENGUKURAN**



**KETIDAKPASTIAN
PENGUKURAN**



Definisi:

perbedaan hasil pengukuran dengan hasil yang diharapkan.

Penyebab:

- o Kesalahan pemakaian alat ukur
 - o Kekeliruan dalam menyalin data
 - o Salah membaca skala
 - o Kesalahan pembulatan
 - o Salah menentukan tingkat ketelitian, dll
- 

Cara Penulisan Hasil Pengukuran

$$x = x_0 \pm \Delta x$$

x = hasil pengamatan

x_0 = pendekatan terhadap nilai benar

Δx = nilai ketidakpastian

Pengukuran
Tunggal

Pengukuran
Ganda
(Berulang)



JENIS-JENIS KETIDAKPASTIAN

1. Ketidakpastian dalam Pengukuran Tunggal (Ketidakpastian Mutlak)

- Pengukuran tunggal merupakan pengukuran yang hanya dilakukan sekali saja.
- Pada pengukuran tunggal, nilai yang dijadikan pengganti nilai benar adalah hasil pengukuran itu sendiri. Sedangkan ketidakpastiannya diperoleh dari setengah nilai skala terkecil instrumen yang digunakan.

$$\Delta x = \frac{1}{2} \times \textit{skala terkecil}$$




JENIS-JENIS KETIDAKPASTIAN

2. Ketidakpastian dalam Pengukuran Berulang

- Dalam praktikum, terkadang pengukuran besaran tidak cukup hanya dilakukan satu kali namun harus berulang-ulang. Ini dilakukan untuk mendapatkan nilai terbaik dari pengukuran tersebut.
- Dalam pengukuran berulang, pengganti nilai benar adalah nilai rata-rata dari hasil pengukuran. Jika suatu besaran fisis diukur sebanyak N kali, maka nilai rata-rata dari pengukuran dan ketidakpastiannya dicari dengan rumus berikut:.

$$x_0 = \frac{\sum x_i}{N}$$

$$\Delta x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - x)^2}{N - 1}}$$




JENIS-JENIS KETIDAKPASTIAN

3. Ketidakpastian Relatif

- Ketidakpastian relatif adalah cara menentukan banyaknya angka yang boleh disertakan pada pengukuran berulang.
- Ketidakpastian relatif dapat ditentukan dengan membagi ketidakpastian pengukuran dengan nilai rata-rata pengukuran. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut.

$$\textit{Ketidakpastian relatif} = \frac{\Delta x}{x} \times 100\%$$

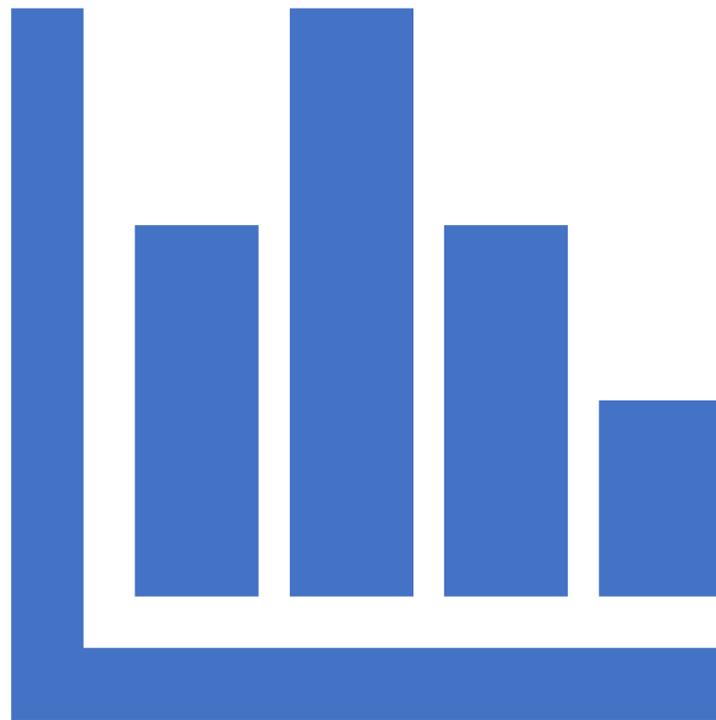



JENIS-JENIS KETIDAKPASTIAN

3. Ketidakpastian Relatif

- Setelah mengetahui ketidakpastian relatifnya, kita dapat menggunakan aturan yang telah disepakati para ilmuwan untuk mencari banyaknya angka yang boleh disertakan dalam laporan hasil pengukuran berulang.
 - Aturan banyaknya angka yang dapat dilaporkan dalam pengukuran berulang adalah sebagai berikut.
 - ketidakpastian relatif 10% berhak atas dua angka
 - ketidakpastian relatif 1% berhak atas tiga angka
 - ketidakpastian relatif 0,1% berhak atas empat angka
- 

ANALISIS STATISTIK HASIL PENGUKURAN



- Adanya kesalahan dalam pengukuran memerlukan analisis statistik.
- Analisis statistik digunakan untuk mendapatkan hasil pengukuran yang mendekati data sebenarnya.
- Diperlukan data pengukuran berulang untuk mendapatkan analisis.

