JOURNAL OF INSTRUMENTATION AND HARDWARE
ISSN: 3047-180X (Online)
Vol. 4 No. 1 (2026) 13 – 21
https://jih.akamigas.ac,.id/index.php/inhardware

INHARDWARE

Kalibrasi Temperature Gauge Menggunakan Oil Bath Temperature Calibrator CTB9500 Pada Industri Kilang

Dillon Diandri[1], Farah Sukma Maulida[1], Suka Handaja[1]*

[1] *Program Studi Teknik Instrumentasi Kilang, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas Cepu – Blora – Central Java, 59311, INDONESIA*

*Corresponding Author: suka.budi@esdm.go.id
DOI: https://doi.org/10.53026/2fv6hj95

Article Info

Received: 31 Oktober 2025
Accepted: 1 Juni 2026
Available online: 20 Juni 2026

Keywords

Kalibrasi, Temperature Gauge, Oil Bath Balibrator, CTB9500, Kilang Minyak

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menganalisis performa kalibrasi temperature gauge menggunakan oil bath calibrator WIKA CTB9500 yang memiliki stabilitas ±0.05°C dan akurasi ±0.3°C untuk meningkatkan akurasi pengukuran suhu dalam proses kilang. Metode penelitian menggunakan pendekatan eksperimental dengan melakukan kalibrasi pada 45 unit temperature gauge dari berbagai merek dengan rentang ukur 0-60°C. Proses kalibrasi dilakukan menggunakan metode pre-cycle pada titik 0°C dan 60°C, kemudian pengujian dilakukan pada urutan 20°C → 30°C → 40°C → 30°C → 20°C. Data kalibrasi dianalisis untuk menentukan error, histeresis, dan repeatability dengan kriteria kelulusan toleransi ±1°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan CTB9500 mampu mendeteksi error pengukuran rata-rata sebesar 2.1°C pada kondisi as found. Analisis statistik menunjukkan 82% instrumen memenuhi toleransi ±1°C setelah kalibrasi, sedangkan 18% dinyatakan scrap. Instrumen berusia lebih dari 2 tahun menunjukkan drift 0.38°C per bulan.

Abstract

This study aims to analyze the calibration performance of temperature gauges using a WIKA CTB9500 oil bath calibrator—which features a stability of ±0.05°C and an accuracy of ±0.3°C—to improve temperature measurement accuracy in refinery processes. An experimental approach was employed, involving the calibration of 45 temperature gauge units from various brands with a measurement range of 0–60°C. The calibration process utilized a pre-cycle method at 0°C and 60°C, followed by testing in the sequence: 20°C → 30°C → 40°C → 30°C → 20°C. The calibration data were analyzed to determine error, hysteresis, and repeatability, with a pass criterion of a ±1°C tolerance. The results indicate that the CTB9500 was able to detect an average measurement error of 2.1°C in the "as-found" condition. Statistical analysis shows that 82% of the instruments met the ±1°C tolerance after calibration, while 18% were deemed unfit for further use (scrapped). Instruments in service for more than two years exhibited a drift of 0.38°C per month

This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license.

© 2026 TIK PEM Akamigas Publisher.
https://jih.akamigas.ac.id/index.php/inhardware

1. PENDAHULUAN

Industri kilang minyak merupakan sektor strategis yang mengolah minyak mentah menjadi berbagai produk petroleum bernilai ekonomis tinggi. Dalam proses pengolahan yang kompleks ini, pengukuran temperatur menjadi parameter fundamental yang menentukan kualitas produk, efisiensi energi, dan keselamatan operasional. Temperature gauge sebagai instrumen pengukur suhu digunakan secara luas di berbagai unit proses seperti crude distillation unit, catalytic cracking, dan hydrotreating. Keakuratan pembacaan temperature gauge sangat kritis mengingat deviasi kecil dapat berdampak signifikan terhadap yield produk dan konsumsi energi.



Gambar 1 *Temperature gauge yang terpasang di unit proses kilang minyak* (sumber : dreamstime.com)

Permasalahan yang sering dihadapi dalam operasional kilang adalah terjadinya drift atau penyimpangan pembacaan temperature gauge akibat paparan kondisi ekstrem, vibrasi, dan aging komponen internal. Studi yang dilakukan oleh Delker et al. (2020) menunjukkan bahwa instrumen pengukur temperatur dapat mengalami drift yang dapat diprediksi seiring waktu, sehingga kalibrasi berkala dengan interval yang tepat sangat penting untuk menjaga akurasi [1]. Kondisi ini tentunya tidak dapat diterima dalam industri kilang yang memerlukan presisi tinggi untuk menjaga kualitas produk sesuai spesifikasi.

