



Inovasi dan Rekayasa Engineering dalam Penguatan Kapabilitas Pembinaan Materiel TNI Angkatan Udara: Studi Kasus di Koharmatau

*Engineering Innovation for Strengthening Air Force Materiel Sustainment Capability:
Evidence from the Indonesian Air Force Materiel Maintenance Command*

Joko Susanto^{1*},

* joko532374@gmail.com :

Abstrak. Kemandirian pemeliharaan alat utama sistem senjata (alutsista) merupakan prasyarat utama kesiapan operasional TNI Angkatan Udara. Namun, keterbatasan anggaran, ketergantungan terhadap vendor, dan terbatasnya peralatan pendukung pemeliharaan menjadi tantangan pembinaan materiel di Koharmatau. Penelitian ini menganalisis peran inovasi dan rekayasa engineering dalam meningkatkan kapabilitas pembinaan materiel melalui pendekatan kualitatif deskriptif studi kasus pada Koharmatau, dengan data dari dokumen inovasi sembilan Depohar selama 2004–2023. Hasil penelitian menunjukkan Koharmatau berhasil mengembangkan 103 produk inovasi – reproduksi, substitusi, modifikasi, *reverse engineering*, dan penciptaan produk baru – yang secara konsisten menghasilkan efisiensi anggaran signifikan dibandingkan pengadaan konvensional, sekaligus meningkatkan kemampuan teknis personel, kapasitas fasilitas pemeliharaan, dan kemandirian pemeliharaan alutsista. Penelitian ini menyimpulkan bahwa inovasi dan rekayasa engineering merupakan strategi efektif memperkuat kapabilitas pembinaan materiel TNI AU, dengan implikasi perlunya penguatan tata kelola inovasi dan kolaborasi dengan industri pertahanan serta perguruan tinggi.

Kata kunci: inovasi engineering, reverse engineering, pembinaan materiel, pemeliharaan alutsista, efisiensi anggaran, Koharmatau.



Abstract. Maintenance independence of defense equipment is a fundamental prerequisite for the operational readiness of the Indonesian Air Force (TNI AU). Limited budgets, vendor dependence, and inadequate support equipment remain major challenges at the Air Force Materiel Maintenance Command (Koharmatau). This study analyzes the role of engineering innovation in strengthening materiel development capability through a qualitative case-study approach, drawing on innovation documentation from nine Air Force Maintenance Depots (Depohar) during 2004–2023. Findings reveal that Koharmatau developed 103 innovative products through reproduction, substitution, modification, reverse engineering, and original product development, consistently generating substantial cost savings relative to conventional procurement while strengthening technical capabilities, maintenance capacity, and maintenance independence. The study concludes that engineering innovation is an effective strategy for strengthening materiel development capability, with implications for innovation governance and collaboration with the defense industry and academia.

Keywords: *engineering innovation; reverse engineering; materiel development; defense equipment maintenance; budget efficiency; Indonesian Air Force.*

1. Pendahuluan

Perkembangan lingkungan strategis global telah meningkatkan kompleksitas ancaman terhadap keamanan nasional sehingga menuntut setiap negara memiliki kemampuan pertahanan yang adaptif dan berkelanjutan. Kesiapan operasional alat utama sistem senjata (alutsista) dipengaruhi bukan hanya oleh modernisasi, tetapi juga kemampuan organisasi menyelenggarakan pemeliharaan secara efektif dan berkelanjutan (Bitzinger, 2021, p. 41). Penguatan kapabilitas pembinaan materiel TNI Angkatan Udara merupakan bagian dari kebijakan pembangunan kekuatan pertahanan nasional yang menekankan kemandirian industri pertahanan, sebagaimana diamanatkan Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2012. Dalam kerangka tersebut, Komando Pemeliharaan Materiel TNI Angkatan Udara (Koharmatau) berperan sebagai pembina fungsi pemeliharaan materiel yang menjamin keberlangsungan dukungan teknis dan logistik bagi kesiapan operasional satuan pengguna.

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, Koharmatau mengembangkan inovasi dan rekayasa engineering melalui reproduksi, substitusi, modifikasi, *reverse engineering*, dan



penciptaan produk baru. Pendekatan ini tidak hanya menghasilkan produk pengganti yang memenuhi persyaratan teknis, tetapi juga meningkatkan kemampuan organisasi mengembangkan solusi teknologi secara mandiri. Menurut Tidd dan Bessant (2021, p. 25), inovasi adalah kemampuan organisasi menciptakan nilai melalui penerapan ide, proses, maupun teknologi baru yang meningkatkan kinerja secara berkelanjutan. Dalam organisasi militer, inovasi engineering menjadi instrumen penting memperkuat kemampuan pemeliharaan sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap pihak eksternal.

Implementasi inovasi dan rekayasa engineering di lingkungan Koharmatau menunjukkan hasil yang signifikan. Selama periode 2004–2023, sembilan Depohar berhasil menghasilkan 103 produk inovasi yang memberikan efisiensi biaya secara konsisten dibandingkan mekanisme pengadaan melalui vendor. Selain efisiensi tersebut, inovasi meningkatkan kemampuan teknis personel, memperkuat kapasitas fasilitas pemeliharaan, mempercepat proses perbaikan alutsista, serta mendukung peningkatan kesiapan operasional TNI AU.

