



Digitalisasi Technical Order sebagai Strategi Peningkatan Kompetensi Pemeliharaan Pesawat Tempur di TNI Angkatan Udara

Digital Transformation of Technical Orders to Improve Fighter Aircraft Maintenance Performance and Operational Readiness

Bayu Krisdani Budi^{1*}

1Sekolah Staf dan Komando TNI Angkatan Udara

*email penulis koresponden: bayujonga51@gmail.com

Abstrak

Kesiapan operasional pesawat tempur merupakan faktor utama dalam menjaga dominasi udara TNI Angkatan Udara (TNI AU) di tengah kompleksitas ancaman udara kontemporer. Aktivitas pemeliharaan yang efektif menuntut ketepatan, kecepatan, serta kepatuhan terhadap prosedur standar agar setiap pesawat tetap berada dalam kondisi laik operasi. Selama ini, proses pemeliharaan masih bergantung pada Technical Order (TO) berbasis cetak yang memiliki sejumlah keterbatasan, seperti kerentanan terhadap kerusakan fisik, keterlambatan pembaruan informasi, serta rendahnya efisiensi dalam pencarian data teknis. Penelitian ini mengkaji implementasi Technical Order (TO) berbasis digital sebagai strategi untuk meningkatkan kompetensi personel pemeliharaan dalam menghadapi kompleksitas sistem pesawat tempur modern. Dengan pendekatan deskriptif kualitatif melalui studi dokumentasi, studi literatur, dan analisis data kesiapan pesawat di Lanud Iswahjudi periode 2020–2023, hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan TO digital mampu meningkatkan efektivitas kerja teknisi, mempercepat proses troubleshooting, serta meminimalkan potensi kesalahan manusia. Selain itu, TO digital memungkinkan integrasi dengan sistem logistik, pelacakan riwayat pemeliharaan secara sistematis, serta pembaruan prosedur secara waktu nyata (real-time). Temuan ini menegaskan bahwa digitalisasi Technical Order merupakan langkah strategis dalam mendukung kesiapan operasional TNI AU, dengan syarat adanya peningkatan literasi digital personel serta penguatan infrastruktur teknologi pendukung yang aman dan andal.

Kata Kunci: *Technical Order digital; pemeliharaan pesawat tempur; kesiapan operasional; TNI Angkatan Udara; transformasi digital.*

Abstract

Operational readiness of fighter aircraft is a key component in achieving air superiority within the Indonesian Air Force (TNI AU) amid the growing complexity of contemporary air threats. Effective and timely maintenance activities rely heavily on accuracy, speed, and adherence to standardized technical procedures so that every aircraft remains airworthy. Traditionally, maintenance has relied on printed Technical Orders (TO), which present limitations such as



physical vulnerability, slow updating processes, and inefficient information retrieval. This study analyzes the adoption of Digital Technical Orders as a strategy to optimize maintenance personnel capability in managing the complexity of modern fighter aircraft systems. Using a qualitative descriptive approach through documentary study, literature review, and analysis of operational readiness data from Iswahjudi Air Base for the 2020–2023 period, this research shows that digital TO usage significantly enhances technician effectiveness, accelerates troubleshooting, and minimizes human error. Furthermore, digital TO enables integration with logistics systems, systematic maintenance-history tracking, and real-time procedure updates. The findings confirm that TO digitalization represents an essential strategic step in strengthening operational readiness within the Indonesian Air Force, provided it is supported by improved personnel digital literacy and a secure, reliable supporting technology infrastructure.

Keywords: *digital Technical Order; fighter aircraft maintenance; operational readiness; Indonesian Air Force; digital transformation.*

1. Pendahuluan

Kesiapan operasional pesawat tempur menjadi elemen penting dalam pelaksanaan operasi militer, baik operasi perang maupun operasi selain perang, yang dilaksanakan oleh TNI Angkatan Udara. Dalam menghadapi perkembangan ancaman udara yang semakin kompleks, setiap aset tempur harus selalu berada dalam kondisi optimal, sehingga kegiatan pemeliharaan menjadi bagian vital dalam pengelolaan alat utama sistem senjata (alutsista). Kajian mutakhir dari Royal United Services Institute menegaskan bahwa kapabilitas kekuatan udara kompetitor strategis di kawasan terus mengalami pematangan doktrin dan peningkatan kualitas operasional, sehingga tuntutan terhadap kecepatan dan akurasi pemeliharaan alutsista udara nasional menjadi semakin mendesak agar kesenjangan kesiapan tempur tidak melebar (Bronk, 2026).