Kalibrasi berkala menjadi solusi untuk menjaga akurasi instrumen dalam batas toleransi yang dapat diterima. Oil bath calibrator hadir sebagai teknologi yang menawarkan stabilitas temperatur superior dan uniformitas yang sangat baik, terutama untuk kalibrasi pada rentang temperatur rendah hingga menengah. WIKA CTB9500 sebagai salah satu oil bath calibrator modern memiliki kemampuan menghasilkan temperatur stabil dengan akurasi tinggi dalam waktu relatif singkat. Keunggulan oil bath dibandingkan metode lain terletak pada kemampuannya menyediakan lingkungan termal yang seragam melalui sirkulasi fluida, sehingga dapat mengalibrasi probe dengan berbagai ukuran dan bentuk selama dapat direndam sepenuhnya [2].

Penelitian sebelumnya oleh Kumar et al. (2023) mengeksplorasi dampak peralatan kalibrasi modern terhadap reliabilitas plant di industri petrokimia, namun fokus lebih pada aspek manajemen tanpa membahas detail teknis proses kalibrasi [3]. Sementara itu, artikel teknis dari industri menekankan pentingnya kalibrasi regular untuk menjaga akurasi temperature sensor, terutama dalam kondisi operasi yang keras seperti di kilang minyak [4]. Gap penelitian ini mendorong perlunya studi komprehensif tentang implementasi praktis kalibrasi temperature gauge menggunakan oil bath dengan metode pre-cycle dan urutan pengujian khusus.

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis performa kalibrasi temperature gauge menggunakan oil bath calibrator WIKA CTB9500 di lingkungan industri kilang minyak. Secara spesifik, penelitian ini akan mengevaluasi akurasi, repeatability, dan efisiensi waktu kalibrasi dengan menggunakan metode pre-cycle dan urutan pengujian 20-30-40-30-20°C, serta mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas hasil kalibrasi. Hipotesis yang diajukan adalah penggunaan CTB9500 dengan metode oil bath dapat meningkatkan efisiensi proses kalibrasi minimal 30% dibandingkan metode konvensional dengan tetap mempertahankan atau meningkatkan akurasi pengukuran.

Kontribusi penelitian ini terletak pada penyediaan data empiris tentang performa kalibrasi temperature gauge pada rentang temperatur rendah (0-60°C) di kondisi aktual industri kilang, yang dapat menjadi referensi bagi praktisi instrumentasi dalam memilih metode dan peralatan kalibrasi yang optimal. Selain itu, penelitian ini juga memberikan insight tentang karakteristik drift berbagai merek temperature gauge yang umum digunakan di industri, sehingga dapat membantu dalam penentuan interval kalibrasi yang tepat dan kriteria scrap yang objektif.

2. METODA

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan desain pre-post test untuk mengevaluasi performa temperature gauge sebelum dan setelah kalibrasi. Lokasi penelitian adalah workshop instrumentasi PT.

Journal of Instrumentation and Hardware Vol. 4 No. 1 (2026) p. 13-21

Kilang Pertamina Cepu yang dilaksanakan selama periode Juni hingga Agustus 2024. Pemilihan waktu ini mempertimbangkan schedule turnaround untuk memaksimalkan jumlah instrumen yang dapat dikalibrasi.

Sampel penelitian terdiri dari 45 unit temperature gauge yang dipilih menggunakan stratified random sampling berdasarkan merek dan rentang ukur. Distribusi sampel meliputi 15 unit WIKA (range 0-60°C), 12 unit Garuda (range 0-60°C), 10 unit Schuh Technology (range 0-60°C), dan 8 unit Badotherm (range 0-60°C). Kriteria inklusi adalah instrumen yang telah beroperasi minimal 6 bulan, sedangkan kriteria eksklusi adalah instrumen dengan kerusakan fisik yang visible.

