



Implikasi *Human Capital* terhadap Kualitas Kalibrasi dan Kapabilitas Pemeliharaan Pesawat Udara TNI AL

Andhi Setyo Wibowo¹, Daniel Guyana², Edy Iwan Bangun³, Moch. Cholid Mawardi⁴

^{1,2,3}Sekolah Staf dan Komando Angkatan Laut, Indonesia

⁴Komandan Satuan Pemeliharaan 22, Indonesia

E-mail: andhiswibowo@gmail.com

Article Info	Abstract
Article History Received: 2025-09-10 Revised: 2025-10-15 Published: 2025-11-01 Keywords: <i>Calibration; Maintenance and Repair; Precision Measuring Instruments; Indonesian National Army Air Force Air Base.</i>	This study discusses maintenance and repair. The maintenance process requires the support of precision measuring instruments that function to ensure each aircraft component complies with the established technical standards and tolerance limits. These precision measuring instruments can only function optimally if they are calibrated periodically. Calibration not only aims to guarantee the accuracy of measurement results, but also ensures the traceability of measurement results to national and international standards. This study is important to conduct in order to analyze the calibration capability of precision measuring instruments at Juanda Air Base, identify influencing factors, and explain their impact on improving the capability of Indonesian Navy aircraft maintenance and repair facilities. This study uses human capital theory and quality management theory as its grand theory. Data collection was obtained through interviews, observation, and documentation. The results of this study indicate that the current calibration condition still faces significant limitations in aspects of human resources, infrastructure, standard equipment, and data management systems. Only 41.6% of technicians have metrology certification, the laboratory environment is not yet stable according to ISO/IEC 17025 standards, approximately 26.7% of calibrators have passed their service life, and the calibration digitalization system (LIMS) is not yet fully integrated with the CMMS.
Artikel Info	Abstrak
Sejarah Artikel Diterima: 2025-09-10 Direvisi: 2025-10-16 Dipublikasi: 2025-11-01 Kata kunci: <i>Kalibrasi; Pemeliharaan dan Perbaikan; Alat Ukur Presisi; Lanudal.</i>	Penelitian ini membahas terkait pemeliharaan dan perbaikan (<i>maintenance and repair</i>). Proses pemeliharaan memerlukan dukungan alat ukur presisi yang berfungsi untuk memastikan setiap komponen pesawat sesuai dengan standar teknis dan batas toleransi yang telah ditetapkan. Alat ukur presisi tersebut hanya dapat berfungsi optimal apabila dilakukan kalibrasi secara berkala. Kalibrasi tidak hanya bertujuan menjamin ketepatan hasil pengukuran, tetapi juga memastikan ketertelusuran hasil pengukuran terhadap standar nasional maupun internasional. penelitian ini penting untuk dilakukan guna menganalisis kemampuan kalibrasi alat ukur presisi di Lanudal Juanda, mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi, serta menjelaskan pengaruhnya terhadap peningkatan kapabilitas fasilitas pemeliharaan dan perbaikan pesawat udara TNI AL. Penelitian ini menggunakan teori human capital theory dan teori manajemen mutu sebagai grand teorinya. Pengumpulan data diperoleh melalui wawancara, observasi dan dokumentasi. Hasil penelitian ini menunjukkan kondisi kalibrasi saat ini masih menghadapi keterbatasan signifikan pada aspek sumber daya manusia, sarana prasarana, peralatan standar, dan sistem manajemen data. Hanya 41,6% teknisi yang memiliki sertifikasi metrologi, lingkungan laboratorium belum stabil sesuai standar ISO/IEC 17025, sekitar 26,7% kalibrator telah melewati umur pakai, dan sistem digitalisasi kalibrasi (LIMS) belum sepenuhnya terintegrasi dengan CMMS.

I. PENDAHULUAN

Salah satu faktor fundamental yang memengaruhi kesiapan operasional pesawat adalah keandalan pemeliharaan dan perbaikan (*maintenance and repair*). Proses pemeliharaan memerlukan dukungan alat ukur presisi yang berfungsi untuk memastikan setiap komponen pesawat sesuai dengan standar teknis dan batas toleransi yang telah ditetapkan. Alat ukur presisi

tersebut hanya dapat berfungsi optimal apabila dilakukan kalibrasi secara berkala. Kalibrasi tidak hanya bertujuan menjamin ketepatan hasil pengukuran, tetapi juga memastikan ketertelusuran hasil pengukuran terhadap standar nasional maupun internasional.