NILAI RATA-RATA (*MEAN*)

- Satu set data pengukuran berulang sering dinyatakan sebagai angka representatif tunggal yang disebut *mean* atau *average*.
- Mean (\bar{x}) adalah jumlah pengukuran individu (x_i) dibagi dengan jumlah pengukuran (N).

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

PENYIMPANGAN RATA-RATA, $N < 5$

- Penyimpangan rata-rata, $\Delta\bar{x}$, digunakan ketika kumpulan data berisi kurang dari 5 pengukuran berulang.
- Penyimpangan rata-rata yang kecil menunjukkan titik data terkumpul di sekitar rata-rata (*mean*) atau data tersebut akurat dan presisi.

$$\Delta\bar{x} = \pm \frac{\sum_{i=1}^N |x_i - \bar{x}|}{N}$$

STANDAR DEVIASI, $N \geq 5$

- Untuk kumpulan data dengan 5 atau lebih pengukuran, Standar Deviasi (σ), digunakan untuk menyatakan ketepatan pengukuran.
- Jumlah derajat kebebasan ($N - 1$) adalah jumlah total pengukuran minus satu.

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

ROOT MEAN SQUARE ERROR (RMSE)

- RMSE adalah suatu metode alternatif yang digunakan untuk mengukur tingkat akurasi hasil prakiraan suatu model atau pengukuran.
- RMSE merupakan nilai rata-rata dari jumlah kuadrat kesalahan, juga dapat menyatakan ukuran besarnya kesalahan yang dihasilkan oleh suatu model prakiraan atau pengukuran.
- Nilai RMSE rendah menunjukkan bahwa variasi nilai yang dihasilkan oleh suatu model prakiraan atau pengukuran mendekati variasi nilai observasinya.
- Untuk mendapatkan nilai RMSE, harus terlebih dahulu menentukan nilai residualnya. Nilai Residual adalah perbedaan antara nilai aktual (y_i) dan nilai prediksi (\hat{y}_i).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - y_i)^2}{N}}$$

ANALISIS STATISTIK HASIL PENGUKURAN



- Adanya kesalahan dalam pengukuran memerlukan analisis statistik.
- Analisis statistik digunakan untuk mendapatkan hasil pengukuran yang mendekati data sebenarnya.
- Diperlukan data pengukuran berulang untuk mendapatkan analisis.



CONTOH

Suatu pengukuran arus memberikan data sebagai berikut: 12,8 mA, 12,5 mA, 12,3 mA, 13,1 mA, 12,9 mA, dan 12,4 mA. Hitunglah:

- a. Nilai rata-rata
 - b. Penyimpangan rata-rata
 - c. Deviasi standar
- 



NILAI RATA-RATA, *MEAN*

Nilai rata-rata dihitung menggunakan rumus:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned}\bar{x} &= \frac{12,8 + 12,5 + 12,3 + 13,1 + 12,9 + 12,4}{6} \\ &= 12,7 \text{ mA.}\end{aligned}$$


PENYIMPANGAN RATA-RATA, $N < 5$

Penyimpangan rata-rata dihitung menggunakan rumus:

$$\Delta \bar{x} = \pm \frac{\sum_{i=1}^N |x_i - \bar{x}|}{N}$$

$$\begin{aligned} \Delta \bar{x} &= \frac{|(12,8 - 12,7) + (12,5 - 12,7) + (12,3 - 12,7) + (13,1 - 12,7) + (12,9 - 12,7) + (12,4 - 12,7)|}{6} \\ &= 0,27 \text{ mA} \end{aligned}$$



STANDAR DEVIASI, $N \geq 5$

Standar Deviasi (σ) dihitung menggunakan rumus:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

$$\sigma = 0,32 \text{ mA}$$


RANGKUMAN

No	x_i	$ x_i - \bar{x} $	$ x_i - \bar{x} ^2$
1	12.8	0.1	0.01
2	12.5	0.2	0.04
3	12.3	0.4	0.16
4	13.1	0.4	0.16
5	12.9	0.2	0.04
6	12.4	0.3	0.09
	$\bar{x} = 12.4$	$\Delta\bar{x} = 0.26$	$\sigma = 0,32$