Pemeliharaan yang berkualitas harus berpedoman pada standar teknis yang jelas, yaitu Technical Order (TO) sebagai acuan utama dalam proses inspeksi, perbaikan, dan pengecekan sistem pesawat. Namun, penggunaan TO dalam bentuk cetak masih memiliki berbagai keterbatasan, seperti sulit diperbarui, rentan rusak akibat kondisi lingkungan hanggar, memerlukan waktu distribusi yang lama, serta

kurang fleksibel dalam penggunaannya di lapangan. Keterbatasan tersebut berpotensi menghambat kecepatan pengambilan keputusan teknis pada saat kondisi darurat operasional, ketika akses informasi yang cepat dan akurat menjadi penentu keberhasilan misi.

Pada pesawat tempur modern seperti F-16, T-50i, dan Su-30, kebutuhan akan akses informasi pemeliharaan yang cepat dan akurat menjadi semakin penting seiring meningkatnya kompleksitas sistem avionik, senjata, dan propulsi yang terpasang. Oleh karena itu, transformasi menuju TO digital menjadi solusi yang relevan karena menyediakan akses informasi secara cepat, pembaruan otomatis, serta integrasi dengan sistem manajemen pemeliharaan dan logistik. Transformasi ini sejalan dengan pandangan filsafat ilmu pertahanan bahwa kekuatan pertahanan suatu bangsa merupakan konstruksi multidimensi yang memadukan dimensi material—dalam hal ini teknologi dan sistem informasi—dengan dimensi manusia sebagai pengelola dan pengguna teknologi tersebut, sehingga keduanya tidak dapat dipisahkan dalam upaya membangun kesiapan operasional yang berkelanjutan (Halkis, 2022).

Tulisan ini menyelidiki bagaimana TO digital dapat mengoptimalkan kemampuan personel pemeliharaan dalam mendukung kesiapan operasional pesawat tempur TNI Angkatan Udara, serta mengidentifikasi kendala, manfaat, dan solusi peningkatan kapasitas personel dalam menghadapi digitalisasi sistem pemeliharaan. Penelitian ini penting dilakukan mengingat digitalisasi dokumen teknis bukan sekadar perubahan format dari cetak menjadi elektronik, melainkan bagian dari transformasi institusional yang lebih luas yang menuntut kesiapan sumber daya manusia, infrastruktur teknologi, dan tata kelola organisasi secara simultan.

Urgensi kajian ini semakin nyata apabila dikaitkan dengan tuntutan operasional TNI AU dalam menjaga kesinambungan kesiapan tempur di tengah keterbatasan



jumlah personel teknisi berpengalaman serta tingginya kompleksitas sistem pesawat generasi baru. Selama ini, transisi menuju sistem dokumentasi digital di berbagai matra militer dunia telah menjadi bagian dari agenda modernisasi angkatan udara secara umum, sejalan dengan tren global yang menunjukkan bahwa efektivitas pemeliharaan alutsista modern tidak lagi cukup ditopang oleh prosedur manual, melainkan memerlukan sistem informasi yang terintegrasi dan responsif terhadap dinamika operasional. Kondisi ini menegaskan bahwa penelitian mengenai digitalisasi TO bukan sekadar kajian teknis administratif, melainkan bagian dari upaya strategis menjaga daya tangkal dan efektivitas tempur TNI AU secara berkelanjutan.

Secara teoretis, penelitian ini diharapkan memperkaya kajian manajemen pemeliharaan alutsista dan transformasi digital di lingkungan militer, khususnya dalam mengintegrasikan perspektif manajemen pemeliharaan, penerimaan teknologi, sistem informasi, dan manajemen perubahan organisasi ke dalam satu kerangka analisis yang koheren. Secara praktis, hasil penelitian diharapkan menjadi masukan bagi TNI AU dalam merumuskan kebijakan digitalisasi Technical Order yang komprehensif, mencakup aspek teknologi, regulasi, tata kelola data, serta pengembangan kompetensi personel pemeliharaan pada seluruh jenjang, mulai dari teknisi lini pertama hingga pengambil kebijakan di tingkat komando pemeliharaan.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Landasan Teori

a. Maintenance Management Theory

Blanchard dan Fabrycky (2011) menjelaskan bahwa pemeliharaan pada hakikatnya bertujuan menjaga suatu sistem tetap berada pada kondisi operasional yang optimal, dengan tiga indikator utama yaitu reliability (keandalan), availability (ketersediaan), dan maintainability (kemudahan pemeliharaan). Ketiga indikator tersebut saling berkaitan: keandalan yang tinggi mengurangi frekuensi kerusakan,



ketersediaan yang tinggi menjamin kesiapan aset saat dibutuhkan, sedangkan kemudahan pemeliharaan menentukan seberapa cepat dan murah suatu sistem dapat dikembalikan ke kondisi operasional setelah mengalami gangguan. Dalam konteks pesawat tempur, ketiga indikator ini sangat dipengaruhi oleh kualitas dan aksesibilitas dokumen teknis yang menjadi acuan kerja teknisi.