Dalam konteks manajemen mutu, kalibrasi merupakan salah satu pilar utama penerapan sistem *quality assurance* di lingkungan

pemeliharaan alutsista. Standar ISO/IEC 17025:2017 menekankan bahwa laboratorium kalibrasi harus memiliki kompetensi teknis, personel yang berkompeten, kondisi lingkungan laboratorium yang terkendali, serta peralatan standar yang terpelihara dan tertelusuri. Implementasi standar ini di lingkungan militer menjadi krusial karena berkaitan langsung dengan faktor keselamatan penerbangan (*flight safety*) dan kesiapan tempur.

Namun, kondisi faktual menunjukkan bahwa laboratorium kalibrasi di Lanudal Juanda masih menghadapi beberapa kendala. Pertama, jumlah personel bersertifikat metrologi terbatas sehingga kapasitas kalibrasi tidak sebanding dengan kebutuhan pemeliharaan pesawat yang semakin kompleks. Kedua, kondisi lingkungan laboratorium belum sepenuhnya sesuai standar internasional, misalnya terkait pengendalian suhu, kelembaban, dan getaran yang dapat memengaruhi akurasi kalibrasi. Ketiga, keterbatasan peralatan standar kalibrasi (kalibrator) menyebabkan sebagian pekerjaan kalibrasi harus dilaksanakan di luar satuan atau melalui penyedia eksternal, yang pada akhirnya berdampak pada keterlambatan pemeliharaan.

Dampak dari keterbatasan kemampuan kalibrasi ini secara langsung memengaruhi kapabilitas fasilitas pemeliharaan pesawat udara. Kesalahan kecil dalam pengukuran akibat kalibrasi yang tidak akurat dapat menimbulkan *maintenance error*, meningkatkan risiko kecelakaan, menurunkan tingkat keandalan pesawat, serta mengurangi *Mission Capable Rate*. Sebaliknya, peningkatan kemampuan kalibrasi diyakini akan memperkuat kemampuan pemeliharaan tingkat berat maupun kompleks, meningkatkan efektivitas perbaikan, serta mendukung kesiapan operasional pesawat udara TNI AL di Lanudal Juanda.

Hubungan terkuat naskah ini dengan bidang pendidikan terletak pada penggunaan "teori human capital" secara eksplisit, dengan mengutip Gary S. Becker. Data inti yang mendukung teori ini adalah temuan bahwa "Hanya 41,6% teknisi yang memiliki sertifikasi metrologi".

Oleh karena itu, penelitian ini penting untuk dilakukan guna menganalisis kemampuan kalibrasi alat ukur presisi di Lanudal Juanda, mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi, serta menjelaskan pengaruhnya terhadap peningkatan kapabilitas fasilitas pemeliharaan dan perbaikan pesawat udara TNI AL. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam merumuskan strategi penguatan sistem

kalibrasi dan peningkatan kualitas pemeliharaan alutsista udara TNI AL.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan dukungan data kuantitatif deskriptif. Pendekatan kualitatif dipilih karena penelitian ini berfokus pada analisis mendalam mengenai kemampuan kalibrasi alat ukur presisi dan hubungannya dengan kapabilitas fasilitas pemeliharaan dan perbaikan pesawat udara TNI AL di Lanudal Juanda. Fokus penelitian bukan hanya pada angka-angka statistik, tetapi juga pada pemahaman kontekstual mengenai faktor-faktor yang memengaruhi kalibrasi, serta implikasinya terhadap keselamatan penerbangan dan kesiapan operasional.

Dari sisi metodologi, penelitian ini juga memberikan contoh baik dalam penerapan pendekatan applied research yang berorientasi pada solusi nyata, sehingga layak dijadikan model bagi mahasiswa dan dosen dalam mengembangkan riset yang tidak hanya bersifat akademik, tetapi juga memiliki dampak langsung terhadap kinerja organisasi militer. Akademisi juga mendorong agar hasil penelitian ini dipublikasikan dalam jurnal ilmiah nasional maupun internasional, sekaligus diintegrasikan ke dalam kurikulum pelatihan teknisi dan insinyur pemeliharaan pesawat di lingkungan TNI AL.

