

# METODE ANALISIS STATISTIK HASIL PEMERIKSAAN ANTARA PADA TERMOMETER TAHANAN PLATINA

## STATISTICAL ANALYSIS METHOD OF INTERMEDIATE CHECK RESULTS ON PLATINUM RESISTANCE THERMOMETER

**Riza Zakariya**

Balai Standardisasi Metrologi Legal Regional II, Yogyakarta

Email: riza.zakariya@kemendag.go.id

### ABSTRAK

Pemeriksaan antara alat ukur memegang peranan penting dalam penerapan klausul 6.4.10 dan 7.7.1 ISO/IEC 17025:2017. Pemeriksaan antara ditujukan untuk menjaga keyakinan terhadap kinerja peralatan dan menjamin keabsahan hasil pengukuran. Makalah ini menyajikan hasil penelitian tentang pemeriksaan antara standar ukuran besaran suhu, khususnya pada termometer tahanan platina. Metode statistik berupa peta kendali dan uji t sesuai *Guide on Measurement Assurance* oleh Komite Akreditasi Nasional diaplikasikan bersama kriteria *The Western Electric Handbook* dan visualisasi *kernel density estimation* untuk mendapatkan hasil yang lebih mendalam. Hasil analisis dengan metode statistik kemudian dibandingkan dengan spesifikasi teknis untuk memastikan keakuratan termometer tahanan platina sebagai standar kalibrasi suhu.

**Kata Kunci:** pemeriksaan antara, termometer tahanan platina, standar ukuran suhu, peta kendali, uji t, *kernel density estimation*.

## **ABSTRACT**

*Intermediate checks on measuring equipment play a crucial role in implementing clauses 6.4.10 and 7.7.1 of ISO/IEC 17025:2017. Intermediate checks are conducted to maintain confidence in the performance of the equipment and ensuring the validity of measurement results. This paper presents research findings concerning intermediate checks of laboratory temperature measurement standards, with a focus on the use of platinum resistance thermometer. Statistical methods according to the Guide on Measurement Assurance by the National Accreditation Body of Indonesia such as control charts and t-tests, were employed alongside the Western Electric Handbook criteria and kernel density estimation visualization to achieve more in-depth analysis results. The results of the statistical analysis were then compared with technical specifications to ensure the accuracy of platinum resistance thermometers as temperature calibration standards.*

**Keywords:** *intermediate checks, platinum resistance thermometer, temperature measurement standards, control chart, kernel density estimation.*

## 1. PENDAHULUAN

Pemeriksaan antara (*intermediate check*) merupakan bagian penting dari implementasi klausul 6.4.10 dan 7.7.1 ISO/IEC 17025:2017 untuk menjaga kepercayaan atas kinerja peralatan dan menjamin keabsahan hasil pengukuran laboratorium kalibrasi (ISO, 2017). Komite Akreditasi Nasional (2019) telah merilis pedoman penjaminan pengukuran dengan peta kendali, uji t, dan uji f sebagai panduan implementasi klausul ISO tersebut. Makalah ini menyajikan analisis hasil pemeriksaan antara standar ukuran besaran suhu khususnya pada Termometer Tahanan Platina (*Platinum Resistance Thermometer*) dengan metode analisis yang direplikasi dari pedoman KAN yaitu peta kendali dan uji t. Selain itu, makalah ini juga menyajikan pendekatan komplementatif dengan memperkenalkan kembali rekomendasi *The Western Electric Handbook* berdasar Montgomery (2009) sebagai landasan teoritis untuk kriteria proses di luar kendali (*out of control*) pada peta kendali.

Makalah ini mengimplementasikan *kernel density estimation* untuk melihat gambaran distribusi data. Penggunaan *kernel density estimation* ini merupakan hal baru dalam teknik analisis hasil pemeriksaan antara meskipun

berdasarkan Węglarczyk (2018) teknik *kernel density estimation* telah dikembangkan sejak setengah abad yang lalu oleh Rosenblatt dan Parzen. Sesuai penelitian Węglarczyk (2018), *kernel density estimation* mengestimasi fungsi kepadatan probabilitas dengan lebih baik daripada histogram tradisional karena menghasilkan perkiraan kepadatan peluang yang halus dan menggunakan titik sampel pada semua lokasi untuk menggambarkan informasi yang terkandung dalam sampel secara lebih baik. Sebelum itu, KAN (2019) baru sedikit mengulas penggunaan fungsi distribusi peluang, sebagai alat visualisasi dan analisis hasil pemeriksaan antara, pada bahasan penggunaan histogram untuk membandingkan data awal dan data periksa. Di samping itu, makalah ini juga memperkenalkan analisis tambahan menggunakan *moving average* sebagai perkakas analisis tren untuk memvalidasi hasil pemeriksaan antara.