b. Technology Acceptance Model (TAM)

Davis (1989) menyatakan bahwa penerimaan suatu teknologi oleh pengguna sangat dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu *perceived usefulness* (persepsi kebermanfaatan) dan *perceived ease of use* (persepsi kemudahan penggunaan). Semakin tinggi persepsi personel terhadap manfaat dan kemudahan penggunaan TO digital, semakin besar pula kemungkinan teknologi tersebut diadopsi secara efektif dalam praktik pemeliharaan sehari-hari. Model ini relevan digunakan untuk menganalisis kesiapan personel pemeliharaan TNI AU dalam menerima transisi dari TO cetak menuju TO digital, termasuk faktor-faktor yang dapat memperlambat maupun mempercepat proses adopsi tersebut.

c. Information Systems Theory

Laudon dan Laudon (2016) menyatakan bahwa suatu sistem informasi terdiri atas tiga komponen utama yang saling terintegrasi, yaitu teknologi, organisasi, dan manusia. Keberhasilan implementasi sistem informasi, termasuk TO digital, tidak dapat dicapai hanya dengan penyediaan perangkat teknologi semata, tetapi juga memerlukan kesesuaian struktur organisasi serta kesiapan sumber daya manusia yang akan mengoperasikannya. Perspektif ini menegaskan bahwa digitalisasi TO harus dipandang sebagai proyek sosioteknis, bukan semata-mata proyek teknis.

d. Transformasi Digital

Kotter (1996) menjelaskan bahwa transformasi organisasi yang berhasil membutuhkan perubahan pada tiga aspek sekaligus, yaitu struktur organisasi,



sumber daya manusia, dan budaya kerja. Sejalan dengan itu, Westerman, Bonnet, dan McAfee (2011) menegaskan bahwa transformasi digital pada organisasi besar memerlukan kepemimpinan yang visioner serta kemampuan mengelola perubahan secara terstruktur agar investasi teknologi dapat memberikan dampak nyata terhadap kinerja organisasi. Kedua perspektif ini memperkuat argumen bahwa keberhasilan digitalisasi TO di lingkungan TNI AU tidak semata bergantung pada kecanggihan perangkat lunak, melainkan juga pada kemampuan organisasi mengelola perubahan budaya kerja teknis pemeliharaan.

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai digitalisasi pemeliharaan pesawat telah berkembang pesat dalam beberapa tahun terakhir. Moenck et al. (2024) mengkaji penerapan digital twin dalam proses produksi dan maintenance, repair, and overhaul (MRO) pesawat terbang, dan menemukan bahwa teknologi tersebut mampu meningkatkan akurasi prediksi kebutuhan pemeliharaan sekaligus mempercepat identifikasi anomali komponen sebelum terjadi kegagalan fungsi. Studi ini menekankan bahwa tantangan utama penerapan digital twin bukan pada aspek teknis semata, melainkan pada integrasi data lintas sistem dan kesiapan organisasi menerima perubahan alur kerja.

Ahmed (2025) melakukan kajian terhadap penerapan predictive maintenance berbasis kecerdasan buatan pada sistem pesawat generasi terbaru, dan menemukan bahwa penggunaan algoritma pembelajaran mesin mampu meningkatkan akurasi deteksi kerusakan komponen hingga di atas 94 persen serta menurunkan jumlah insiden pemeliharaan tidak terjadwal secara signifikan. Temuan tersebut menegaskan bahwa transformasi digital dalam pemeliharaan pesawat, termasuk digitalisasi dokumen teknis, memberikan kontribusi nyata terhadap efisiensi biaya dan peningkatan waktu operasional pesawat (aircraft on-ground time yang lebih rendah).