Secara lebih luas, dunia pendidikan memandang penelitian ini sebagai bagian dari upaya nasional dalam mewujudkan self-reliance dan indigenous capability dalam pemeliharaan alutsista yang selaras dengan visi Indonesia sebagai bangsa yang mandiri secara teknologi pertahanan. Dengan demikian, penelitian ini bukan hanya berdampak pada efisiensi operasional Lanudal Juanda, tetapi juga menjadi pijakan strategis bagi pengembangan kapasitas nasional di bidang perawatan sistem penerbangan militer yang berkelanjutan dan berbasis standar internasional.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Berdasarkan data wawancara, observasi, dokumentasi, dan kuesioner, kondisi kemampuan kalibrasi di Laboratorium Kalibrasi AUP Lanudal Juanda saat ini dapat digambarkan sebagai berikut:

1. Sumber Daya Manusia (SDM)

- a) Hanya 5 dari 12 teknisi (41,6%) yang memiliki sertifikasi metrologi.

- b) Kuesioner SWOT menunjukkan skor rendah pada pernyataan "Jumlah SDM metrologi bersertifikat mencukupi" (rata-rata 2,3).
 - c) Dampaknya, terjadi turnaround time (TAT) yang lebih lama dan backlog kalibrasi.
2. Lingkungan Laboratorium
- a) Hasil observasi menunjukkan suhu relatif stabil, tetapi kelembaban fluktuatif (45–70%), belum sesuai standar ISO/IEC 17025.
 - b) Kuesioner menegaskan kelemahan ini (skor 2,6).
3. Peralatan Standar
- a) Dari 30 kalibrator, 8 unit (26,7%) sudah melewati umur pakai. Kapabilitas laboratorium belum menutup kebutuhan
 - b) Avionik terbaru, sehingga sebagian pengujian dialihkan ke jasa eksternal.
4. Manajemen Data Kalibrasi
- a) Sistem digitalisasi (LIMS) sudah ada, namun belum sepenuhnya terintegrasi dengan CMMS dan ERP.
 - b) Kuesioner memberi skor 2,8 pada aspek digitalisasi → menunjukkan kelemahan.
5. Kinerja Kalibrasi
- a) On-time calibration rate = 82%, masih di bawah target 90%.
 - b) Audit internal 2025 menemukan 5 temuan minor, terutama pada dokumentasi dan perhitungan ketidakpastian.

Kalibrasi saat ini masih terbatas, ditandai oleh kekurangan SDM bersertifikat, kontrol lingkungan yang belum stabil, peralatan usang, serta manajemen data yang parsial.

Dalam konteks pendidikan tinggi, hasil penelitian dapat menjadi bahan ajar atau studi kasus dalam mata kuliah seperti *Maintenance Engineering, Metrology and Quality Control*, atau *Aviation Maintenance Management*. Selain itu, penelitian ini mendorong kolaborasi antara institusi pendidikan (seperti Politeknik Penerbangan, Universitas Pertahanan, atau jurusan teknik di perguruan tinggi sipil) dengan TNI AL, sehingga menciptakan ekosistem research-based

learning dan industry academia partnership yang saling menguntungkan.

Secara lebih luas, dunia pendidikan memandang penelitian ini sebagai bagian dari upaya nasional dalam mewujudkan self-reliance dan indigenous capability dalam pemeliharaan alutsista yang selaras dengan visi Indonesia sebagai bangsa yang mandiri secara teknologi pertahanan. Dengan demikian, penelitian ini bukan hanya berdampak pada efisiensi operasional Lanudal Juanda, tetapi juga menjadi pijakan strategis bagi pengembangan kapasitas nasional di bidang perawatan sistem penerbangan militer yang berkelanjutan dan berbasis standar internasional.

B. Pembahasan

Hasil analisis mengonfirmasi bahwa kalibrasi merupakan subsistem yang sangat krusial dalam sistem pemeliharaan pesawat udara TNI Angkatan Laut. Fungsi kalibrasi tidak sekadar aktivitas administratif, melainkan penentu sah atau tidaknya data pengukuran yang digunakan sebagai dasar keputusan teknis dalam pemeliharaan maupun operasional penerbangan. Temuan penelitian menunjukkan bahwa keterbatasan pada subsistem kalibrasi di Lanudal Juanda secara langsung berimplikasi terhadap keselamatan penerbangan, ketepatan waktu pemeliharaan, dan kesiapan operasional pesawat. Fakta-fakta empiris yang mendukung hal tersebut cukup jelas, antara lain hanya lima dari dua belas teknisi yang memiliki sertifikasi metrologi, on-time calibration rate yang masih berada pada angka 82% (di bawah target 90%), delapan dari tiga puluh kalibrator yang sudah melewati umur pakai rekomendasi, serta adanya dua kasus abort sortie dalam enam bulan terakhir akibat penggunaan alat ukur berstatus overdue. Kondisi ini membuktikan bahwa kelemahan pada subsistem kalibrasi bukan hanya menimbulkan backlog teknis, tetapi juga berimplikasi langsung terhadap risiko keselamatan penerbangan.