Secara teoritis, *Resource-Based View* menjelaskan bahwa keunggulan organisasi diperoleh melalui kemampuan memanfaatkan sumber daya internal yang bernilai, langka, sulit ditiru, dan tidak mudah digantikan (Barney, 1991). Teece (2007) melalui *Dynamic Capability* menjelaskan bahwa organisasi harus memiliki kemampuan *sensing*, *seizing*, dan *transforming* agar mampu beradaptasi terhadap perubahan lingkungan yang dinamis. Kemampuan tersebut hanya menghasilkan nilai apabila sumber daya benar-benar distrukturkan, dibundel, dan diungkit secara aktif oleh manajemen — gagasan inti *Resource Orchestration Theory* (Sirmon, Hitt, & Ireland, 2007). Dalam organisasi pemeliharaan militer, ketiga kerangka ini diwujudkan melalui inovasi engineering yang menghasilkan solusi teknis secara mandiri sehingga meningkatkan kapabilitas pembinaan materiel.

Meskipun berbagai penelitian membahas inovasi pada industri pertahanan, sebagian besar masih berfokus pada pengembangan teknologi persenjataan dan modernisasi sistem senjata (Markowski et al., 2022), sementara kajian yang secara khusus menganalisis kontribusi inovasi dan rekayasa engineering terhadap kapabilitas pembinaan materiel pada



organisasi pemeliharaan masih terbatas. Penelitian ini bertujuan menganalisis peran inovasi dan rekayasa engineering dalam memperkuat kapabilitas pembinaan materiel di Koharmatau, sekaligus mengembangkan model konseptual yang menjelaskan mekanisme transformasi sumber daya organisasi menjadi kapabilitas operasional – memberikan kontribusi empiris dan teoretis pada level organisasi pemeliharaan operasional TNI Angkatan Udara.

2. Tinjauan Pustaka

Kekuatan udara tidak lagi hanya diukur berdasarkan jumlah alutsista yang dimiliki, tetapi juga kemampuan organisasi mempertahankan *operational readiness* melalui sistem pemeliharaan yang efektif, efisien, dan berkelanjutan. Dalam perspektif ini, konsep *air force sustainment* menempatkan pemeliharaan, logistik, teknologi, dan sumber daya manusia sebagai satu kesatuan sistem penentu keberhasilan operasi udara, sehingga inovasi dan rekayasa *engineering* menjadi strategi penting menghadapi keterbatasan anggaran, ketergantungan terhadap *Original Equipment Manufacturer* (OEM), dan kompleksitas teknologi alutsista (Silva et al., 2023).

Secara teoritis, penelitian ini menggunakan *Resource-Based View* (RBV) sebagai *grand theory*. Barney (1991) menjelaskan bahwa keunggulan organisasi diperoleh melalui kemampuan mengelola sumber daya yang bersifat *valuable, rare, inimitable, dan non-substitutable* (VRIN), baik berupa aset fisik maupun pengetahuan, kompetensi personel, budaya organisasi, dan kemampuan inovasi. Helfat et al. (2023) menegaskan bahwa pembaruan RBV pada era modern menempatkan kemampuan pembelajaran organisasi dan pengembangan kapabilitas sebagai fondasi keunggulan kompetitif yang berkelanjutan, sehingga dalam organisasi pertahanan, kompetensi teknisi, fasilitas pemeliharaan, dan kemampuan rekayasa engineering merupakan sumber daya strategis yang harus dioptimalkan.

Sebagai pengembangan dari RBV, penelitian ini menggunakan *Dynamic Capability Theory* sebagai *middle theory*. Teece (2007) menjelaskan bahwa organisasi harus memiliki



kemampuan *sensing*, *seizing*, dan *transforming* terhadap sumber daya agar mampu beradaptasi terhadap perubahan lingkungan strategis. Namun, kepemilikan sumber daya dan kapabilitas dinamis belum tentu menghasilkan nilai apabila tidak dikelola secara aktif oleh manajemen. Sirmon, Hitt, dan Ireland (2007) melalui *Resource Orchestration Theory* menjelaskan bahwa penciptaan nilai memerlukan proses menstrukturkan portofolio sumber daya, membundelnya menjadi kapabilitas, dan mengunggulkannya dalam strategi organisasi. Ketiga kerangka saling melengkapi: RBV menjelaskan sumber daya strategis yang dimiliki Koharmatau, *Dynamic Capability* menjelaskan cara organisasi beradaptasi, dan *Resource Orchestration* menjelaskan bagaimana sumber daya tersebut aktif diorkestrasi melalui reproduksi, modifikasi, substitusi, dan *reverse engineering* menjadi solusi pemeliharaan yang nyata (Swastanto, 2022).

Penelitian ini juga menggunakan konsep *Engineering Innovation*, *Military Logistics*, dan *Air Force Sustainment* sebagai teori operasional. Tidd dan Bessant (2021) menjelaskan bahwa dalam organisasi militer, inovasi tidak selalu berupa teknologi baru, tetapi juga metode kerja, reproduksi komponen, substitusi material, modifikasi sistem, dan *reverse engineering* yang meningkatkan efektivitas pemeliharaan alutsista. Kajian terbaru menunjukkan bahwa resiliensi logistik dan kemampuan inovasi merupakan faktor utama efektivitas sistem logistik pertahanan (Dewi et al., 2024), sementara *air force sustainment* menempatkan sistem pemeliharaan sebagai faktor utama *availability rate* dan *mission capable rate*, sehingga inovasi *engineering* menjadi instrumen strategis keberlangsungan kemampuan tempur angkatan udara.