Karaoğlu, Mbah, dan Zeeshan (2022) mengulas penerapan pembelajaran mesin dalam pemeliharaan pesawat dan menyimpulkan bahwa keberhasilan penerapan



teknologi digital dalam pemeliharaan sangat bergantung pada kualitas data historis pemeliharaan serta kompetensi personel dalam menginterpretasikan hasil analitik. Studi tersebut relevan dengan konteks penelitian ini, karena menegaskan bahwa digitalisasi TO tanpa disertai penguatan kompetensi personel berisiko tidak memberikan dampak optimal terhadap kesiapan operasional.

Secara lebih luas, laporan transformasi kekuatan udara sekutu Barat menunjukkan bahwa keunggulan operasional generasi berikutnya semakin ditentukan oleh kemampuan organisasi mengintegrasikan sistem yang telah ada dengan kapabilitas digital dan otonom, serta oleh transformasi metodologi kerja dan pelatihan personel yang membangun kapasitas adaptif dalam menghadapi kompleksitas operasi (Laird, 2026). Perspektif ini memperkuat argumen bahwa digitalisasi TO bukan semata proyek teknologi informasi, melainkan bagian dari transformasi institusional yang lebih luas dalam membangun kesiapan kekuatan udara.

Berdasarkan sintesis berbagai penelitian terdahulu tersebut, dapat disimpulkan bahwa teknologi digital seperti digital twin, predictive maintenance berbasis kecerdasan buatan, dan dokumen teknis digital mampu meningkatkan efisiensi pemeliharaan, mengurangi downtime, dan meningkatkan akurasi pengambilan keputusan teknis. Namun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih terbatas pada konteks penerbangan sipil maupun militer negara lain, sehingga kajian mengenai penerapan TO digital secara spesifik dalam konteks TNI AU, termasuk kendala implementasi dan strategi peningkatan kapasitas personelnnya, masih menjadi celah penelitian yang perlu diisi.

3. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dengan teknik pengumpulan data melalui studi dokumentasi, studi literatur, serta analisis data kesiapan operasional pesawat tempur. Data yang digunakan mencakup dokumen



teknis, peraturan pemeliharaan TNI AU seperti Petunjuk Teknik Udara Nomor 80 dan Nomor 132, serta data kesiapan pesawat di Lanud Iswahjudi periode 2020–2023 (TNI AU, 2023). Pemilihan periode tersebut didasarkan pada pertimbangan ketersediaan data yang representatif untuk menggambarkan tren kesiapan operasional sebelum dan selama proses transisi menuju sistem pemeliharaan yang lebih modern.

Pendekatan deskriptif kualitatif dipilih karena penelitian ini bertujuan untuk memahami kondisi aktual di lingkungan pemeliharaan pesawat tempur secara mendalam, bukan untuk menguji hubungan sebab-akibat secara statistik. Melalui pendekatan ini, peneliti dapat mengeksplorasi bagaimana permasalahan TO konvensional dialami secara langsung oleh personel pemeliharaan di lapangan, serta bagaimana penerapan TO digital berpotensi mengatasi permasalahan tersebut.

Analisis data dilakukan melalui tiga tahapan utama. Tahap pertama adalah identifikasi permasalahan penggunaan TO konvensional berdasarkan dokumen evaluasi dan data kesiapan pesawat. Tahap kedua adalah pemetaan manfaat potensial TO digital berdasarkan kajian literatur mengenai transformasi digital dalam pemeliharaan pesawat, baik pada konteks militer maupun sipil. Tahap ketiga adalah perumusan solusi peningkatan kemampuan personel pemeliharaan berdasarkan sintesis antara kerangka teoretis (Maintenance Management Theory, Technology Acceptance Model, Information Systems Theory, dan teori transformasi digital) dengan kondisi empiris di lapangan.

Untuk menjaga kredibilitas hasil penelitian, dilakukan triangulasi sumber melalui perbandingan antara dokumen resmi TNI AU, kajian akademik internasional mengenai digitalisasi pemeliharaan pesawat, serta data kesiapan operasional aktual. Triangulasi ini bertujuan memastikan bahwa rekomendasi yang dihasilkan bersifat kontekstual dan dapat diterapkan secara realistis di lingkungan TNI AU.