## 2. TEORI DASAR

*Platinum Resistance Thermometer* (PRT) adalah sensor suhu berbahan dasar logam platina. Sesuai standar IEC 60751:2022, spesifikasi PRT dinyatakan dalam nominal resistansi tertentu, misalnya: PT-100, yang berarti resistansi yang diharapkan untuk PRT tersebut pada

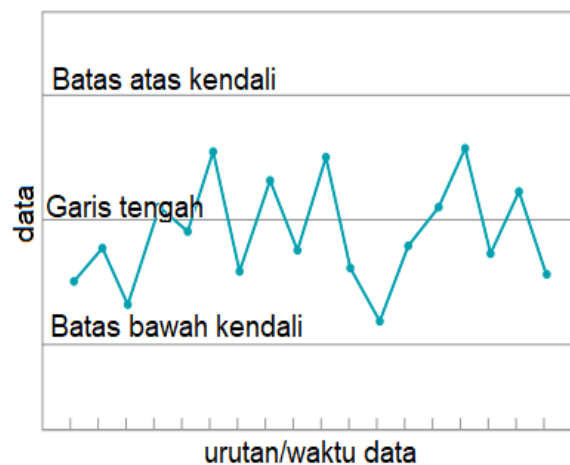
suhu 0 °C adalah 100 Ω (IEC, 2022). PRT digunakan dalam berbagai pengukuran di lembaga metrologi, laboratorium, maupun lingkungan industri yang memerlukan pengukuran suhu yang akurat dan presisi.

Upaya untuk mencapai hasil pengukuran yang konsisten, pengguna PRT perlu memahami sumber-sumber variabilitas yang menyebabkan ketidakakuratan dan ketidakpresisian hasil pengukuran PRT. Satu di antara faktor yang menyebabkan hal tersebut adalah pergeseran penunjukan (*drift*) termometer. Menurut Nicholas dan White (2001), penunjukan termometer dapat bergeser (*drift*) akibat penggunaan. Lebih lanjut, asesmen pergeseran penunjukan biasanya dilakukan berdasarkan perubahan pembacaan suhu pada titik es seiring berjalannya waktu atau atas dasar data rekaman data kalibrasi.

Metode statistik memainkan peran penting dalam memantau performa alat ukur karena kemampuan mendeskripsikan variabilitas penunjukan alat dengan parameter statistik seperti rata-rata, simpangan baku, dan distribusi data. Teknik statistik yang secara luas digunakan untuk memantau performa alat ukur yang melibatkan nilai rata-rata dan simpangan baku adalah peta kendali serta distribusi data. Dengan merujuk

pada Nicholas dan White (2001), distribusi menggambarkan rentang kemungkinan hasil dan seberapa besar peluang mendapatkan hasil tertentu yang didapatkan dari pengukuran yang berulang. Dalam kalibrasi alat ukur, peta kendali dapat digunakan untuk memantau seberapa jauh hasil pengukuran bervariasi atau bergeser dari satu pengukuran ke pengukuran lainnya, adapun distribusi data dimanfaatkan untuk melihat gambaran pemusatan dan persebaran data.

Berdasar Montgomery (2009), Walter A. Shewhart mengembangkan konsep peta kendali untuk *Bell Telephone Laboratories* pada tahun 1924. Prinsip dasar dari peta kendali adalah grafik yang memiliki garis tengah yang mewakili nilai rata-rata data serta dua garis kendali (atas dan bawah) seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



**Gambar 1. Konsep dasar peta kendali**

Jika  $w$  adalah sampel data tertentu,  $\mu_w$  adalah rata-rata  $w$ , dan  $\sigma_w$  adalah simpangan baku  $w$ , maka rumus garis tengah dan batas kendali untuk data  $w$  didefinisikan pada Persamaan [1].

$$\text{Batas kendali atas} = \mu_w + L\sigma_w$$

$$\text{Garis tengah} = \mu_w$$

$$\text{Batas kendali bawah} = \mu_w - L\sigma_w \dots [1]$$

dengan:

$L$  adalah konstanta jarak batas kendali dengan garis tengah.

Selama nilai  $w$  berada di dalam batas kendali dengan pola acak yang alami, maka proses dianggap stabil.

Sesuai dengan Montgomery (2009), praktik penggunaan batas kendali di Amerika Serikat didasarkan pada perkalian bilangan dengan simpangan baku dari data statistik yang diplot di peta. Lebih lanjut menurut Montgomery (2009), beberapa analis menyarankan penggunaan dua jenis batas kendali, yaitu batas aksi (*action limit*) pada tiga kali simpangan baku ( $3\sigma$ ), serta batas peringatan (*warning limit*) pada dua kali simpangan baku ( $2\sigma$ ). Masih menurut Montgomery (2009), pada tahun 1956 *The Western Electric Handbook* (TWEH) merekomendasikan kumpulan aturan untuk mendeteksi adanya proses yang di luar kendali (*out of control*) jika terdapat:

1. Satu data di luar batas aksi  $3\sigma$ .

2. Dua data dari tiga data berurutan melampaui batas peringatan  $2\sigma$ .

3. Empat data dari lima data yang berurutan berada pada jarak  $1\sigma$  atau lebih di sisi yang sama dari garis tengah.

4. Delapan data berurutan berada pada sisi yang sama dari garis tengah.

Aturan kriteria untuk proses di luar kendali beserta interpretasinya kemudian dikembangkan oleh para ahli dan perusahaan seperti Boeing, AIAG, GE. Perbandingan kriteria dan standardisasi interpretasi pola data pada peta kendali dapat dirujuk di Noskievičová (2013). Contoh praktis interpretasi penyebab untuk proses di luar kendali pada penggunaan standar ukuran di laboratorium metrologi dapat dirujuk di Nurjaya (2021).

Berdasar rekomendasi KAN (2019), sepuluh data pengukuran merupakan jumlah yang cukup bagus sebagai dasar acuan awal. Setidaknya diperlukan tiga data pemeriksaan untuk mendapatkan nilai rata-rata dan simpangan baku. Analisis lanjut menggunakan uji t, uji F dan/atau perbandingan histogram dapat diterapkan untuk melihat perbedaan rata-rata, variansi dan distribusi data awal dan data periksa.