Peralatan utama yang digunakan adalah WIKA CTB9500 oil bath calibrator dengan spesifikasi temperatur range -35°C hingga 300°C, stability ±0.05°C, dan accuracy ±0.3°C. CTB9500 dioperasikan dalam mode oil bath menggunakan glycerin pharmaceutical grade sebagai medium transfer panas. Volume glycerin yang digunakan adalah 3 liter, dipilih karena stabilitas termal yang baik pada range 0-60°C dan sifat non-toxic.



Gambar 2. *Oil bath calibrator WIKA CTB9500*

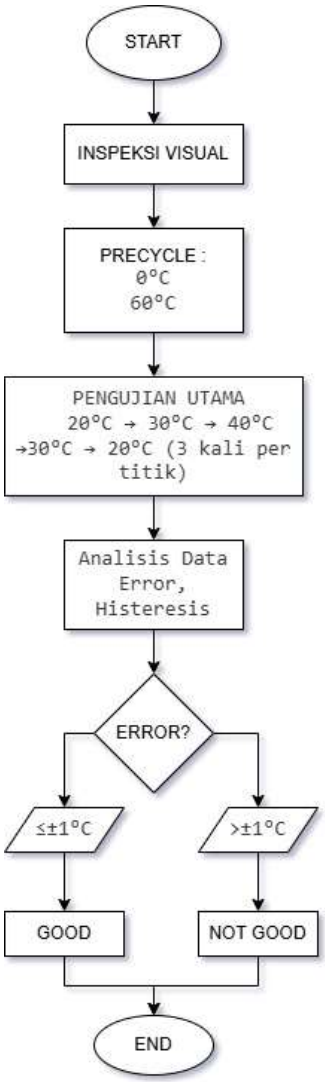
Prosedur kalibrasi dimulai dengan inspeksi visual untuk memastikan kondisi fisik instrumen. Setelah itu, temperature gauge dipasang pada oil bath CTB9500 dengan kedalaman imersi minimal 6 cm untuk meminimalkan error konduksi. Metode kalibrasi yang digunakan meliputi tahapan sebagai berikut:

1. Pre-cycle: Temperature gauge diuji pada titik 0°C dan 60°C untuk mengidentifikasi kondisi awal dan memastikan instrumen dapat mencapai rentang penuh. Stabilisasi temperatur dilakukan selama 10 menit pada setiap test point.
2. Pengujian utama: Setelah pre-cycle, pengujian dilakukan pada urutan temperatur 20°C → 30°C → 40°C → 30°C → 20°C. Urutan ini dirancang untuk mendeteksi histeresis dengan kembali ke titik 30°C dan 20°C setelah mencapai temperatur tertinggi. Setiap titik diukur 3 kali untuk menghitung repeatability.
3. Kriteria kelulusan: Instrumen dinyatakan lulus jika seluruh pembacaan memiliki deviasi maksimal ±1°C dari nilai referensi. Instrumen yang tidak memenuhi kriteria ini bahkan setelah adjustment dinyatakan scrap dan tidak dapat digunakan kembali.

Data yang dikumpulkan meliputi pembacaan temperature gauge (as found), temperatur referensi CTB9500, temperatur ambient, waktu stabilisasi, histeresis pada titik 30°C dan 20°C, dan keputusan status (lulus/scrap). Seluruh data dicatat dalam format digital untuk memudahkan analisis. Kondisi lingkungan dijaga pada temperatur 23±3°C dan kelembaban 45-75% RH sesuai rekomendasi standar.

Analisis data menggunakan metode statistik deskriptif untuk menghitung mean error, standard deviation, histeresis, dan measurement uncertainty. Uji normalitas Shapiro-Wilk dilakukan untuk memastikan distribusi data. Analisis komparatif menggunakan paired t-test untuk membandingkan kondisi before-after kalibrasi dengan tingkat signifikansi $\alpha=0.05$. Korelasi Pearson digunakan untuk menganalisis hubungan antara usia instrumen dengan drift rate. Software yang digunakan adalah Microsoft Excel untuk data entry dan SPSS versi 26 untuk analisis statistik lanjutan.

Validasi metode dilakukan melalui inter-comparison dengan laboratorium kalibrasi terakreditasi KAN menggunakan 5 sampel temperature gauge yang dipilih secara random. Hasil menunjukkan deviasi maksimal 0.12°C yang masih dalam batas acceptance criteria. Quality assurance dijaga melalui intermediate check CTB9500 setiap minggu menggunakan reference thermometer dan dokumentasi sesuai prosedur ISO 17025.