4. Hasil dan Diskusi

4.1 Permasalahan Penggunaan Technical Order (TO) Konvensional

Analisis terhadap penggunaan TO konvensional di lingkungan pemeliharaan pesawat tempur TNI AU menunjukkan beberapa permasalahan utama yang secara konsisten memengaruhi efektivitas kerja teknisi dan, pada gilirannya, kesiapan operasional pesawat.

a. Akses informasi yang lambat

TO cetak membutuhkan waktu signifikan untuk menemukan instruksi tertentu, terutama pada pesawat dengan ribuan halaman manual teknis yang tersebar dalam berbagai volume dan seri dokumen. Kondisi darurat di flight line menuntut akses cepat terhadap prosedur troubleshooting yang tidak dapat disediakan oleh TO fisik, sehingga teknisi kerap harus menghabiskan waktu berharga untuk mencari referensi yang tepat di tengah tekanan waktu operasional.

b. Kerentanan kerusakan dan sulit diperbarui

Kelembaban hanggar, kontaminasi oli, dan kerusakan fisik dokumen sering menyebabkan informasi tidak dapat dibaca dengan jelas, bahkan hilang sama sekali pada bagian-bagian kritis. Selain itu, pembaruan TO cetak memerlukan proses pencetakan ulang dan distribusi fisik yang memakan waktu, sehingga unit pemeliharaan berisiko menggunakan prosedur yang telah usang.

c. Potensi kesalahan interpretasi lebih tinggi

Kurangnya visualisasi interaktif pada TO cetak membuat teknisi mengandalkan interpretasi manual terhadap instruksi tertulis maupun diagram statis. Risiko human error meningkat, terutama pada teknisi muda yang belum memiliki pengalaman lapangan yang memadai untuk memahami konteks instruksi secara tepat tanpa bimbingan visual tambahan.

d. Keterlambatan dalam distribusi pembaruan

Perubahan prosedur pemeliharaan, baik akibat temuan teknis baru maupun modifikasi desain pesawat, sering terlambat diterima oleh unit pemeliharaan di lapangan. Hal ini berpotensi menyebabkan penggunaan data yang sudah tidak relevan, yang pada gilirannya dapat menimbulkan risiko keselamatan penerbangan.

e. Belum terintegrasi dengan sistem logistik

TO konvensional tidak mendukung pengecekan suku cadang secara real-time maupun pelacakan riwayat pemeliharaan yang merupakan bagian dari sistem logistik pemeliharaan alutsista. Akibatnya, proses perbaikan sering tertunda karena ketidakpastian ketersediaan komponen pengganti, sementara riwayat pemeliharaan pesawat tersimpan secara terpisah dari dokumen prosedur teknis itu sendiri.

Kondisi-kondisi tersebut menunjukkan perlunya digitalisasi TO sebagai bagian integral dari modernisasi pemeliharaan alutsista TNI AU. Sejalan dengan pandangan Information Systems Theory (Laudon & Laudon, 2016), permasalahan-permasalahan tersebut pada dasarnya bersumber dari kesenjangan integrasi antara teknologi, organisasi, dan manusia dalam sistem pemeliharaan yang berlaku saat ini. Data kesiapan pesawat di Lanud Iswahjudi periode 2020–2023 turut mengindikasikan bahwa sebagian penundaan pemeliharaan (maintenance delay) berkorelasi dengan waktu pencarian referensi teknis dan proses verifikasi ketersediaan suku cadang, dua hal yang secara langsung berkaitan dengan keterbatasan struktural TO cetak sebagaimana diuraikan di atas (TNI AU, 2023).

4.2 Manfaat Penggunaan Technical Order (TO) Digital

Berdasarkan kajian literatur dan analisis kondisi lapangan, penerapan TO digital menawarkan sejumlah manfaat signifikan yang secara langsung menjawab permasalahan TO konvensional yang telah diuraikan sebelumnya.

a. Akses informasi cepat dan real-time



Personel dapat mengakses instruksi pemeliharaan melalui tablet atau komputer, dengan fitur pencarian cepat serta hyperlink antarbagian manual yang memungkinkan teknisi menemukan prosedur spesifik dalam hitungan detik, bukan menit maupun jam sebagaimana pada TO cetak.

b. Pembaruan secara otomatis

Setiap pembaruan prosedur dapat diunduh secara terpusat tanpa perlu mencetak ulang dokumen fisik. Hal ini meningkatkan kepatuhan terhadap standar terbaru dan memastikan seluruh unit pemeliharaan bekerja berdasarkan versi prosedur yang sama pada waktu yang sama, sejalan dengan temuan Moenck et al. (2024) mengenai pentingnya sinkronisasi data lintas sistem dalam MRO modern.

c. Dukungan troubleshooting berbasis visual dan sistem interaktif

TO digital dapat dilengkapi diagram interaktif, video instruksi, hingga integrasi fault isolation system (FIS) yang memandu teknisi secara bertahap dalam proses diagnosis kerusakan. Pendekatan berbasis visual ini konsisten dengan temuan penelitian predictive maintenance berbasis kecerdasan buatan yang menunjukkan peningkatan akurasi deteksi kerusakan komponen secara signifikan ketika didukung oleh sistem analitik yang terintegrasi (Ahmed, 2025).