Catatan: $N = 6$, $N - 1 = 5$



PENENTUAN TOLERANSI ALAT UKUR

- Dalam dunia industri, toleransi merupakan bagian dari spesifikasi suatu produk, yang dapat diartikan "**besarnya perbedaan antara kondisi aktual dibandingkan kondisi ideal, sejauh bahwa perbedaan tersebut tidak sampai mengakibatkan kegagalan fungsi maupun penurunan fungsi yang signifikan**".
 - Misalkan sebuah komponen mesin mempunyai spesifikasi ukuran 50 mm dengan toleransi $\pm 0,1$ mm. Ini berarti bahwa komponen tersebut masih dapat berfungsi dengan baik asalkan ukurannya di antara 49,9 mm dan 50,1 mm.
- 



PENENTUAN TOLERANSI ALAT UKUR

- Nilai ketidakpastian pengukuran harus lebih kecil daripada toleransi yang diberikan untuk produk yang diukur.
 - Idealnya nilai ketidakpastian pengukuran besarnya sepersepuluh dari toleransi, atau dalam kondisi terburuk, nilai ketidakpastian pengukuran diharapkan tidak lebih dari sepertiga toleransi.
 - "Toleransi" berkaitan dengan **produk yang diukur, bukan dengan alat ukurnya.**
 - Untuk alat ukur, terdapat istilah **maximum permissible error (MPE)**. Antara MPE dan toleransi memang ada kesamaan makna, tetapi dianjurkan untuk tidak dicampuraduk.
- 



PENENTUAN TOLERANSI ALAT UKUR

Instrumen dengan toleransi lebih tinggi dipilih karena sejumlah alasan, termasuk:

- Kompatibilitas dengan sistem pemantauan yang ada
- Risiko lebih rendah dari pembacaan diluar toleransi yang mempengaruhi produk
- Nilai keseluruhan yang lebih baik
- Pabrikan berada di vendor yang disetujui

Apa pun alasannya, toleransi yang ditentukan pabrikan seringkali jauh lebih ketat dari yang kita butuhkan. Sehingga risikonya adalah tingginya "Kehilangan Toleransi".





JENIS-JENIS TOLERANSI ALAT UKUR

Toleransi
Ukuran

Toleransi
Geometrik

Konfigurasi
Kekasaran
Permukaan



TOLERANSI UKURAN

Toleransi ukuran: dua batas penyimpangan yang diijinkan pada setiap ukuran elemen.

- Toleransi memegang peranan yang vital pada proses produksi dikarenakan sangat sulitnya membuat suatu alat atau benda sesuai dengan ukuran yang tepat, karena menyangkut ketelitian dalam proses pengerjaannya.
- Toleransi ukuran dibedakan lagi menjadi:
 1. Toleransi standar
 2. Toleransi umum
 3. Toleransi khusus
 4. Toleransi suaian

Toleransi Standar (Toleransi Internasional/IT)

- Besarnya toleransi ditentukan oleh ISO (/) agar sesuai dengan persyaratan fungsional dan untuk keseragaman.
- ISO menetapkan 18 toleransi standar, yakni mulai dari IT 01, IT 0, IT 1, IT 2, sampai dengan IT 16

Toleransi Umum

- Toleransi umum diberikan untuk ukuran yang tidak memerlukan ketelitian atau bukan merupakan bagian dari benda berpasangan (suaian). Nilai toleransi umum selalu memiliki batas penyimpangan atas dan batas penyimpangan bawah yang sama. Besarnya toleransi ini ditentukan oleh tingkat kualitas (kekasaran permukaan) dan ukuran dasar.

Toleransi Khusus

- Toleransi khusus merupakan suatu toleransi yang nilainya di luar toleransi umum dan suaian. Nilai toleransinya lebih kecil daripada nilai toleransi umum, namun lebih besar daripada nilai toleransi suaian.

Toleransi Suaian

- Suaian adalah suatu istilah untuk menggambarkan tingkat kekekatan atau kelonggaran yang mungkin dihasilkan dari penggunaan kelegaan atau toleransi tertentu pada elemen mesin yang berpasangan.



TOLERANSI GEOMETRIK

Toleransi geometrik: toleransi yang membatasi penyimpangan bentuk, posisi tempat, dan penyimpangan putar terhadap suatu elemen geometris.

- Toleransi geometrik pada dasarnya memberikan kesempatan untuk memperlebar persyaratan dari toleransi ukuran.
 - Pemakaian toleransi geometrik hanya dianjurkan apabila memang perlu untuk meyakinkan ketepatan komponen menurut fungsinya.
- 



KONFIGURASI KEKASARAN PERMUKAAN

Konfigurasi permukaan yang mencakup antara lain kekasaran permukaan dan bekas pengerjaan (tekstur), memegang peranan penting dalam perencanaan suatu elemen mesin, yakni berhubungan dengan gesekan, keausan, pelumasan, tahanan, kelelahan, kerekatan, suaian, dan sebagainya.

- Nilai kekasaran rata-rata aritmetik (R_a) telah diklasifikasikan oleh ISO menjadi 12 tingkat kekasaran, dari N1 sampai dengan N12
- 