Helfat et al. (2023) menunjukkan bahwa organisasi modern harus mengintegrasikan sumber daya, inovasi, dan pembelajaran organisasi untuk membangun keunggulan kompetitif berkelanjutan. Silva et al. (2023) mengembangkan instrumen *Dynamic Capabilities in Defense* melalui studi pada industri pertahanan Brasil dan menemukan bahwa kapabilitas dinamis berkontribusi terhadap inovasi organisasi pertahanan. Kajian *obsolescence management* terbaru — tinjauan sistematis tiga dekade oleh Liu dan Zolghadri (2026) — menegaskan bahwa reproduksi, substitusi, dan *reverse engineering* merupakan respons adaptif organisasi

terhadap hilangnya dukungan pemasok asli, sejalan dengan temuan penelitian ini. Ringkasan penelitian terdahulu beserta kesenjangannya disajikan pada Tabel 2.1.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini mengintegrasikan RBV, *Dynamic Capability*, dan *Resource Orchestration Theory* untuk menjelaskan bagaimana Koharmatau mentransformasikan sumber daya internal menjadi kapabilitas pembinaan materiel melalui inovasi dan rekayasa *engineering*. Ringkasan penelitian terdahulu beserta kesenjangannya disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No	Peneliti (Tahun)	Metode	Hasil Penelitian	Research Gap terhadap Penelitian Ini
1	Helfat et al. (2023)	Conceptual review	RBV berkembang dengan mengintegrasikan innovation, organizational learning, dan capability development sebagai sumber keunggulan kompetitif organisasi. (Wiley Online Library)	Belum mengkaji implementasi RBV pada organisasi pemeliharaan alutsista militer.
2	Wibisono and Supoyo (2023)	Literature Review	Dynamic capability dan inovasi teknologi meningkatkan daya saing organisasi melalui optimalisasi sumber daya internal.	Penelitian dilakukan pada organisasi bisnis, bukan organisasi pertahanan.
3	Berger et al. (2025)	Simulation Model	Ketahanan rantai pasok dapat ditingkatkan melalui fleksibilitas, agility, dan adaptive logistics berdasarkan pengalaman United States Air Force. (Springer)	Fokus pada supply chain resilience, belum membahas inovasi engineering pada pemeliharaan alutsista.
4	Hellberg (2025)	Qualitative Review	Hambatan utama industri pertahanan terletak pada supply chain, industrial capability, dan delivery performance. (Taylor & Francis Online)	Tidak membahas kapabilitas organisasi pemeliharaan di tingkat operasional.

No	Peneliti (Tahun)	Metode	Hasil Penelitian	Research Gap terhadap Penelitian Ini
5	Military Supply Chain Logistics and Dynamic Capabilities (2025)	Systematic Literature Review	Dynamic capabilities meningkatkan agility, responsiveness, resilience, dan efektivitas military supply chain. (Wiley Online Library)	Belum menghubungkan military logistics dengan engineering innovation pada depot pemeliharaan.
6	Air Force Sustainment Center (2025)	Strategic Framework	Sustainment memerlukan budaya inovasi, agile sustainment, digital maintenance, dan readiness sebagai prioritas organisasi. (AFSC)	Merupakan dokumen kebijakan, belum diuji secara empiris pada organisasi pemeliharaan.
7	Dewi et al. (2024)	Quantitative (SEM)	Integrasi supply chain, agility, dan resilience meningkatkan organizational performance.	Penelitian dilakukan pada sektor industri manufaktur, bukan organisasi militer.
8	Silva et al. (2023)	Case Study	Dynamic capabilities berkontribusi terhadap inovasi organisasi pada industri pertahanan.	Fokus pada industri pertahanan, belum pada organisasi pemeliharaan TNI.
9	Tidd & Bessant (2021)	Conceptual	Engineering innovation meningkatkan nilai tambah organisasi melalui inovasi produk, proses, dan metode kerja.	Belum mengaitkan inovasi engineering dengan pembinaan materiel TNI AU.
10	Barney (1991); Teece (2007)	Conceptual Theory	RBV menjelaskan keunggulan berbasis sumber daya, sedangkan Dynamic Capability menjelaskan kemampuan organisasi beradaptasi terhadap perubahan.	Belum diaplikasikan pada konteks inovasi engineering dan kapabilitas pembinaan materiel di Koharmatau.

Sumber: Diolah penulis berdasarkan Helfat et al. (2023); Wibisono & Supoyo (2023); Barney (1991); Teece, Pisano, & Shuen (1997); Tidd & Bessant (2021); serta berbagai artikel Scopus dan SINTA yang relevan.

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, *RBV*, *Dynamic Capability*, dan *Resource Orchestration* merupakan landasan teoretis yang saling melengkapi dalam menjelaskan bagaimana organisasi membangun keunggulan melalui optimalisasi sumber daya internal dan kemampuan beradaptasi. Namun demikian, sebagian besar penelitian terdahulu masih berfokus pada industri pertahanan, manajemen rantai pasok, atau organisasi bisnis; belum banyak yang secara khusus menganalisis implementasi inovasi dan rekayasa engineering sebagai strategi penguatan kapabilitas pembinaan materiel pada organisasi pemeliharaan TNI AU. Celah penelitian inilah yang menjadi dasar penelitian ini.



Sumber: Diolah oleh penulis berdasarkan Barney (1991), Teece, Pisano, dan Shuen (1997), Tidd dan Bessant (2021), Helfat et al. (2023), serta Air Force Sustainment Center Strategic Plan (2025).

Gambar 2.1 Kerangka Pemikiran Penelitian

3. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan desain studi kasus (*case study*) untuk menganalisis implementasi inovasi dan rekayasa engineering sebagai strategi penguatan kapabilitas pembinaan materiel di Koharmatau selama periode 2004–2023, mencakup lima bentuk inovasi: reproduksi, substitusi, modifikasi, *reverse engineering*, dan penciptaan produk baru (*creating*). Desain studi kasus dipilih karena memberikan pemahaman mendalam mengenai proses inovasi, pengambilan keputusan, dan implementasinya dalam konteks organisasi pertahanan.