d. Integrasi dengan sistem logistik

Teknisi dapat memeriksa ketersediaan suku cadang secara langsung melalui integrasi TO digital dengan sistem manajemen logistik, sehingga mengurangi waktu tunggu perbaikan dan meningkatkan efisiensi perencanaan pengadaan komponen pemeliharaan.

e. Ketelitian meningkat dan potensi kesalahan menurun

Visualisasi langkah kerja menjadi lebih jelas, langsung, dan minim interpretasi, sehingga menurunkan risiko human error, khususnya bagi teknisi dengan pengalaman lapangan yang masih terbatas. Manfaat ini sejalan dengan prinsip



Technology Acceptance Model (Davis, 1989), di mana persepsi kemudahan penggunaan yang tinggi mendorong penerimaan teknologi secara lebih luas oleh personel pemeliharaan.

Secara keseluruhan, manfaat-manfaat tersebut menegaskan bahwa TO digital bukan sekadar alat bantu administratif, melainkan instrumen strategis yang dapat meningkatkan reliability, availability, dan maintainability sebagaimana dikemukakan dalam Maintenance Management Theory (Blanchard & Fabrycky, 2011). Lebih jauh, sebagaimana ditegaskan dalam kajian transformasi kekuatan udara kontemporer, keunggulan operasional suatu kekuatan udara semakin ditentukan oleh kemampuan organisasi mengintegrasikan sistem digital dengan kapasitas kognitif dan adaptif personelnnya, bukan semata oleh kecanggihan platform (Laird, 2026). Prinsip ini relevan diterapkan pada konteks pemeliharaan TNI AU, di mana digitalisasi TO perlu diikuti oleh penguatan kapasitas berpikir teknis personel, bukan hanya penggantian format dokumen.

4.3 Solusi Peningkatan Kemampuan Personel Pemeliharaan

Mengingat keberhasilan digitalisasi TO sangat bergantung pada kesiapan personel dalam mengadopsi teknologi baru, penelitian ini merumuskan sejumlah solusi strategis untuk meningkatkan kemampuan personel pemeliharaan dalam menghadapi transformasi tersebut.

a. Pelatihan literasi digital

Teknisi perlu dibekali pelatihan terstruktur mengenai navigasi TO digital, teknik pencarian data, serta interaksi dengan sistem manajemen pemeliharaan. Pelatihan ini penting untuk meningkatkan perceived ease of use sebagaimana disyaratkan oleh Technology Acceptance Model, karena tanpa kemampuan dasar mengoperasikan perangkat digital, manfaat TO digital tidak akan dirasakan secara optimal oleh pengguna di lapangan (Davis, 1989).



b. Penerapan sistem mentoring berbasis senior–junior

Teknisi senior dapat berperan sebagai mentor dalam penggunaan TO digital bagi teknisi baru, sehingga transfer pengetahuan dan pengalaman praktis berjalan konsisten. Pendekatan ini juga membantu menjembatani kesenjangan generasi dalam adopsi teknologi, mengingat teknisi senior umumnya memiliki pemahaman prosedural yang mendalam meskipun mungkin memerlukan waktu adaptasi lebih lama terhadap perangkat digital dibandingkan teknisi muda.

c. Penguatan infrastruktur teknologi dan keamanan sistem

Diperlukan jaringan yang aman, perangkat tablet militer yang tahan banting (ruggedized), serta server internal TO yang terlindungi dari ancaman siber. Aspek keamanan siber menjadi krusial mengingat data teknis pemeliharaan alutsista bersifat sensitif dan strategis, sehingga infrastruktur pendukung TO digital harus dirancang dengan standar keamanan setingkat militer.

d. Standardisasi SOP baru sesuai sistem digital

Implementasi TO digital harus dikaitkan dengan pembaruan prosedur kerja, audit pemeliharaan, dan pelaporan digital agar seluruh rantai proses pemeliharaan—mulai dari inspeksi, perbaikan, hingga pelaporan—terintegrasi dalam satu ekosistem digital yang konsisten dan dapat diaudit.

e. Simulasi pemeliharaan berbasis teknologi digital

Simulasi teknis menggunakan TO digital dapat meningkatkan akurasi troubleshooting personel dalam kondisi mendekati nyata sebelum diterapkan pada pesawat sesungguhnya, sekaligus mengurangi risiko kesalahan pada saat penanganan pesawat operasional. Pendekatan simulasi berbasis digital twin, sebagaimana dikaji oleh Moenck et al. (2024), menunjukkan potensi besar dalam konteks ini karena memungkinkan personel berlatih mendiagnosis anomali komponen secara virtual sebelum terjun langsung ke lapangan.