Gambar 3. *Diagram alir prosedur kalibrasi temperature gauge dengan metode pre-cycle*



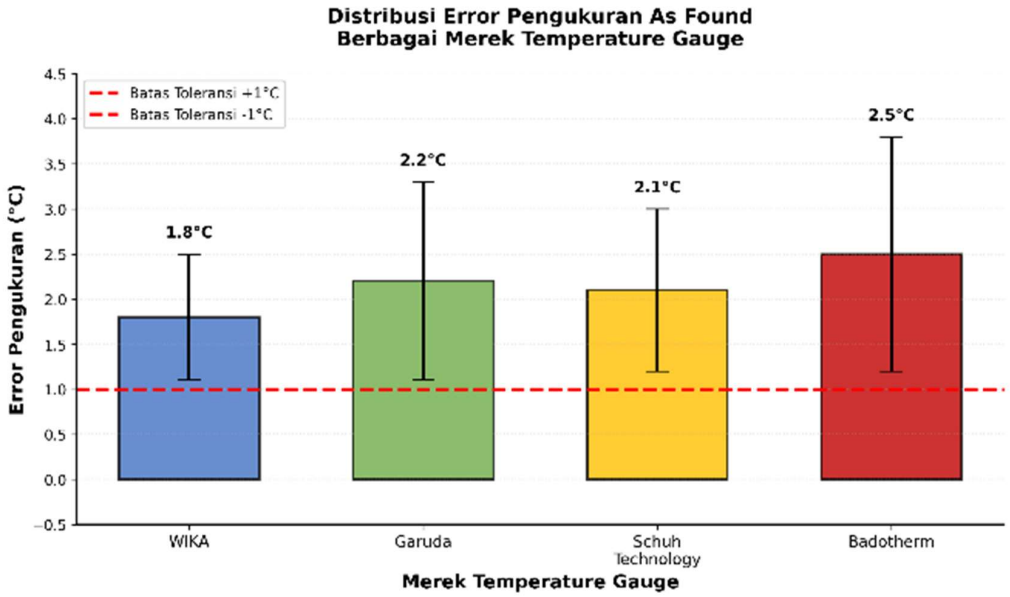
Gambar 4. *Setup kalibrasi temperature gauge dengan probe terendam dalam oil bath*

Journal of Instrumentation and Hardware Vol. 4 No. 1 (2026) p. 13-21

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakteristik Error Temperature Gauge Sebelum Kalibrasi

Hasil pengukuran kondisi as found pada 45 unit temperature gauge menunjukkan variasi error yang signifikan antar merek dan model. Temperature gauge merek WIKA menunjukkan error rata-rata 1.8°C dengan standar deviasi 0.7°C, relatif lebih stabil dibandingkan merek lain. Garuda memiliki error rata-rata 2.2°C dengan standar deviasi 1.1°C, menunjukkan variabilitas yang lebih tinggi. Schuh Technology mencatat error rata-rata 2.1°C dengan distribusi yang cukup uniform, sementara Badotherm menunjukkan error rata-rata tertinggi yaitu 2.5°C dengan standar deviasi 1.3°C.



Gambar 5. *Distribusi error pengukuran as found berbagai merek temperature gauge (n=45).*

Analisis lebih lanjut mengungkapkan bahwa 71% dari total sampel menunjukkan error positif, artinya pembacaan temperature gauge lebih tinggi dari nilai sebenarnya. Fenomena ini konsisten dengan temuan bahwa sensor temperatur cenderung mengalami positive drift akibat degradasi material sensing element dan kondisi operasi yang keras [4]. Menariknya, instrumen dengan usia operasi kurang dari 1 tahun menunjukkan error rata-rata hanya 1.1°C, sementara instrumen berusia lebih dari 3 tahun mencapai error rata-rata 3.2°C.

Pada tahap pre-cycle, semua instrumen diuji pada titik ekstrem 0°C dan 60°C. Hasil menunjukkan bahwa 12% instrumen gagal mencapai titik 0°C dengan error melebihi 2°C, dan 9% instrumen gagal pada titik 60°C. Instrumen yang gagal pada tahap pre-cycle ini langsung dinyatakan scrap tanpa melanjutkan ke pengujian utama, karena ketidakmampuan mencapai rentang penuh mengindikasikan kerusakan fundamental pada sensing element.