Data penelitian terdiri atas data primer, yang diperoleh melalui wawancara mendalam dengan pejabat Koharmatau dan personel teknis Depohar yang dipilih secara *purposive sampling*, serta data sekunder berupa laporan inovasi, dokumen teknis, regulasi, dan literatur ilmiah relevan. Pengumpulan data dilakukan melalui wawancara, studi dokumentasi, dan observasi lapangan. Analisis data dilakukan secara interaktif menggunakan model Miles, Huberman, dan Saldãa (2014), meliputi reduksi data, penyajian data, serta penarikan dan verifikasi kesimpulan, diawali dengan inventarisasi seluruh inovasi yang dihasilkan dan dilanjutkan dengan analisis tematik untuk mengidentifikasi kontribusinya terhadap penguatan kapabilitas pembinaan materiel.

Untuk menjamin kredibilitas temuan, penelitian menerapkan triangulasi sumber, metode, dan dokumen, serta mengacu pada kriteria *credibility*, *transferability*, *dependability*, dan *confirmability*. Kerangka analisis dibangun berdasarkan sintesis *Resource-Based View* sebagai *grand theory*, *Dynamic Capability* dan *Resource Orchestration Theory* sebagai *middle theory*, serta konsep *Engineering Innovation*, *Military Logistics*, dan *Air Force Sustainment* sebagai teori operasional untuk menjelaskan hubungan antara inovasi engineering dan penguatan kapabilitas pembinaan materiel.

4. Hasil dan Diskusi

4.1 Kondisi Kapabilitas Pembinaan Materiel Sebelum Implementasi Inovasi dan Rekayasa Engineering

Sebelum implementasi inovasi dan rekayasa engineering, penyelenggaraan pembinaan materiel di Koharmatau menghadapi kendala berupa tingginya ketergantungan terhadap *Original Equipment Manufacturer* (OEM), meningkatnya *Aircraft Waiting Maintenance* (AWM), keterbatasan alat bengkel dan alat produksi (Albeng/Alprod), serta keterbatasan anggaran pemeliharaan. Ketergantungan terhadap OEM menyebabkan pengadaan suku cadang dan komponen harus melalui produsen asli dengan waktu pengadaan yang panjang dan biaya tinggi, kondisi yang semakin kompleks ketika terjadi *obsolescence* atau gangguan rantai pasok global (Liu & Zolghadri, 2026).

Keterbatasan fasilitas pemeliharaan turut meningkatkan AWM — kondisi ketika pesawat tidak dapat segera memasuki proses pemeliharaan karena alat bantu, komponen, atau fasilitas pendukung belum tersedia — yang berpengaruh terhadap *availability rate* dan *mission capable rate*. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa tantangan pembinaan materiel tidak hanya menyangkut ketersediaan anggaran, tetapi juga kemampuan organisasi mengembangkan solusi pemeliharaan secara mandiri, sebagaimana dirangkum pada Tabel 4.1.

Berbagai kondisi tersebut menunjukkan bahwa tantangan pembinaan materiel tidak hanya berkaitan dengan ketersediaan anggaran, tetapi juga menyangkut kemampuan organisasi dalam mengembangkan solusi pemeliharaan secara mandiri. Oleh karena itu, Koharmatau mengembangkan inovasi dan rekayasa engineering sebagai strategi untuk meningkatkan kemampuan pemeliharaan, mengurangi ketergantungan terhadap OEM, menekan Aircraft Waiting Maintenance, serta meningkatkan efisiensi penggunaan anggaran.

Tabel 4.1 Kondisi Kapabilitas Pembinaan Materiel Sebelum Implementasi Inovasi

Permasalahan	Kondisi Empiris	Dampak	Kebutuhan Strategis
Ketergantungan terhadap OEM	Pengadaan komponen bergantung pada produsen asli	Lead time panjang dan biaya tinggi	Kemandirian pemeliharaan
<i>Aircraft Waiting Maintenance (AWM)</i>	Keterbatasan alat bantu dan komponen	Downtime pesawat meningkat	Percepatan dukungan pemeliharaan
Keterbatasan Albeng/Alprod	Peralatan belum memadai untuk alutsista modern	Produktivitas workshop rendah	Modernisasi fasilitas dan inovasi alat
Keterbatasan anggaran	Pengadaan tidak dapat memenuhi seluruh kebutuhan	Prioritas pemeliharaan terbatas	Efisiensi dan inovasi <i>engineering</i>

Sumber: Diolah penulis berdasarkan Executive Paper Inovasi dan Rekayasa Engineering Koharmatau (2023) dan hasil penelitian.

Berdasarkan permasalahan tersebut, Koharmatau mengembangkan inovasi dan rekayasa engineering sebagai strategi organisasi untuk meningkatkan kemampuan pemeliharaan, dilaksanakan melalui lima bentuk utama: reproduksi, substitusi, modifikasi, *reverse engineering*, dan penciptaan produk baru.