Sesuai KAN (2019), hasil pemeriksaan antara dianggap di luar

kendali apabila  $|t_{value}| < t_{crit}$  dengan perhitungan  $t_{value}$  mengikuti Persamaan [2],  $t_{crit}$  didapatkan dari tabel t, serta derajat bebas ( $\nu$ ) dihitung berdasar formula pada Persamaan [3].

$$t = \frac{\bar{x}_{old} - \bar{x}_{new}}{\sqrt{s_{old}^2/n_{old} + s_{new}^2/n_{new}}} \dots\dots\dots[2]$$

$$\nu = \frac{\left(\frac{s_{old}^2}{n_{old}} + \frac{s_{new}^2}{n_{new}}\right)^2}{\frac{\left(\frac{s_{old}^2}{n_{old}}\right)^2}{n_{old}-1} + \frac{\left(\frac{s_{new}^2}{n_{new}}\right)^2}{n_{new}-1}} \dots\dots\dots[3]$$

dengan,

$\bar{x}_{old}$  adalah rata-rata sampel data lama

$\bar{x}_{new}$  adalah rata-rata sampel data baru

$s_{old}$  adalah simpangan baku sampel data lama

$s_{new}$  adalah simpangan baku sampel data baru

$n_{old}$  adalah ukuran sampel data lama

$n_{new}$  adalah ukuran sampel data baru

Namun berdasarkan hasil validasi sesuai rujukan di NIST (2012) dan Walpole dkk (2012), daerah penolakan sebagai kriteria di luar kendali seharusnya adalah  $|t_{value}| > t_{crit}$  sedangkan derajat bebas ( $\nu$ ) mengikuti pendekatan Satterthwaite sesuai Persamaan [4], yaitu dengan menambahkan tanda pangkat kuadrat pada bilangan penyebut di Persamaan [3].

$$\nu = \frac{\left(\frac{s_{old}^2}{n_{old}} + \frac{s_{new}^2}{n_{new}}\right)^2}{\frac{\left(\frac{s_{old}^2}{n_{old}}\right)^2}{n_{old}-1} + \frac{\left(\frac{s_{new}^2}{n_{new}}\right)^2}{n_{new}-1}} \dots\dots\dots[4]$$

dengan,

$s_{old}$  adalah simpangan baku sampel data lama

$s_{new}$  adalah simpangan baku sampel data baru

$n_{old}$  adalah ukuran sampel data lama

$n_{new}$  adalah ukuran sampel data baru

Perhitungan menggunakan *Microsoft Excel Add-Ins for Data Analysis (t-test two-sample assuming unequal variances)* memberikan hasil yang sama dengan perhitungan rumus Persamaan [4]. Ada kemungkinan kesalahan penyetikan pada formula di KAN (2019).

Sementara itu, penggunaan histogram yang diulas secara ringkas pada KAN (2019) ditujukan untuk menampilkan secara visual perbedaan distribusi data awal dan data periksa. Hanya saja, tampilan histogram dipengaruhi oleh jumlah bin atau lebar bin yang digunakan. Jumlah bin optimal harus dipilih agar informasi pada histogram cukup representatif. Węglarczyk (2018) mengunggulkan penggunaan *kernel density estimation* (KDE) untuk menggambarkan fungsi distribusi peluang dibanding histogram. Alasannya adalah kernel memberikan

estimasi distribusi peluang yang kontinu dan halus serta mengungkapkan informasi pada data sampel dengan lebih baik dibandingkan histogram karena menggunakan semua titik data sampel.

Implementasi KDE dapat dilakukan dengan mudah memanfaatkan modul Pandas yang merupakan bagian dari pustaka IPython. Berdasarkan Pandas Documentation (2024), fungsi plot dengan KDE diaplikasikan dengan fungsi gaussian dan penentuan koefisien kehalusan secara otomatis menggunakan aturan Scott.

### 3. METODOLOGI

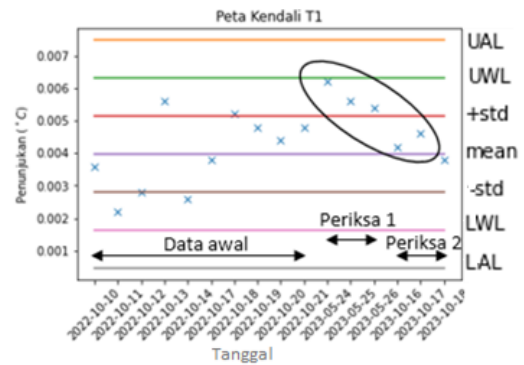
Kajian analisis statistik hasil pemeriksaan antara PRT ini dilaksanakan berdasarkan metode penelitian terapan yang dilakukan di Laboratorium Suhu BSML Regional II. Tahapan penelitian yang dilaksanakan adalah sebagai berikut:

1. Penetapan standar yang diperiksa yaitu tiga sensor PRT yang kemudian dikodekan sebagai T1, T2, dan T3. T1 dan T2 merupakan sepasang sensor dengan satu *reader* dengan nilai koefisien  $\alpha = 0,003925 \Omega/\Omega/^\circ\text{C}$ , daya baca  $0,001 \text{ }^\circ\text{C}$ , dan akurasi pabrikan  $0.012 \text{ }^\circ\text{C}$  pada  $0^\circ\text{C}$  sesuai Fluke Calibration (2012). T2 digunakan sebagai standar kerja sehari-hari sedangkan T1 tidak digunakan kecuali pada saat pemeriksaan antara dan pengujian *bath*. T3 memiliki nilai koefisien  $\alpha = 0,00385 \Omega/\Omega/^\circ\text{C}$ , daya baca  $0,01 \text{ }^\circ\text{C}$ , dan akurasi pabrikan  $0.15 \text{ }^\circ\text{C}$  pada  $0^\circ\text{C}$  sesuai Lutron (n.d.). T3 digunakan sebagai standar kerja cadangan.
2. Pengambilan data awal pemeriksaan antara selama 10 hari pada Oktober 2022. Setiap hari diambil sampel sebanyak 5 data pembacaan sensor pada titik es.
3. Pembuatan peta kendali  $3\sigma$  dengan 10 *sample means* pada Oktober 2022 sebagai data awal.
4. Pengambilan 3 hari data periksa ke-1 pada Mei 2023. Setiap hari diambil sampel sebanyak 5 data pembacaan sensor pada titik es. Data 3 *sample means* data periksa ke-1 kemudian diplot pada peta kendali.
5. Pengambilan 3 hari data periksa ke-2 pada Oktober 2023. Setiap hari diambil sampel sebanyak 5 data pembacaan sensor pada titik es. Data 3 *sample means* data periksa ke-2 kemudian diplot pada peta kendali.
6. Visualisasi peta kendali dan KDE dengan pustaka matplotlib dan pandas dengan aplikasi IPython.
7. Analisis peta kendali dengan kriteria (TWEH), uji t dengan *data analysis add-ins* pada Excel, serta interpretasi grafik peta kendali dan KDE.

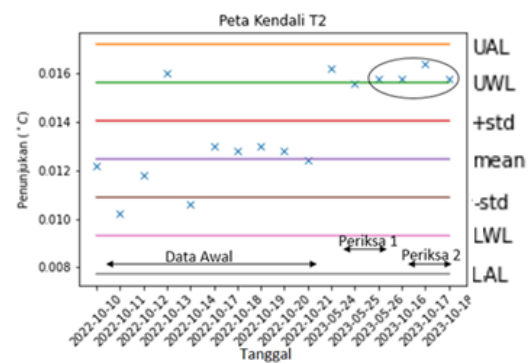
8. Penarikan kesimpulan.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

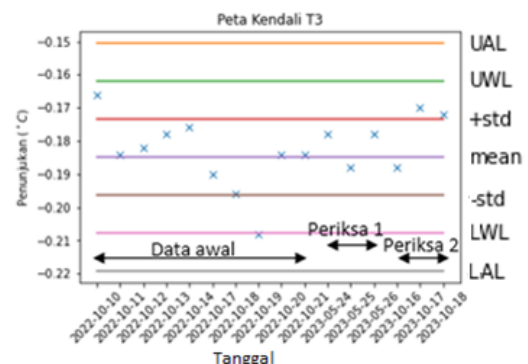
Plot peta kendali dan hasil pemeriksaan antara untuk sensor T1, T2, dan T3 secara berurutan ditampilkan dalam Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4. Secara umum tidak ada data pemeriksaan antara yang melampaui batas *action limit* meskipun ada yang melewati batas peringatan seperti di kasus T2. Hanya saja, pola proses di luar kendali seperti didefinisikan TWEH sesuai Montgomery (2009) terdapat pada kasus sensor T1 di Gambar 2 dan sensor T2 di Gambar 3. Pola proses di luar kendali sesuai aturan ke-3 TWEH pada Gambar 2 berikut aturan ke-2 TWEH pada Gambar 3 ditandai dengan kurva oval. Sementara itu, data pemeriksaan antara untuk T3 di Gambar 4 menunjukkan bahwa semua proses masih terkendali. Pada bagian ini ditunjukkan bahwa kriteria TWEH pada peta kendali memberikan aturan yang lebih rinci dan sensitif daripada kriteria dasar Shewhart yang hanya mendeteksi titik-titik yang berada di luar batas kendali.



Gambar 2. Peta kendali untuk T1



Gambar 3. Peta kendali untuk T2



Gambar 4. Peta kendali untuk T3

Sesuai dengan Noskievičová (2013), T1 mengalami fenomena *smaller sustained shift* karena memiliki empat data dari lima data yang berurutan berada pada jarak  $1\sigma$  atau lebih di sisi yang sama dari garis tengah. Hasil ini dapat divalidasi dengan hasil uji t. Berdasarkan uji t, terdapat hasil yang di luar kendali



pada pemeriksaan T1 disebabkan oleh perbedaan rata-rata yang signifikan untuk data Oktober 2022 (DA) dengan Mei 2023 (P1). Notasi  $\mu_{DA}$ ,  $\mu_{P1}$ , dan  $\mu_{P2}$  berturut-turut melambangkan rata-rata data awal untuk bulan Oktober 2022, data periksa bulan Mei 2022, data periksa bulan Oktober 2023. Notasi  $t_{value}$  melambangkan nilai statistik yang dihitung dari sampel sedangkan  $t_{crit}$  menunjukkan nilai kritis yang berasal dari distribusi t berdasar derajat kebebasan sampel. Hasil uji t untuk T1 pada Tabel 1 menunjukkan adanya perbedaan rata-rata yang signifikan antara data awal dan data periksa pertama namun hal itu tidak terjadi pada data periksa kedua.