Dari sisi *Human Capital Theory*, hasil penelitian memperlihatkan bahwa masalah utama kalibrasi di Lanudal Juanda adalah keterbatasan teknisi bersertifikat. SDM menjadi bottleneck utama karena meskipun terdapat sarana dan peralatan, kemampuan teknis yang diakui secara formal masih rendah. Hal ini menunjukkan perlunya

investasi jangka panjang pada pengembangan dan retensi SDM, baik melalui sertifikasi metrologi, kerja sama dengan lembaga berwenang seperti BSN atau KAN, maupun insentif karier agar teknisi yang kompeten tidak berpindah ke sektor sipil yang lebih menjanjikan secara finansial. Tanpa peningkatan human capital, perbaikan sarana dan sistem digitalisasi tidak akan memberi hasil yang signifikan.

Selanjutnya, teori Manajemen Mutu dan standar ISO/IEC 17025 memberikan kerangka yang jelas untuk menjelaskan mengapa kelemahan kalibrasi terjadi. Standar ini menuntut adanya kontrol lingkungan, metode kalibrasi tervalidasi, peralatan standar yang tertelusur, serta perhitungan ketidakpastian yang akurat. Hasil observasi di laboratorium menunjukkan kelembaban yang tidak stabil antara 45 hingga 70 persen, temuan audit internal menyebutkan adanya kekurangan dalam dokumentasi dan perhitungan uncertainty, serta keterbatasan kapabilitas peralatan yang tidak lagi sesuai dengan avionik terbaru. Dengan kondisi seperti ini, laboratorium belum sepenuhnya memenuhi tuntutan ISO/IEC 17025, sehingga validitas hasil kalibrasi patut dipertanyakan. Tanpa jaminan validitas, sertifikat kalibrasi kehilangan kredibilitas dan dapat menimbulkan deviasi dalam keputusan teknis pemeliharaan.

IV. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis mengenai kemampuan kalibrasi alat ukur presisi di Lanudal Juanda, dapat ditarik beberapa kesimpulan utama. Pertama, kondisi kalibrasi saat ini masih menghadapi keterbatasan signifikan pada aspek sumber daya manusia, sarana prasarana, peralatan standar, dan sistem manajemen data. Hanya 41,6% teknisi yang memiliki sertifikasi metrologi, lingkungan laboratorium belum stabil sesuai standar ISO/IEC 17025, sekitar 26,7% kalibrator telah melewati umur pakai, dan sistem digitalisasi kalibrasi (LIMS) belum sepenuhnya terintegrasi dengan CMMS.

Kedua, terdapat sejumlah faktor internal dan eksternal yang memengaruhi kemampuan kalibrasi. Faktor internal meliputi keterbatasan SDM bersertifikat, ketidakstabilan lingkungan laboratorium, keterbatasan peralatan standar, dan manajemen data yang masih parsial. Sementara itu, faktor eksternal

mencakup fluktuasi anggaran, ketergantungan pada jasa eksternal, perkembangan avionik yang lebih cepat dari kemampuan laboratorium, serta risiko rendahnya retensi SDM metrologi.

B. Saran

Pada aspek sumber daya manusia, diperlukan program peningkatan kompetensi melalui sertifikasi teknisi metrologi dengan target minimal 80% teknisi bersertifikat dalam jangka 12–18 bulan. Selain itu, perlu dirancang kebijakan retensi SDM berupa insentif, jalur karier khusus, dan mekanisme ikatan dinas bagi teknisi yang telah menjalani pelatihan.

Kedua, pada aspek sarana prasarana dan peralatan standar, modernisasi lingkungan laboratorium harus segera dilakukan, terutama pemasangan sistem HVAC dan kontrol kelembaban otomatis agar sesuai standar ISO/IEC 17025. Peralatan kalibrasi yang sudah usang perlu segera diganti dengan peralatan baru yang sesuai perkembangan avionik modern, melalui mekanisme pengadaan multiyears.