Kelima solusi tersebut saling melengkapi dan perlu diterapkan secara simultan, bukan secara terpisah. Sebagaimana ditegaskan oleh Kotter (1996) dan Westerman et al. (2011), transformasi digital yang berhasil menuntut perubahan pada struktur organisasi, kompetensi sumber daya manusia, dan budaya kerja secara bersamaan. Digitalisasi TO tanpa disertai penguatan literasi digital personel dan infrastruktur pendukung berisiko menjadi investasi teknologi yang tidak memberikan dampak signifikan terhadap kesiapan operasional, sebagaimana diperingatkan oleh Karaoğlu et al. (2022) dalam konteks penerapan pembelajaran mesin pada pemeliharaan pesawat.

Selain kelima solusi teknis dan organisasional tersebut, aspek regulasi juga memerlukan perhatian khusus. Kerangka hukum yang mendasari pengelolaan alutsista, sebagaimana diatur dalam Undang-Undang Nomor 3 Tahun 2004 tentang Pertahanan Negara, perlu diterjemahkan ke dalam petunjuk teknis yang secara eksplisit mengakomodasi status hukum dokumen digital sebagai acuan resmi pemeliharaan, setara dengan TO cetak yang selama ini berlaku. Tanpa kejelasan status hukum tersebut, personel pemeliharaan berpotensi ragu dalam menjadikan TO digital sebagai rujukan utama pada saat terjadi perbedaan interpretasi maupun proses audit teknis, sehingga manfaat digitalisasi tidak dapat dirasakan secara penuh.

5. Kesimpulan

Digitalisasi Technical Order (TO) merupakan strategi penting dalam meningkatkan efektivitas pemeliharaan pesawat tempur TNI AU. Sistem ini mampu meningkatkan kecepatan akses informasi, ketepatan prosedur, serta integrasi data pemeliharaan secara real-time, sekaligus mengatasi berbagai keterbatasan struktural yang melekat pada TO berbasis cetak, mulai dari kerentanan fisik dokumen hingga keterlambatan distribusi pembaruan prosedur.

Namun demikian, keberhasilan implementasinya sangat bergantung pada kesiapan sumber daya manusia, infrastruktur teknologi, serta manajemen perubahan



organisasi. Sejalan dengan kerangka Technology Acceptance Model, Information Systems Theory, dan teori transformasi digital yang digunakan dalam penelitian ini, penguatan kompetensi digital personel dan sistem pendukung menjadi faktor kunci dalam mendukung transformasi tersebut, bukan sekadar penggantian format dokumen dari cetak menjadi elektronik.

Penelitian ini juga menegaskan bahwa digitalisasi TO perlu dipandang sebagai bagian dari transformasi institusional TNI AU yang lebih luas, sejalan dengan tren global transformasi kekuatan udara yang semakin menekankan integrasi antara kapabilitas teknologi digital dengan penguatan kapasitas kognitif dan adaptif personel. Oleh karena itu, direkomendasikan agar TNI AU merumuskan roadmap digitalisasi TO secara bertahap, mencakup pelatihan literasi digital, penguatan infrastruktur siber, standardisasi SOP baru, serta evaluasi berkelanjutan terhadap dampaknya pada kesiapan operasional pesawat tempur.

Implikasi kebijakan dari temuan ini mencakup tiga hal utama. Pertama, TNI AU perlu menetapkan prioritas skadron udara yang akan menjadi lokasi percontohan (pilot project) digitalisasi TO, dengan mempertimbangkan kompleksitas jenis pesawat dan kesiapan infrastruktur teknologi yang sudah tersedia. Kedua, penguatan kompetensi digital personel pemeliharaan perlu dimasukkan ke dalam kurikulum pendidikan dan pelatihan teknisi secara berkelanjutan, bukan hanya sebagai program pelatihan tambahan yang bersifat insidental. Ketiga, aspek keamanan siber harus menjadi pertimbangan utama sejak tahap perancangan sistem, mengingat data teknis pemeliharaan alutsista bersifat strategis dan rentan terhadap ancaman gangguan maupun kebocoran informasi. Penelitian lanjutan dapat difokuskan pada evaluasi kuantitatif dampak TO digital terhadap indikator kesiapan operasional secara spesifik di berbagai skadron udara TNI AU, termasuk analisis biaya-manfaat implementasi dalam jangka menengah dan panjang.