**Tabel 1. Hasil uji t pada T1**

| Sensor   | $t_{value}$ | $t_{crit}$ | Ket.                     |
|----------|-------------|------------|--------------------------|
| DA vs P1 | -3,97       | 2,31       | $\mu_{DA} \neq \mu_{P1}$ |
| DA vs P2 | -0,51       | 2,26       | $\mu_{DA} = \mu_{P2}$    |

Sementara itu, T2 berada di luar kendali karena adanya *large shift* yang disebabkan dua data dari tiga data berurutan melampaui batas peringatan  $2\sigma$  (UWL) sesuai Noskievičová (2013). Hasil uji t pada Tabel 2 menunjukkan adanya perbedaan signifikan secara statistik antara data awal dan data periksa pertama maupun kedua karena *large shift* pada sensor T2.

**Tabel 2. Hasil uji t pada T2**

| Sensor   | $t_{value}$ | $t_{crit}$ | Ket.                     |
|----------|-------------|------------|--------------------------|
| DA vs P1 | -6,40       | 2,23       | $\mu_{DA} \neq \mu_{P1}$ |
| DA vs P2 | -6,55       | 2,23       | $\mu_{DA} \neq \mu_{P2}$ |

Adapun uji t untuk T3 yang data periksanya terkendali ditunjukkan pada Tabel 3. Hasilnya sejalan karena rata-rata data awal tidak berbeda signifikan secara statistik dengan data periksa pertama dan kedua.

**Tabel 3. Hasil uji t pada T3**

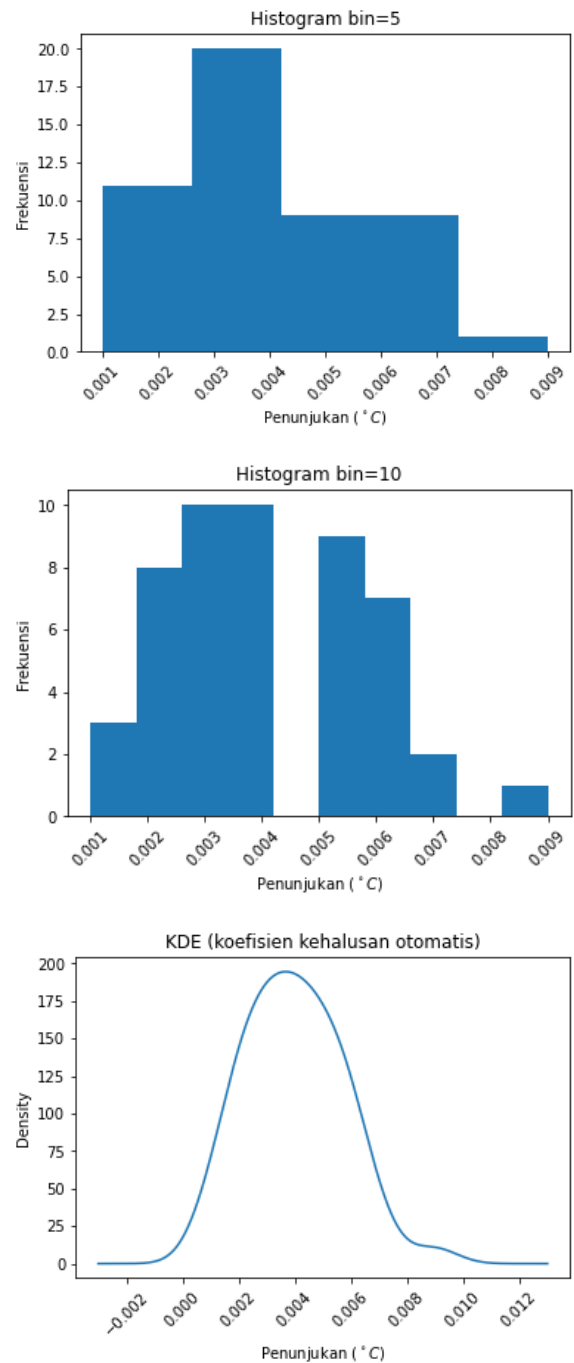
| Sensor   | $t_{value}$ | $t_{crit}$ | Ket.                  |
|----------|-------------|------------|-----------------------|
| DA vs P1 | -0,70       | 2,36       | $\mu_{DA} = \mu_{P1}$ |
| DA vs P2 | -1,21       | 3,18       | $\mu_{DA} = \mu_{P2}$ |

Sementara itu, KAN (2019) sudah mengulas secara singkat penggunaan histogram untuk membandingkan data awal dan data periksa. Kasus data awal dan data periksa T1 akan digunakan untuk menggambarkan kemampuan KDE yang lebih fleksibel dibandingkan dengan histogram. Pola distribusi frekuensi untuk data awal (DA) dan data periksa (P1) hasil pemeriksaan antara sensor T1 ditunjukkan pada Tabel 4. Visualisasi histogram dengan variasi jumlah bin dan KDE untuk data awal (DA) sesuai Tabel 4 ditunjukkan pada Gambar 5.