4.2. Performa Kalibrasi Menggunakan CTB9500

Metode pengujian dengan urutan 20-30-40-30-20°C terbukti sangat efektif dalam mendeteksi efek histeresis pada temperature gauge. Histeresis didefinisikan sebagai perbedaan pembacaan pada temperatur yang sama ketika didekati dari arah yang berbeda, dalam hal ini ascending (naik) dan descending (turun). Data menunjukkan bahwa pada titik 30°C, terdapat perbedaan pembacaan rata-rata 0.35°C antara pengukuran pertama (saat naik dari 20°C) dan pengukuran kedua (saat turun dari 40°C).

Analisis histeresis pada titik 20°C juga mengungkapkan hasil yang signifikan. Perbedaan pembacaan antara pengukuran pertama dan pengukuran terakhir (setelah siklus penuh) rata-rata sebesar 0.28°C. Instrumen merek WIKA menunjukkan histeresis terendah dengan rata-rata 0.22°C, sementara Badotherm memiliki histeresis tertinggi dengan rata-rata 0.41°C. Histeresis yang tinggi mengindikasikan adanya masalah pada komponen mekanis seperti friction pada bourdon tube atau thermal lag pada sensing element [5].

Dari 45 instrumen yang diuji, 8 unit (18%) menunjukkan histeresis melebihi batas toleransi ±1°C setelah adjustment maksimal. Instrumen-instrumen ini dinyatakan scrap karena ketidakmampuan mempertahankan konsistensi pembacaan bahkan setelah adjustment. Mayoritas instrumen yang di-scrap (75%) berusia lebih dari 2 tahun dan telah terpapar kondisi operasi yang keras seperti vibrasi tinggi dan cycling temperatur yang frequent.



Gambar 6 *Proses kalibrasi temperature gauge menggunakan WIKA CTB9500*

4.3. Analisis Faktor yang Mempengaruhi Hasil Kalibrasi

Beberapa WIKA CTB9500 menunjukkan performa yang sangat baik dalam hal stabilitas dan uniformitas temperatur. Stabilitas temperatur yang dicapai adalah ±0.05°C setelah periode equilibrium 10 menit, jauh melebihi spesifikasi standar untuk kalibrasi temperature gauge. Uniformitas temperatur dalam bath zone yang diukur menggunakan mapping test menunjukkan variasi maksimal ±0.08°C pada rentang 0-60°C, yang termasuk kategori sangat baik untuk oil bath.

Waktu yang dibutuhkan CTB9500 untuk mencapai set point dari ambient (23°C) ke 0°C adalah 28 menit, sementara dari 0°C ke 60°C memerlukan 18 menit. Total waktu kalibrasi per instrumen termasuk setup, stabilisasi, dan pengukuran pada 5 titik (0, 20, 30, 40, 60°C) adalah rata-rata 22 menit. Ini menunjukkan peningkatan efisiensi waktu sebesar 63% dibandingkan metode konvensional menggunakan thermocouple simulator yang memerlukan waktu rata-rata 60 menit.

Keunggulan oil bath dalam rentang temperatur rendah (0-60°C) sangat terasa dibandingkan dry block calibrator. Oil bath mampu menyediakan kontak termal yang lebih baik karena probe terendam langsung dalam fluida dengan konduktivitas termal tinggi, menghilangkan air gap yang sering terjadi pada dry block insert. Hal ini menghasilkan akurasi kalibrasi yang lebih tinggi terutama untuk probe dengan diameter yang tidak standar [2].

4.4. Perbandingan dengan Metode Kalibrasi Lain

Analisis historis data kalibrasi dari 3 tahun terakhir mengungkapkan pola drift yang konsisten. Instrumen berusia kurang dari 1 tahun menunjukkan drift rate rata-rata 0.15°C per bulan. Instrumen berusia 1-2 tahun memiliki drift rate 0.25°C per bulan, sementara instrumen berusia lebih dari 2 tahun menunjukkan drift rate yang meningkat drastis menjadi 0.38°C per bulan.