Daftar Pustaka

- Ahmed, E. N. (2025). Artificial intelligence–driven predictive maintenance for next-generation aircraft systems. *Academic International Journal of Engineering Science*, 3(1), 46–63. <https://doi.org/10.59675/E315>
- Blanchard, B. S., & Fabrycky, W. J. (2011). *Systems engineering and analysis* (5th ed.). Prentice Hall.
- Bronk, J. (2026, January). The evolution of Russian and Chinese air power threats. Royal United Services Institute. <https://www.rusi.org/explore-our-research/publications/insights-papers/evolution-russian-and-chinese-air-power-threats>
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319–340. <https://doi.org/10.2307/249008>
- Halkis, M. (2022). *Filsafat ilmu pertahanan: Suatu pengantar [Philosophy of science on defense: An introduction]*. Unhan Press.
- Karaoğlu, U., Mbah, O., & Zeeshan, Q. (2022). Applications of machine learning in aircraft maintenance. *Journal of Engineering Management and Systems Engineering*, 2(1), 76–95. <https://doi.org/10.56578/jemse020105>
- Kotter, J. P. (1996). *Leading change*. Harvard Business School Press.
- Laird, R. (2026, February 10). Shaping the future of airpower: Integration, innovation, and institutional transformation. *Defense.info*. <https://defense.info/air-power-dynamics/2026/02/shaping-the-future-of-airpower-integration-innovation-and-institutional-transformation/>
- Laudon, K. C., & Laudon, J. P. (2016). *Management information systems: Managing the digital firm* (14th ed.). Pearson.



- Moenck, K., Rath, J. E., Koch, J., Wendt, A., Kalscheuer, F., Schüppstuhl, T., & Schoepflin, D. (2024). Digital twins in aircraft production and MRO: Challenges and opportunities. *CEAS Aeronautical Journal*, 1–17. <https://doi.org/10.1007/s13272-024-00740-y>
- Tentara Nasional Indonesia Angkatan Udara. (2021). Petunjuk teknik udara nomor 80 tentang buku sistem inspeksi pesawat terbang. TNI AU.
- Tentara Nasional Indonesia Angkatan Udara. (2022). Petunjuk teknik udara nomor 132 tentang buku pedoman perencanaan pemeliharaan alutsista (BP3A) TNI Angkatan Udara. TNI AU.
- TNI AU. (2023). Laporan evaluasi program kerja bidang logistik Skadron Udara 3 dan 15 TA 2020–2023. TNI AU.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 3 Tahun 2004 tentang Pertahanan Negara.
- Westerman, G., Bonnet, D., & McAfee, A. (2011). Digital transformation: A roadmap for billion-dollar organizations. MIT Center for Digital Business and Capgemini Consulting.



Tentang Penulis

Penulis memiliki nama lengkap Bayu Krisdani Budi, S.E., lahir di Madiun pada 4 Mei 1986 dan merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDN Kartoharjo 06 Madiun dan lulus pada tahun 1998, kemudian melanjutkan pendidikan di SMPN 1 Madiun hingga tahun 2001. Pendidikan menengah atas diselesaikan di SMAN 2 Madiun pada tahun 2004, dan pendidikan sarjana ditempuh di Universitas Tanjungpura Pontianak yang diselesaikan pada tahun 2017.

Pendidikan militer penulis diawali di Akademi Angkatan Udara (AAU) Yogyakarta dan berhasil lulus pada tahun 2008. Selanjutnya, penulis mengikuti pendidikan dasar kecabangan di Skadik 301 Wingdiktekkal dan menyelesaikannya pada tahun 2009, kemudian melanjutkan pendidikan pengembangan umum lanjutan di Sekkau Angkatan 104 yang diselesaikan pada tahun 2018.

Selain pendidikan formal, penulis juga mengikuti beberapa pendidikan dan kursus militer, di antaranya Suspa Enghar pada tahun 2014, Suspa Pengadaan Barang dan Jasa pada tahun 2017, serta Suspa Inspektur Kelaikan Udara pada tahun 2019. Riwayat pendidikan dan pelatihan tersebut disusun secara benar dan dapat dipertanggungjawabkan, serta diharapkan dapat menjadi referensi dan bahan pertimbangan dalam pengambilan kebijakan di lingkungan terkait.