**Tabel 4. Distribusi frekuensi pada T1**

| Data DA (°C) | Freq | Data P1 (°C) | Freq |
|--------------|------|--------------|------|
| 0,001        | 3    | 0,005        | 7    |
| 0,002        | 8    | 0,006        | 6    |
| 0,003        | 10   | 0,007        | 1    |
| 0,004        | 10   | 0,008        | 1    |
| 0,005        | 9    |              |      |
| 0,006        | 7    |              |      |
| 0,007        | 2    |              |      |
| 0,008        | 0    |              |      |
| 0,009        | 1    |              |      |
| Jumlah       | 50   |              | 15   |

Pengaruh jumlah bin, yang berkonsekuensi pada lebar bin, menjadi faktor kurangnya fleksibilitas histogram. Jumlah bin yang sedikit dapat mengaburkan detail. Selain itu, histogram hanya menunjukkan frekuensi data dalam bentuk batang-batang yang terpisah, sementara KDE tidak memerlukan pembagian data ke dalam bin atau interval tertentu. Distribusi yang dihasilkan KDE lebih reflektif terhadap pola data yang sebenarnya. Sementara itu, penggunaan KDE nampak lebih intuitif dalam menggambarkan distribusi peluang data.

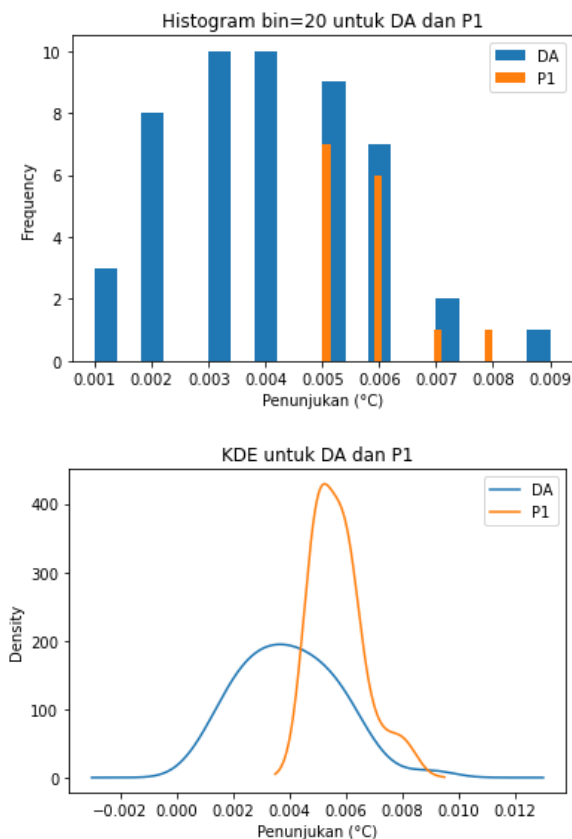


**Gambar 5. Perbandingan Histogram dan KDE pada Kasus Data Awal pada T1**

Tampilan yang kontinu pada KDE mudah dibandingkan secara visual satu dengan yang lain ketimbang tampilan batang-batang histogram yang dapat berbeda lebarnya akibat pilihan jumlah bin dan pengaruh rentang data. Contoh kasusnya dapat dilihat pada

Gambar 6 yang menunjukkan visualisasi histogram untuk DA dan P1 pada Tabel 4.

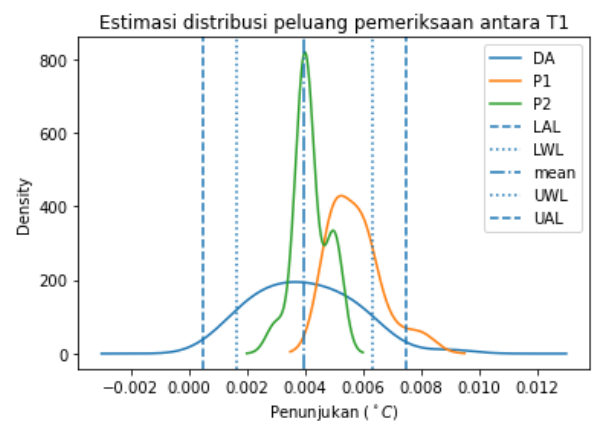
Jumlah sampel untuk DA adalah 50 data sedangkan untuk P1 adalah 15 data. Jumlah sampel yang berbeda ini menyebabkan perbandingan bentuk distribusi yang sesungguhnya tidak dapat tergambar dengan baik menggunakan histogram. Hal ini berbeda dengan KDE yang menggunakan kepadatan data relatif (*density*) sebagai sumbu  $y$  sehingga distribusi tervisualisasi dengan baik karena tidak terpengaruh oleh jumlah sampel yang berbeda.



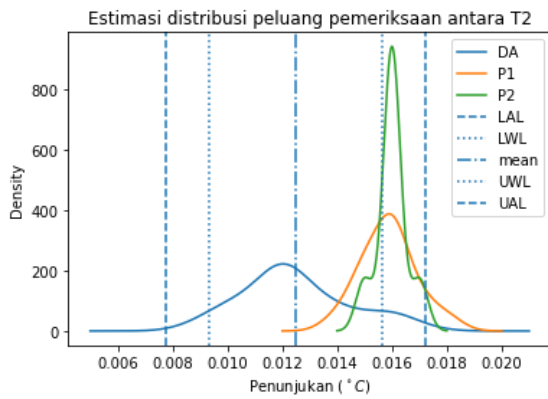
**Gambar 6. Perbandingan histogram dan KDE pada kasus data awal dan data periksa T1**

Sumbu  $y$  pada grafik KDE (*density*) menggambarkan estimasi kepadatan peluang, yang secara teknis adalah nilai yang tidak bersatuan. Nilai ini menunjukkan seberapa kepadatan relatif data muncul di sekitar titik tertentu pada sumbu  $x$ . Penting untuk dicatat bahwa integrasi area di bawah kurva KDE di seluruh rentang sumbu  $x$  akan bernilai 1 (satu) karena karakteristik dari fungsi distribusi peluang adalah total peluang untuk semua kemungkinan hasil harus sama dengan 1 (satu).