4.2 Implementasi Engineering Innovation di Koharmatau

Hasil penelitian menunjukkan bahwa selama periode 2004–2023 Koharmatau menghasilkan 103 inovasi engineering yang diklasifikasikan ke dalam lima bentuk utama sebagaimana diatur dalam Petunjuk Teknik Udara (PTU) Inovasi dan Rekayasa Engineering: reproduksi, substitusi, modifikasi, *reverse engineering*, dan *creating*. Implementasi inovasi dilaksanakan sebagai bagian dari strategi peningkatan kapabilitas pembinaan materiel melalui optimalisasi sumber daya internal, tidak hanya untuk menghasilkan produk pengganti, tetapi juga membangun kemampuan organisasi mengatasi keterbatasan pemeliharaan secara mandiri, sebagaimana dirangkum pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Klasifikasi Bentuk Inovasi dan Rekayasa Engineering di Koharmatau

No	Bentuk Inovasi	Definisi	Implementasi di Koharmatau	Kontribusi terhadap Kapabilitas Pembinaan Materiel
1	Reproduksi	Pembuatan kembali komponen atau peralatan sesuai spesifikasi teknis.	Pembuatan komponen dan alat pendukung pemeliharaan yang sulit diperoleh melalui pengadaan.	Mengurangi ketergantungan terhadap OEM dan mempercepat ketersediaan komponen.
2	Substitusi	Penggantian material atau komponen dengan alternatif yang memiliki fungsi setara.	Penggunaan material lokal atau komponen komersial yang memenuhi persyaratan teknis.	Menekan biaya pemeliharaan dan memperkuat rantai pasok domestik.
3	Modifikasi	Penyempurnaan desain atau fungsi peralatan untuk meningkatkan kinerja.	Modifikasi <i>ground support equipment</i> , alat uji, dan peralatan bengkel sesuai kebutuhan operasional.	Meningkatkan efisiensi proses pemeliharaan dan produktivitas personel.
4	<i>Reverse Engineering</i>	Analisis dan rekonstruksi komponen untuk memperoleh data teknis sehingga dapat diproduksi kembali.	Rekayasa ulang komponen yang sudah tidak diproduksi atau sulit diperoleh.	Mendukung kemandirian teknologi dan mempercepat penyediaan suku cadang.
5	Creating	Perancangan dan pembuatan produk baru berdasarkan kebutuhan operasional.	Pengembangan <i>special tools</i> , alat bantu pemeliharaan, dan perangkat pendukung hasil inovasi personel Koharmatau.	Menghasilkan solusi teknis baru serta meningkatkan kemampuan inovasi organisasi.

Sumber: Diolah penulis berdasarkan Petunjuk Teknis Umum (PTU) Inovasi dan Rekayasa Engineering Koharmatau dan hasil penelitian.

Temuan tersebut menunjukkan bahwa organisasi pemeliharaan militer memiliki karakteristik inovasi berbeda dari sektor manufaktur. Dominasi reproduksi dan substitusi

mengindikasikan bahwa tantangan utama Koharmatau adalah ketersediaan komponen akibat *obsolescence* dan keterbatasan pasokan OEM, sementara tingginya modifikasi mencerminkan kebutuhan penyesuaian alat bantu pemeliharaan tanpa pengadaan baru berbiaya besar (*continuous improvement*). Penerapan *reverse engineering* memperlihatkan berkembangnya kapabilitas Koharmatau merekonstruksi komponen yang sudah tidak tersedia di pasar, memperkuat *engineering knowledge* sebagai aset strategis. Dari perspektif RBV, kompetensi teknisi merupakan sumber daya yang *valuable* dan *inimitable*; dari perspektif *Dynamic Capability*, kemampuan tersebut mencerminkan proses *sensing*, *seizing*, dan *transforming* terhadap perubahan kebutuhan operasional.

4.3 Analisis Temuan Penelitian

Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi inovasi dan rekayasa engineering di Koharmatau menghasilkan 103 produk inovasi selama 2004–2023 dengan efisiensi biaya yang konsisten dibandingkan mekanisme pengadaan melalui OEM. Namun demikian, efisiensi biaya tersebut bukan tujuan akhir dari inovasi, melainkan konsekuensi logis dari meningkatnya kemampuan organisasi mengembangkan solusi pemeliharaan secara mandiri. Temuan ini menunjukkan bahwa inovasi dan rekayasa engineering telah berkembang dari fungsi teknis menjadi kapabilitas strategis organisasi (*strategic organizational capability*) yang tercermin melalui reproduksi, substitusi, modifikasi, *reverse engineering*, dan penciptaan produk baru yang menjawab keterbatasan suku cadang, ketergantungan OEM, AWM, dan keterbatasan Albeng/Alprod.

Nilai utama inovasi tidak terletak pada besarnya efisiensi anggaran semata, tetapi pada kemampuan organisasi mentransformasikan keterbatasan sumber daya menjadi kapabilitas operasional — tercermin dari meningkatnya kapasitas reproduksi komponen dan optimalisasi fasilitas *workshop*. Temuan ini berbeda dari penelitian terdahulu yang umumnya berfokus pada daya saing industri atau rantai pasok pertahanan (Wibisono & Supoyo, 2023; Helfat et al., 2023). Penelitian ini memperluas temuan tersebut dengan menunjukkan bahwa pada organisasi pemeliharaan militer, kapabilitas dinamis diwujudkan melalui reproduksi,



modifikasi, substitusi, dan *reverse engineering* yang langsung memperkuat *maintenance capability* dan *air force sustainment*.

4.4 Diskusi Hasil Penelitian

Implementasi inovasi dan rekayasa engineering di Koharmatau tidak hanya menghasilkan 103 produk inovasi dengan efisiensi biaya yang signifikan, tetapi juga mengubah cara organisasi membangun kapabilitas pembinaan materiel. Temuan ini memperluas penerapan RBV (Barney, 1991): kepemilikan sumber daya — kompetensi teknisi, fasilitas *workshop*, pengetahuan *engineering* — baru memberikan nilai strategis apabila diolah melalui proses inovasi yang sistematis. Dengan kata lain, *engineering innovation* merupakan mekanisme yang mengubah sumber daya menjadi kapabilitas organisasi, memperluas RBV dari perspektif kepemilikan menuju perspektif *resource orchestration* (Sirmon, Hitt, & Ireland, 2007) dalam organisasi pemeliharaan militer.