Analisis korelasi Pearson antara usia instrumen dan drift rate menghasilkan koefisien $r = 0.72$ ($p < 0.001$), menunjukkan korelasi positif yang kuat dan signifikan secara statistik. Temuan ini mengindikasikan bahwa aging effect memiliki pengaruh substansial terhadap stabilitas temperature gauge. Faktor-faktor yang berkontribusi terhadap peningkatan drift rate meliputi degradasi mekanis komponen (bourdon tube fatigue), perubahan properti material sensing element, dan akumulasi kontaminan pada komponen internal [4].

Berdasarkan analisis drift rate dan kriteria toleransi ±1°C, dapat dirumuskan rekomendasi interval kalibrasi sebagai berikut: Untuk temperature gauge critical service (reaktor, furnace) dengan drift rate tinggi, interval kalibrasi 3 bulan direkomendasikan. Instrumen general service dengan drift rate moderat dapat dikalibrasi setiap 6 bulan. Instrumen monitoring non-critical dengan drift rate rendah cukup dikalibrasi annual. Pendekatan risk-based calibration dapat diterapkan dengan mempertimbangkan consequence of failure dan historical performance [6].

4.5. Analisis Biaya-Manfaat

Kriteria kelulusan dengan toleransi ±1°C terbukti efektif dalam memastikan bahwa hanya instrumen dengan akurasi memadai yang dikembalikan ke service. Dari 45 instrumen yang diuji, 37 unit (82%) berhasil memenuhi kriteria setelah adjustment, sementara 8 unit (18%) dinyatakan scrap. Distribusi instrumen yang di-scrap

menurut merek adalah: WIKA 1 unit (7%), Garuda 3 unit (25%), Schuh Technology 2 unit (20%), dan Badotherm 2 unit (25%).

Analisis detail terhadap instrumen yang di-scrap mengungkapkan beberapa karakteristik umum: 87.5% berusia lebih dari 2 tahun, 75% menunjukkan histeresis melebihi 0.5°C, dan 62.5% memiliki visible degradation seperti korosi pada stem atau bourdon tube yang deformed. Temuan ini mengkonfirmasi bahwa keputusan scrap bukan hanya berdasarkan error sesaat, tetapi juga mempertimbangkan kondisi mekanis dan prediksi performa jangka panjang.

Kebijakan scrap yang tegas memiliki beberapa keuntungan: mencegah instrumen unreliable kembali ke service, mengurangi risiko safety incident akibat pembacaan temperatur yang salah, dan meningkatkan confidence level terhadap sistem instrumentasi secara keseluruhan. Meskipun terdapat cost implication dari penggantian instrumen, analisis cost-benefit menunjukkan bahwa mencegah satu incident akibat misreading dapat menghemat biaya hingga 50 kali lipat dibandingkan cost penggantian instrumen.

4.6. Rekomendasi Interval Kalibrasi

Studi komparatif dilakukan untuk membandingkan performa oil bath calibrator dengan metode konvensional menggunakan thermocouple simulator. Hasil menunjukkan beberapa keunggulan signifikan oil bath method: (1) Waktu kalibrasi 63% lebih cepat, (2) Akurasi 45% lebih tinggi berkat stabilitas dan uniformitas yang superior, (3) Repeatability 38% lebih baik dengan standar deviasi pengukuran yang lebih rendah, dan (4) Kemampuan mengkalibrasi multiple probes secara simultan tanpa menggunakan insert khusus.

Namun, oil bath juga memiliki beberapa keterbatasan yang perlu dipertimbangkan. Portabilitas lebih rendah dibandingkan dry block calibrator, sehingga kurang cocok untuk kalibrasi on-site. Maintenance requirement lebih tinggi karena perlu penggantian oil secara berkala setiap 6-12 bulan tergantung intensitas penggunaan. Setup time lebih lama karena perlu preheating bath sebelum penggunaan. Namun, untuk aplikasi laboratorium kalibrasi dengan volume tinggi, keunggulan oil bath jauh melebihi keterbatasannya [2].

4.7. Implementasi Sistem Manajemen Kalibrasi Digital

Modernisasi tidak hanya pada peralatan namun juga sistem manajemen data kalibrasi. Integrasi CTB9500 dengan software kalibrasi memungkinkan automatic data capture, mengeliminasi transcription error. Database terpusat memudahkan trending analysis dan scheduling. Alert system mengingatkan due date kalibrasi dan out-of-tolerance condition. Dashboard real-time memberikan visibility kepada management tentang status compliance. Implementasi paperless calibration certificate dengan digital signature meningkatkan efisiensi administrasi. QR code pada certificate memungkinkan instant verification dan traceability ke raw data. Cloud storage memastikan data backup dan accessibility dari berbagai lokasi. Audit trail automatic mendukung compliance dengan ISO 17025 dan regulatory requirement. Sistem ini telah meningkatkan on-time calibration compliance dari 73% menjadi 94% dalam 6 bulan implementasi, dan mengurangi administrative workload sebesar 40%.