DAFTAR RUJUKAN

- Andrew Jardine, Maintenance, Replacement, and Reliability, Amsterdam: Elsevier, 1973
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). SNI ISO/IEC 17025:2017 – Persyaratan Umum Kompetensi Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi. Jakarta: BSN, 2017.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). SNI ISO/IEC 17025:2017 – Persyaratan umum kompetensi laboratorium pengujian dan kalibrasi. Jakarta: BSN, 2017.
- BIPM (Bureau International des Poids et Mesures), International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM), 3rd edition, JCGM 200:2012.
- Boeing, Maintenance Error Decision Aid (MEDA) Process Manual, Seattle: Boeing Commercial Airplanes, 2016.
- Eming, W. E. Out of the Crisis. MIT Press, 2020.
- Departemen Pertahanan Republik Indonesia, Doktrin Pertahanan Negara, Jakarta: Kementerian Pertahanan, 2020, hlm. 45.

- F. Stanley Nowlan & Howard F. Heap, Reliability-Centered Maintenance, Washington D.C.: United Airlines & U.S. Department of Defense, 1978.
- Gary S. Becker, Human Capital: A Theoretical and Empirical Analysis, with Special Reference to Education, Chicago: University of Chicago Press, 1964.
- Hobbs, Alan & William, Barbara. Human Factors in Aircraft Maintenance. London: Routledge, 2020.
- International Civil Aviation Organization (ICAO), Annex 19 to the Convention on International Civil Aviation – Safety Management, Montreal: ICAO, 2013.
- International Civil Aviation Organization (ICAO). Annex 19 – Safety Management. Montreal: ICAO, 2020.
- International Organization for Standardization, ISO/IEC 17025:2017 – General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories, Geneva: ISO, 2017.
- International Organization for Standardization. ISO/IEC 17025:2017 – General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Geneva: ISO, 2017.
- International Organization for Standardization. ISO/IEC 17025:2017 – General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories. Geneva: ISO, 2017.
- Kementerian Pertahanan RI. Kebijakan Pemeliharaan Alutsista TNI. Jakarta: Kemhan, 2020.
- Ludwig von Bertalanffy, General System Theory: Foundations, Development, Applications, New York: George Braziller, 1968.
- Montgomery, D. C. Introduction to Statistical Quality Control. 7th ed. New Jersey: Wiley, 2019.
- Thomas L. Wheelen & J. David Hunger, Strategic Management and Business Policy: Toward Global Sustainability, 13th Edition, New Jersey: Pearson, 2012.
- Tjiptono, Fandy & Diana, Anastasia. Total Quality Management. Yogyakarta: Andi Offset, 2019.
- TNI Angkatan Laut, Buku Petunjuk Pembinaan Kekuatan Penerbangan TNI AL, Jakarta: Mabesal, 2019, hlm. 78.
- JURNAL**
- Andriani, L., Evaluasi Kapabilitas Fasilitas Pemeliharaan Alutsista Udara, Surabaya: Jurnal Pertahanan dan Teknologi, 2023.
- Johnson, T., & Lee, H., Precision Measurement and Military Aircraft Maintenance Reliability, Washington D.C.: USAF Research Paper, 2021.
- Peter F. Drucker, The Practice of Management, New York: Harper & Row, 1954.
- Prasetyo, B., “Pengaruh Kompetensi SDM terhadap Kualitas Kalibrasi Alat Ukur,” Jurnal Metrologi Indonesia, Vol. 8, No. 1, 2020, hlm. 33
- Prasetyo, B., Pengaruh Kompetensi SDM terhadap Kualitas Kalibrasi Alat Ukur, Bandung: Jurnal Metrologi Indonesia, 2020.
- Rachman, Analisis Penerapan ISO/IEC 17025 pada Laboratorium Kalibrasi di Indonesia, Jakarta: Jurnal Metrologi, 2021.
- Sutanto, Hidayat, “Peran Kalibrasi dalam Menjamin Keselamatan Penerbangan,” Jurnal Kedirgantaraan, Vol. 12, No. 2, 2022, hlm. 115–116.
- Sutanto, Hidayat, Peran Kalibrasi dalam Menjamin Keselamatan Penerbangan, Yogyakarta: Jurnal Kedirgantaraan, 2022.
- U.S. Department of Defense. Operational Readiness and Mission Capable Rates Annual Report. Washington DC: DoD, 2021.
- VIM (International Vocabulary of Metrology). JCGM 200:2012 International Vocabulary of Metrology. BIPM, 2012.
- PERATURAN - PERATURAN**
- Peraturan Panglima TNI Nomor 44/IX/2019 tentang Penyelenggaraan Pemeliharaan Alutsista. Jakarta: Mabes TNI, 2019.