Temuan ini juga memberikan dukungan empiris terhadap *Dynamic Capability Theory* (Teece, 2007) secara lebih spesifik: *sensing* terlihat dari identifikasi keterbatasan akibat ketergantungan OEM, AWM, dan keterbatasan anggaran; *seizing* diwujudkan melalui pengembangan reproduksi, substitusi, modifikasi, *reverse engineering*, dan *creating*; sementara *transforming* terlihat dari keberhasilan mengintegrasikan inovasi ke dalam sistem pembinaan materiel sebagai budaya organisasi. Berbeda dari Silva et al. (2023) yang memandang inovasi sebagai instrumen daya saing pasar, penelitian ini menunjukkan bahwa pada organisasi pemeliharaan militer, inovasi *engineering* berorientasi pada keberlanjutan pemeliharaan (*maintenance sustainment*) — lebih tepat dikategorikan sebagai *sustainment-oriented engineering innovation*.

Secara praktis, temuan ini menegaskan bahwa penguatan kapabilitas pembinaan materiel tidak cukup dilakukan melalui peningkatan anggaran atau pengadaan alutsista baru. Yang lebih menentukan adalah kemampuan organisasi mengembangkan kompetensi *engineering*, memperkuat budaya inovasi, mengelola pengetahuan teknis, dan membangun kolaborasi dengan industri pertahanan serta perguruan tinggi. Dengan demikian, kebijakan

pembinaan materiel sebaiknya bergeser dari pendekatan *procurement-oriented* menuju *capability-oriented*, yang menempatkan inovasi *engineering* sebagai pengungkit utama peningkatan *maintenance capability*, *materiel capability*, dan *air force sustainment*.

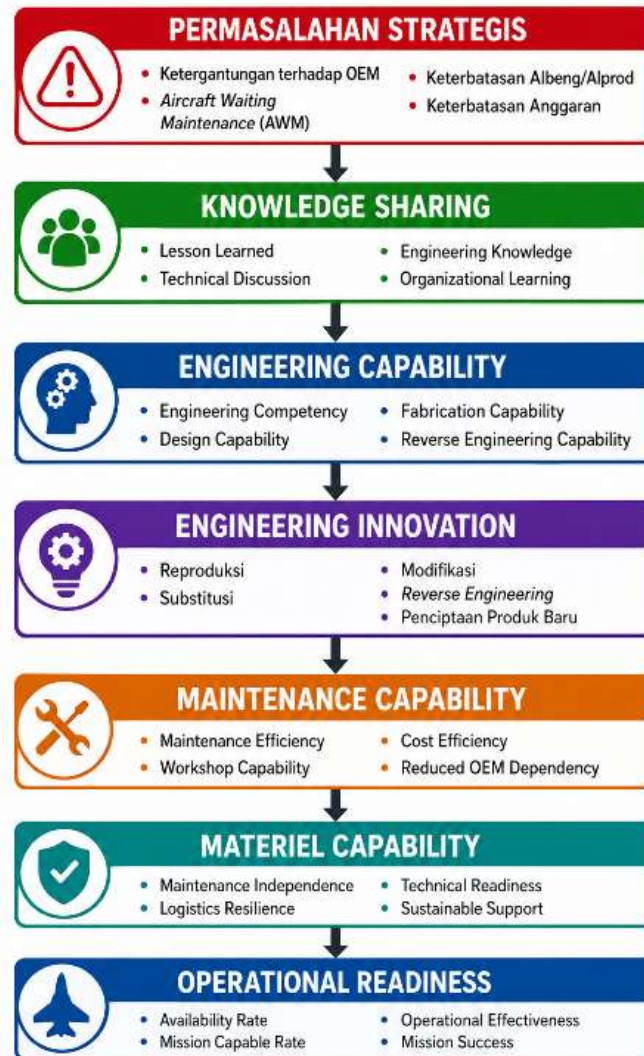
4.5 Engineering Innovation Capability Framework (EICF): Model Konseptual Hasil Penelitian

Berdasarkan sintesis seluruh temuan, inovasi dan rekayasa *engineering* di Koharmatau membentuk mekanisme penguatan kapabilitas organisasi yang berlangsung bertahap. Sintesis ini menghasilkan model konseptual *Engineering Innovation Capability Framework* (EICF), yang menunjukkan bahwa penguatan kapabilitas pembinaan materiel tidak terjadi secara langsung melalui peningkatan anggaran, melainkan melalui rangkaian proses: pengembangan pengetahuan organisasi (*knowledge sharing*), peningkatan *engineering capability*, implementasi inovasi, penguatan *maintenance capability*, peningkatan *materiel capability*, hingga tercapainya *operational readiness* (Gambar 4.1).

Pada tahap awal, tantangan strategis — ketergantungan OEM, AWM, keterbatasan Albeng/Alprod, dan keterbatasan anggaran — memicu pembelajaran organisasi melalui pertukaran pengetahuan dan *lesson learned*. Proses ini meningkatkan *engineering capability* (kompetensi teknis, desain, fabrikasi, *reverse engineering*) yang diwujudkan dalam bentuk inovasi berupa reproduksi, substitusi, modifikasi, *reverse engineering*, dan penciptaan produk baru. Implementasi inovasi tersebut meningkatkan *maintenance capability* — ditandai efisiensi pemeliharaan, berkurangnya ketergantungan OEM, dan meningkatnya produktivitas *workshop* — yang selanjutnya memperkuat *materiel capability* dan berkontribusi langsung terhadap *operational readiness* melalui peningkatan *availability rate*, *mission capable rate*, dan keberlanjutan dukungan logistik TNI Angkatan Udara.