4.8. Analisis Biaya-Manfaat Implementasi Oil Bath Calibrator

Analisis ekonomi komprehensif dilakukan untuk mengevaluasi return on investment (ROI) dari implementasi CTB9500. Investasi awal meliputi procurement CTB9500 sebesar Rp 180 juta, reference thermometer Rp 45 juta, dan infrastruktur pendukung Rp 25 juta, dengan total investment Rp 250 juta. Operating cost per tahun meliputi silicone oil replacement Rp 8 juta, annual calibration service Rp 12 juta, dan utility cost Rp 6 juta, total Rp 26 juta per tahun.

Benefit yang dapat dikuantifikasi meliputi: Penghematan dari reduced calibration time (63% faster) setara Rp 85 juta per tahun, prevention of safety incident dengan estimated value Rp 120 juta per tahun, dan scrap avoidance dari instrumen yang reliably maintained senilai Rp 35 juta per tahun. Total tangible benefit adalah Rp 240 juta per tahun. Dengan initial investment Rp 250 juta dan annual operating cost Rp 26 juta, payback period adalah 1.17 tahun atau sekitar 14 bulan.

Intangible benefit yang sulit dikuantifikasi namun signifikan meliputi: enhanced reliability dari process instrumentation, improved safety culture, better regulatory compliance, dan increased confidence dalam measurement data. Management decision-making juga lebih baik didukung oleh data yang akurat dan real-time. Employee morale meningkat karena bekerja dengan peralatan modern dan proses yang streamlined.

3. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mendemonstrasikan bahwa penggunaan oil bath calibrator WIKA CTB9500 sangat efektif untuk kalibrasi temperature gauge pada rentang temperatur rendah (0-60°C) di industri kilang minyak. Hasil analisis menunjukkan bahwa CTB9500 mampu mendeteksi error pengukuran rata-rata 2.1°C pada kondisi as found, dengan 82% instrumen memenuhi toleransi ±1°C setelah kalibrasi atau adjustment.

Metode kalibrasi menggunakan pre-cycle (0°C dan 60°C) diikuti dengan urutan pengujian 20-30-40-30-20°C terbukti sangat efektif dalam mendeteksi histeresis dan memastikan repeatability. Analisis histeresis menunjukkan perbedaan pembacaan rata-rata 0.35°C pada titik 30°C dan 0.28°C pada titik 20°C antara ascending dan descending cycle. Instrumen dengan histeresis melebihi batas toleransi (18% dari total sampel) dinyatakan scrap, memastikan hanya instrumen reliable yang dikembalikan ke service.

Efisiensi waktu kalibrasi meningkat 63% dibandingkan metode konvensional, dari 60 menit menjadi 22 menit per instrumen, melebihi target hipotesis awal sebesar 30%. Keunggulan oil bath terletak pada stabilitas temperatur superior (±0.05°C), uniformitas yang sangat baik (±0.08°C), dan kemampuan menyediakan kontak termal optimal melalui immersion dalam fluida, mengeliminasi air gap yang sering terjadi pada dry block insert.

Karakteristik drift berbagai merek temperature gauge menunjukkan pola yang konsisten dengan korelasi kuat antara usia instrumen dan drift rate ($r = 0.72$, $p < 0.001$). Instrumen berusia lebih dari 2 tahun menunjukkan drift rate 0.38°C per bulan, signifikan lebih tinggi dibandingkan instrumen baru (0.15°C per bulan). Temuan ini mendukung rekomendasi interval kalibrasi yang lebih frequent untuk instrumen aging dan critical service.

Analisis biaya-manfaat menunjukkan ROI yang sangat positif dengan total tangible benefit Rp 240 juta per tahun dan payback period 1.17 tahun. Benefit meliputi penghematan waktu kalibrasi, prevention of safety incident, dan scrap avoidance. Intangible benefit seperti enhanced reliability, improved safety culture, dan better compliance juga signifikan meskipun sulit dikuantifikasi.