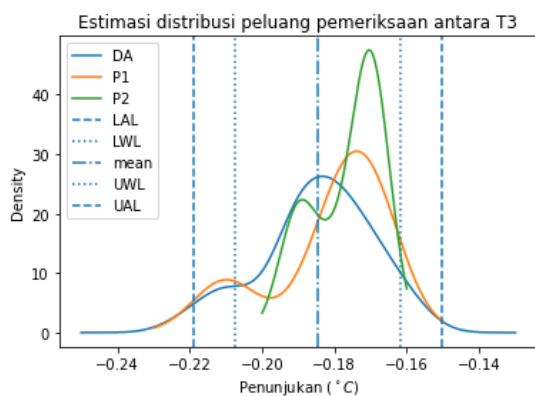
Selanjutnya, hasil visualisasi KDE pada pemeriksaan antara untuk sensor T1, T2, dan T3 ditunjukkan secara berurutan pada Gambar 7, Gambar 8, dan Gambar 9.



**Gambar 7. KDE pemeriksaan antara pada T1**



**Gambar 8. KDE pemeriksaan antara pada T2**



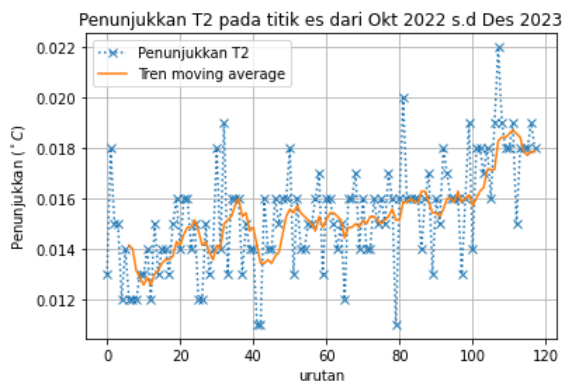
**Gambar 9. KDE pemeriksaan antara pada T3**

Puncak-puncak lonceng (*the curve bell*) KDE menggambarkan pusat data atau rata-rata data. Apabila uji t mampu memberi gambaran signifikan ada atau tidaknya perbedaan rata-rata antara data awal dan data periksa, KDE memberikan gambaran yang lebih kaya dengan gambaran perbedaan distribusi peluang secara keseluruhan, termasuk bentuk (simetris atau tidak), sebaran, dan data pencilan.

Berdasarkan KDE pada Gambar 7, Gambar 8 serta Gambar 9, terdapat fenomena sensor dengan kelas akurasi yang tinggi, yaitu T1 dan T2, ( $\alpha =$

0,003925  $\Omega/\Omega/^\circ\text{C}$ , daya baca 0,001  $^\circ\text{C}$ ) memiliki batas rentang yang lebih sempit jika dibandingkan dengan T3 ( $\alpha = 0,00385 \Omega/\Omega/^\circ\text{C}$ , daya baca 0,01  $^\circ\text{C}$ ). Pergeseran penunjukan dalam orde per seribu  $^\circ\text{C}$  memiliki dampak signifikan secara statistik. Hasil plot pada peta kendali yang didukung hasil uji t dan analisis visual grafis menunjukkan adanya pergeseran penunjukan sensor pada titik es untuk T1 dan T2. Pergeseran penunjukan tampak lebih signifikan pada T2 berdasar nilai  $t_{\text{value}}$  pada Tabel 2 dan tampilan grafik KDE pada Gambar 8. Patut diduga bahwa hal tersebut berkorelasi dengan penggunaan T2 sebagai standar kerja (*working standard*) dan T1 sebagai *gold standard*.

Laboratorium Suhu BSML Regional II memiliki rekaman pengujian titik es untuk T2 dari waktu ke waktu karena fungsinya sebagai standar kerja. Data tersebut dapat digunakan sebagai pembandingan untuk melihat fenomena pergeseran. Setelah tahapan *data cleansing* untuk menghilangkan duplikasi data tanggal dan data penguji, didapatkan 118 data tunggal dengan representasi grafis ditunjukkan pada Gambar 10.



**Gambar 10. Rekaman pengujian titik es pada T2**

Perkakas analisis tren berupa *moving average* (jendela=7), secara grafis fenomena pergeseran penunjukan dapat dikonfirmasi terjadi pada T2. *Moving average* memberikan gambaran yang lebih stabil mengenai perubahan penunjukan dalam jangka panjang yang cenderung naik, turun, atau tetap stabil, dibandingkan melihat data berurutan yang berfluktuasi. Hasil ini sejalan dengan hasil pemeriksaan antara bahwa ada pergeseran rata-rata penunjukan yang signifikan secara statistik.

Sementara itu, penunjukan T2 bergeser dari sekitar 0,012 °C menuju nilai 0,017 °C berdasar Gambar 8. Di sisi lain, penunjukan T1 bergeser dari sekitar 0,004 °C menuju nilai 0,005 °C berdasar Gambar 7. Fenomena ini disebut disebut sebagai *drift in values of standard* dalam Nurjaya (2021). Meskipun begitu, pergeseran tersebut masih lebih kecil dari spesifikasi pabrikan untuk nilai *drift* sebesar 0,007 °C di sekitar suhu 0,010 °C

(titik es) dengan merujuk pada spesifikasi alat sesuai Fluke Calibration (2012).