Dengan demikian, *engineering innovation* bukan sekadar aktivitas teknis, tetapi *strategic capability enabler* yang mentransformasikan sumber daya organisasi menjadi kapabilitas pembinaan materiel. Model EICF memperluas penerapan RBV, *Dynamic Capability*, dan *Resource Orchestration Theory* dalam organisasi pemeliharaan militer dengan menunjukkan

bahwa hubungan antara sumber daya organisasi dan kesiapan operasional dimediasi oleh proses *knowledge sharing*, *engineering capability*, dan *engineering innovation* — sehingga EICF merupakan kontribusi konseptual utama penelitian ini.



Sumber: Diolah penulis berdasarkan hasil penelitian (2026).

Gambar 4.1. Engineering Innovation Capability Framework (EICF)

4.6 Implikasi Kebijakan

Berdasarkan hasil penelitian, penguatan kapabilitas pembinaan materiel di lingkungan TNI Angkatan Udara perlu diarahkan pada pengembangan inovasi *engineering* sebagai bagian dari kebijakan strategis organisasi, melalui peningkatan kompetensi sumber daya



manusia, modernisasi fasilitas *workshop*, penguatan *knowledge management*, serta kolaborasi dengan industri pertahanan nasional, perguruan tinggi, dan lembaga penelitian. Inovasi dan rekayasa *engineering* perlu diintegrasikan ke dalam sistem pembinaan materiel sebagai bagian dari strategi *maintenance independence* dan *logistics resilience*, sehingga organisasi tidak hanya mengurangi ketergantungan terhadap OEM, tetapi juga meningkatkan kesiapan operasional alutsista melalui sistem pemeliharaan yang lebih adaptif, efisien, dan berkelanjutan.

5. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa inovasi dan rekayasa *engineering* merupakan strategi efektif untuk memperkuat kapabilitas pembinaan materiel TNI Angkatan Udara di Koharmatau. Implementasi inovasi yang meliputi reproduksi, substitusi, modifikasi, *reverse engineering*, dan penciptaan produk baru berhasil mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya internal organisasi, menghasilkan 103 produk inovasi selama 2004–2023 dengan efisiensi biaya yang konsisten dibandingkan mekanisme pengadaan konvensional, sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap OEM dan meningkatkan kemampuan organisasi menjawab kebutuhan operasional secara mandiri.

Dari perspektif teoretis, hasil penelitian mengonfirmasi bahwa *Resource-Based View* menjelaskan pentingnya sumber daya strategis organisasi sebagai sumber keunggulan, sementara *Dynamic Capability Theory* (Teece, 2007) menjelaskan bagaimana kemampuan *sensing*, *seizing*, dan *transforming* menghasilkan solusi adaptif. *Resource Orchestration Theory* (Sirmon, Hitt, & Ireland, 2007) melengkapi keduanya dengan menegaskan bahwa nilai baru tercipta ketika sumber daya distrukturkan, dibundel, dan diungkit secara aktif oleh manajemen. Sintesis ketiganya menghasilkan *Engineering Innovation Capability Framework* (EICF) sebagai kontribusi teoretis utama penelitian ini, yang menjelaskan mekanisme transformasi sumber daya organisasi menjadi kapabilitas pembinaan materiel melalui *knowledge sharing*, *engineering capability*, *engineering innovation*, *maintenance capability*, *materiel capability*, hingga *operational readiness*.



Kontribusi utama penelitian ini adalah memberikan bukti empiris bahwa inovasi dan rekayasa *engineering* tidak hanya menghasilkan efisiensi biaya, tetapi juga meningkatkan kompetensi sumber daya manusia, memperkuat kemandirian pemeliharaan, dan mendukung keberlanjutan sistem pemeliharaan alutsista TNI AU — sehingga layak dijadikan salah satu strategi pembinaan materiel dalam mendukung pembangunan kekuatan udara yang tangguh, adaptif, dan berkelanjutan.

Penelitian ini memiliki keterbatasan. Pertama, pendekatan studi kasus pada Koharmatau membuat hasil belum dapat digeneralisasikan langsung pada organisasi pemeliharaan di matra lain. Kedua, penelitian belum menguji secara kuantitatif hubungan kausal antara *engineering innovation* dengan indikator kinerja operasional seperti *availability rate* dan *mean time to repair* (MTTR). Ketiga, model EICF masih memerlukan pengujian lebih lanjut untuk memperoleh validitas eksternal yang lebih kuat. Penelitian selanjutnya disarankan mengembangkan pengujian empiris terhadap EICF menggunakan pendekatan kuantitatif seperti *Structural Equation Modeling* (SEM), serta memperluas objek penelitian pada organisasi pemeliharaan di matra lain.

Daftar Pustaka

- Air Force Sustainment Center. (2025). Air Force Sustainment Center Strategic Plan 2025. United States Air Force.
- Barney, J. B. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 17(1), 99-120. <https://doi.org/10.1177/014920639101700108>
- Blanchard, B. S. (2020). *Logistics engineering and management* (7th ed.). Pearson.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). Sage Publications.