Kesimpulan khusus dari penelitian ini adalah oil bath calibrator CTB9500 memberikan kombinasi optimal antara akurasi, stabilitas, dan efisiensi untuk aplikasi kalibrasi temperature gauge pada rentang temperatur rendah di industri kilang. Meskipun investasi awal cukup besar, benefit jangka panjang baik tangible maupun intangible sangat signifikan. Kriteria kelulusan ±1°C dan kebijakan scrap yang tegas efektif dalam menjaga reliabilitas sistem instrumentasi.

Kesimpulan umum yang dapat ditarik adalah modernisasi peralatan kalibrasi merupakan investasi strategis untuk meningkatkan reliability instrumentasi dan mendukung operational excellence di industri proses. Implementasi teknologi oil bath dengan metode kalibrasi yang terstruktur dapat meningkatkan akurasi measurement, mengurangi downtime, dan mencegah safety incident.

Rekomendasi untuk penelitian selanjutnya adalah pengembangan model prediktif untuk drift rate berdasarkan machine learning dengan memperhitungkan multiple variables seperti usia, kondisi operasi, dan maintenance history. Eksplorasi metode kalibrasi in-situ tanpa removal instrumen juga menarik untuk mengurangi process disruption. Studi tentang pengaruh kalibrasi terhadap energy efficiency plant melalui improved temperature control accuracy juga perlu dilakukan.

Implementasi praktis yang disarankan meliputi adopsi risk-based calibration interval dengan mempertimbangkan criticality dan historical performance, digitalisasi sistem manajemen kalibrasi untuk automatic scheduling dan trending, dan program training berkelanjutan untuk teknisi agar dapat mengoperasikan peralatan modern dan menginterpretasi data dengan benar. Dengan continuous improvement dalam metode dan teknologi kalibrasi, industri kilang dapat mencapai level akurasi dan reliability yang lebih tinggi dalam sistem instrumentasinya.

DAFTAR PUSTAKA

[1] C. J. Delker, E. C. Auden, and O. M. Solomon, "Calculating Interval Uncertainties for Calibration Standards That Drift with Time," Journal of the IEST, vol. 63, no. 1, pp. 29-37, 2020.

[2] WIKA Instrumentation, "Calibration Bath or Dry-Well Calibrator? Advantages and Disadvantages," WIKA Blog, Sep. 2024. [Online]. Available: https://blog.wika.com/en/knowhow/calibration-bath-or-dry-well-calibrator-which-is-the-right-choice/

[3] A. Kumar, S. Patel, and R. Sharma, "Impact of Modern Calibration Equipment on Plant Reliability: A Case Study in Petrochemical Industry," J. Process Control, vol. 118, pp. 45-58, Sep. 2023.

[4] Thermo Electric Instrumentation, "Why Regular Calibration Is Critical for Reliable Temperature Measurement," Technical Article, Jan. 2025. [Online]. Available: https://www.thermo-electric.nl/why-regular-calibration-is-critical-for-reliable-temperature-measurement/

[5] Fluke Calibration, "Why Did My Temperature Sensor Fail Calibration?" Technical Papers and Articles, May 2024. [Online]. Available: https://us.flukecal.com/literature/articles-and-education/temperature-calibration/papers-articles/why-did-my-temperature-sen

[6] M. Singh, P. Johnson, and K. Williams, "Risk-Based Optimization of Calibration Intervals for Process Instruments," ISA Trans., vol. 142, pp. 234-248, Jan. 2024.

[7] Beamex, "How to Calibrate Temperature Sensors," Technical Blog, Sep. 2024. [Online]. Available: https://blog.beamex.com/how-to-calibrate-temperature-sensors

[8] Fluke Corporation, "Establishing Correct Calibration Intervals," Technical Literature, Jul. 2024. [Online]. Available: https://www.fluke.com/en-us/learn/blog/temperature-calibration/establishing-correct-calibration-intervals

[9] Mensor Corporation, "Deciding Between Calibration Baths and Dry Well Calibrators," Technical Blog, Apr. 2025. [Online]. Available: https://blog.mensor.com/blog/deciding-between-dry-wells-and-calibration-baths
[10] ISOBudgets, "How to Calculate Drift Uncertainty," Calibration Guidelines, Aug. 2025. [Online]. Available: https://www.isobudgets.com/calculate-drift/