Berdasarkan KAN Pd-02-05 Revisi 0 halaman 12 dinyatakan: “*When evaluating measurement process against specifications and tolerance, we should consider whether or not the process is acceptable. If the process is acceptable, there is no need to look for assignable causes*”. Untuk kasus ini, meskipun ada pergeseran signifikan secara statistik, namun secara teknis penunjukan sensor T1 dan T2 masih dapat diterima sesuai dengan spesifikasi yang ada dan dampaknya telah diantisipasi dengan memasukkan ketidakpastian akibat *drift* standar pada *budget* ketidakpastian standar. Berdasar perhitungan *drift* tahunan rata-rata di suhu sekitar 0 °C dari sertifikat kalibrasi laboratorium eksternal (LK-045-IDN) didapatkan nilai *drift* sebesar 0,013 °C untuk T1 dan 0,017 °C untuk T2. Nilai tersebut dianggap sudah meng-cover dampak dari pergeseran rata-rata penunjukan. Batas-batas kendali untuk T2 perlu dimutakhirkan dengan menambahkan data Mei 2023 dan Oktober 2023.

Kesimpulan pada bagian ini bahwa penggunaan peta kendali untuk pemeriksaan antara PRT dengan kriteria TWEH dapat diandalkan sebagai alat pemantau variabilitas standar ukur. Metode komplemen dengan uji t dan

KDE digunakan untuk memvalidasi kriteria TWEH. Seluruh metode ini saling melengkapi, hasil dari satu metode dapat memberikan pendalaman atau memperkaya penjelasan dari metode lain. Selanjutnya, untuk temuan proses di luar kendali yang terdeteksi melalui kriteria TWEH, hasil uji t, maupun visualisasi KDE, pengelola laboratorium kemudian dapat segera melakukan analisis akar penyebab masalah dan membandingkan hasil pemeriksaan antara dengan spesifikasi pabrikan, rekaman pemeriksaan alat, atau sertifikat termutakhir. Sebagai contoh adalah kasus T2 yang digunakan sebagai standar kerja dan mengalami pergeseran penunjukan yang signifikan secara statistik. Pada kasus ini, data pemeriksaan alat sebelum kalibrasi dapat digunakan sebagai bahan analisis tambahan pemeriksaan antara, sehingga memungkinkan triangulasi hasil untuk meningkatkan akurasi dan validitas temuan.

## 5. KESIMPULAN

Peta kendali Shewhart merupakan alat yang penting dan dapat diandalkan dalam menjaga kepercayaan terhadap kinerja peralatan dan menjamin keabsahan hasil laboratorium kalibrasi. Kriteria *The Western Electric Handbook* dapat memberikan aturan yang lebih rinci dan sensitif daripada kriteria dasar Shewhart.

Hasil implementasi *The Western Electric Handbook* koheren dengan metode uji t dan visualisasi KDE. Seluruh metode ini saling melengkapi, hasil dari satu metode dapat memberikan pendalaman atau memperkaya penjelasan dari metode lain. Dalam konteks pemeriksaan antara termometer tahanan platina, metode statistik dengan peta kendali, uji t, maupun visualisasi KDE perlu dibandingkan dengan spesifikasi teknis atau spesifikasi pabrikan dan data rekaman teknis lainnya agar laboratorium kalibrasi dapat menjaga keandalan dan akurasi termometer tahanan platina sebagai standar kalibrasi besaran suhu.

## 6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada: Marju, Gede, Linanda, Tatik, Dani, Wahyu sebagai anggota Tim Pengelola Laboratorium Suhu BSML Regional II Tahun 2023 atas bantuan pengumpulan data untuk penelitian ini.

## 7. DAFTAR PUSTAKA

- Fluke Calibration. (2012). *Secondary reference temperature standards* (Version 11224-eng Rev 03).
- International Electrotechnical Commission. (2022). IEC 60751: Industrial platinum resistance

- thermometers and platinum temperature sensors. Geneva: IEC.
- International Organization for Standardization. (2017). *ISO/IEC 17025:2017: General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*. Geneva: ISO.
- Komite Akreditasi Nasional. (2019). *KAN Pd-02.05 Guide on Measurement Assurance*. Jakarta: KAN.
- Lutron Electronic. (n.d.). *Precision Thermometer Model: TM-917 (0609-TM917)*.
- Montgomery, D.C. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Nicholas, J.V. dan White, D.R. (2001). *Traceable Temperatures, An Introduction to Temperature Measurement and Calibration*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Noskievičová, D. (2013). Complex Control Chart Interpretation. In *International Journal of Engineering Business Management*, (pp. 5-13). SageJournals/DOI: 10.5772/DOI
- Nurjaya, A. (2021). Analisis Control Chart Dalam Program Jaminan Kesesuaian Hasil Pengukuran Pada Anak Timbangan Standar. In *Jurnal Insan Metrologi Vol 1*, (pp 20-27). PPSDK/doi 10.55101/ppsdk.v1i1.575
- NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods/ Two-Sample t-Test for Equal Means. (2012). Diakses pada 19 Agustus 2024 dari <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda353.htm>
- Pandas Documentation. (2024). Diakses pada 16 Agustus 2024 dari <https://pandas.pydata.org/docs/reference/api/pandas.DataFrame.plot.kde.html>
- Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., & Ye, K. (2012). *Probability & statistics for engineers & scientists* (9th ed.). Prentice Hall.
- Węglarczyk, S. (2018). Kernel density estimation and its application. In *ITM Web of Conferences* (Vol. 23). <https://doi.org/10.1051/itmconf/20182300037>