- Helfat, C. E., Kaul, A., Ketchen, D. J., Barney, J. B., Chatain, O., & Singh, H. (2023). Renewing the resource-based view: New contexts, new concepts, and new methods. *Strategic Management Journal*, 44(6), 1357-1390. <https://doi.org/10.1002/smj.3500>
- Huberman, A. M., Miles, M. B., & Saldaña, J. (2014). *Qualitative data analysis: A methods sourcebook* (3rd ed.). Sage Publications.
- Kementerian Pertahanan Republik Indonesia. (2015). *Buku Putih Pertahanan Indonesia 2015*. Kementerian Pertahanan RI.
- Liu, Y., & Zolghadri, M. (2026). What is happening in product obsolescence management? Three decades of review from 1993 to 2023. *Research in Engineering Design*, 37(2), 9.
- Peraturan Panglima TNI Nomor PERPANG/54/XII/2017 tentang Pokok-Pokok Penyelenggaraan Pembinaan Materiel Tentara Nasional Indonesia.
- Republik Indonesia. (2012). *Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2012 tentang Industri Pertahanan*.
- Republik Indonesia. (2004). *Undang-Undang Nomor 34 Tahun 2004 tentang Tentara Nasional Indonesia*.
- Sirmon, D. G., Hitt, M. A., & Ireland, R. D. (2007). Managing firm resources in dynamic environments to create value: Looking inside the black box. *Academy of Management Review*, 32(1), 273–292.
- Sugiyono. (2023). *Metode penelitian kualitatif (edisi terbaru)*. Alfabeta.



- Swastanto, Yoedhi, Sunarko, Sunarko, Halkis, Mhd, Priyanto, Priyanto. (2022) *Defense Industry Arrangement; Between Business and National Security, Case Study of Defense Industry Development in Indonesia*. *NeuroQuantology*, 20 (8). pp. 8487-8505. ISSN 1303-5150, oi:10.14704/nq.2022.20.8.NQ44873,
- Teece, D. J. (2007). Explicating dynamic capabilities: The nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance. *Strategic Management Journal*, 28(13), 1319–1350.
- Teece, D. J. (2023). Dynamic capabilities and strategic management: Theory and practice. *Strategic Organization*, 21(3), 545-563.
- Teece, D. J., Pisano, G., & Shuen, A. (1997). Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic Management Journal*, 18(7), 509–533. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0266\(199708\)18:7<509::AID-SMJ882>3.0.CO;2-Z](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0266(199708)18:7<509::AID-SMJ882>3.0.CO;2-Z)
- Tidd, J., & Bessant, J. (2021). *Managing innovation: Integrating technological, market and organizational change* (7th ed.). Wiley.
- Wibisono, H., & Supoyo, M. (2023). Business transformation: Exploring dynamic capabilities, technological innovation, and competitive advantage through the lens of the resource-based view in construction services companies. *Journal of Contemporary Administration and Management*, 1(3), 263-270. <https://doi.org/10.61100/adman.v1i3.93>
- Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (6th ed.). Sage Publications.



Tentang Penulis

Mayor Tek Joko Susanto, S.T., lahir di Kabupaten Ponorogo pada 21 Februari 1983. Penulis merupakan perwira menengah Korps Teknik TNI Angkatan Udara yang memiliki pengalaman lebih dari dua dekade di bidang pemeliharaan, kelaikan udara, dan engineering pesawat militer.

Pendidikan umum ditempuh di SDN Karang 2 Ponorogo (lulus 1995), SMPN 1 Balong (lulus 1998), dan SMK Penerbangan Angkasa Lanud Iswahjudi (lulus 2001). Penulis menyelesaikan pendidikan militer di Akademi Angkatan Udara pada tahun 2004 serta memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) bidang Teknik Dirgantara dari Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto (ITDA) pada tahun 2023. Saat ini penulis sedang menempuh pendidikan Magister Strategi Pertahanan Udara di Universitas Pertahanan Republik Indonesia (UNHAN RI).

Pendidikan militer dan pengembangan profesi yang telah diikuti antara lain Sekolah Dasar Kecabangan Teknik Pesawat Terbang di Skadik 301 Wingdiktekkal Lanud Husein Sastranegara (2005), Sekolah Komando Kesatuan Angkatan Udara (SEKKAU) Angkatan ke-114, Susparadas Angkatan ke-143 (2002), KIBI AAU (2005), KIBI Kodam VII/Wirabuana (2006), Familiarization Training Pesawat Sukhoi Su-27/30 di Rusia (2008), Suspa Kalingstra (2012), dan Suspa Manajemen (2019).

Riwayat kedinasan dimulai pada tahun 2005 sebagai perwira teknik di Skadron Teknik 044 Lanud Sultan Hasanuddin hingga tahun 2019. Selanjutnya penulis bertugas di Direktorat Engineering Koharmatau (2019-2022), kemudian di Lanud SMO pada tahun 2022. Sejak tahun 2022 hingga 2026 kembali berdinasi di Koharmatau dan saat ini menjabat sebagai Irdahar Irutops It Koharmatau.

Dalam bidang profesi, penulis memiliki kualifikasi sebagai Inspektur Kelaikan Udara untuk pesawat Sukhoi Su-27/30, Boeing 737-200, dan CN-235 MPA. Bidang spesialisasi yang ditekuni meliputi engineering dan sustainment pesawat militer, manajemen pemeliharaan



pesawat udara, kelaikan udara (airworthiness), logistik pertahanan, audit internal, serta strategi pertahanan udara .

Selain aktif dalam kedinasan, penulis juga melakukan penelitian dan penulisan ilmiah pada bidang pemeliharaan alutsista, strategi pertahanan, manajemen logistik, dan inovasi sistem pemeliharaan pesawat militer. Beberapa karya ilmiahnya telah dipublikasikan dalam bentuk artikel ilmiah, makalah seminar, serta naskah akademik yang berkaitan dengan pengembangan kemampuan pemeliharaan dan kemandirian industri pertahanan nasional.

Penulis menikah dengan Ade Farida, S.H., seorang advokat di Kota Bandung. Dari pernikahan tersebut dikaruniai tiga orang anak, yaitu Azizah Khairunnisa Susanto, Muhammad Dzaki Mubarok Susanto, dan Muhammad Alfathan Mubarok Susanto.