



# Strategi Integrasi Artificial Intelligence pada Sistem C4ISR dalam Mendukung Pengambilan Keputusan Operasi Pertahanan Udara Indonesia

*(Artificial Intelligence Integration Strategy in C4ISR Systems to Support  
Decision Making in Indonesian Air Defense Operations)*

**Alem Safiero<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universitas Pertahanan RI

email: [alemsafiero@ini-au.mil.id](mailto:alemsafiero@ini-au.mil.id)

**Abstrak.** Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis strategi integrasi Artificial Intelligence (AI) pada sistem Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance (C4ISR) dalam mendukung pengambilan keputusan operasi pertahanan udara Indonesia. Perkembangan karakter peperangan modern menuju data-driven warfare, network centric warfare, dan multidomain operation menuntut sistem pertahanan udara yang mampu mengolah informasi secara cepat, akurat, dan adaptif. Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian kualitatif dengan pendekatan studi pustaka. Data dikumpulkan melalui telaah artikel jurnal internasional bereputasi, doktrin militer, kebijakan pertahanan, laporan lembaga strategis internasional, serta berbagai literatur ilmiah yang relevan, kemudian dianalisis menggunakan content analysis dan thematic analysis dengan validasi melalui triangulasi sumber dan teori. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi AI pada sistem C4ISR mampu meningkatkan efektivitas siklus pengambilan keputusan melalui otomatisasi deteksi ancaman, fusi data multisensor, prediksi ancaman, serta penyediaan rekomendasi keputusan secara lebih cepat dan akurat. Namun demikian, implementasinya di Indonesia masih menghadapi berbagai tantangan, antara lain fragmentasi data antarsensor, keterbatasan interoperabilitas, dominasi proses analisis manual, kesiapan sumber daya manusia, serta belum optimalnya tata kelola AI militer. Penelitian ini menyimpulkan bahwa pengembangan model strategi integrasi AI-C4ISR yang menggabungkan enam lapisan fungsional dan lima pilar pemampu dapat menjadi kerangka konseptual dalam memperkuat Sistem Pertahanan Udara Nasional. Implikasi penelitian ini memberikan kontribusi bagi pengembangan teori C4ISR berbasis AI sekaligus menjadi rekomendasi strategis bagi perumusan kebijakan modernisasi pertahanan udara Indonesia.

**Kata kunci:** artificial intelligence; C4ISR; pengambilan keputusan; pertahanan udara; network centric warfare

**Abstract.** *This study aims to analyze the strategy for integrating Artificial Intelligence (AI) into the Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance (C4ISR) system to support decision-making in Indonesia's air defense operations. The transformation of modern warfare toward data-driven warfare, network-centric warfare, and multi-domain operations requires air defense systems capable of processing information rapidly, accurately, and adaptively. This research employs a qualitative approach using a literature review design. Data were collected through an extensive review of reputable international journal articles, military doctrines, defense policies, reports from international strategic institutions, and other relevant scholarly literature. The data were analyzed using content analysis and thematic analysis, with source and theory triangulation employed to ensure the validity of the findings. The results indicate that integrating AI into the C4ISR system enhances the effectiveness of the decision-making cycle through automated threat detection, multi-sensor data fusion, threat prediction, and AI-assisted decision recommendations that improve the speed and accuracy of operational responses. However, its implementation in Indonesia continues to face several challenges, including fragmented data across sensors, limited interoperability, reliance on manual analytical processes, insufficient human resource readiness, and the absence of a comprehensive military AI governance framework. This study concludes that developing an AI-C4ISR integration strategy model combining six functional layers and five enabling pillars provides a conceptual framework for strengthening Indonesia's National Air Defense System. The findings contribute to the advancement of AI-based C4ISR theory and offer strategic recommendations for policymakers and military leaders in formulating adaptive and future-oriented air defense modernization policies.*

*Keywords: artificial intelligence; C4ISR; decision making; air defense; network centric warfare*

## 1. Pendahuluan

Karakter peperangan modern telah mengalami pergeseran fundamental dari perang yang bertumpu pada massa dan daya hancur menuju perang yang bertumpu pada data, konektivitas, dan kecepatan kognitif. Konsep data-driven warfare menempatkan data sebagai amunisi strategis baru, sementara *network centric warfare* menegaskan bahwa keunggulan tempur bersumber dari kemampuan menghubungkan sensor, pengambil keputusan, dan unsur penindak dalam satu jejaring informasi yang koheren (Alberts et al., 1999). Perkembangan mutakhir menuju multidomain operation semakin menuntut integrasi lintas domain udara, darat, laut, siber, dan antariksa secara simultan, sehingga keputusan komando tidak lagi dapat diambil secara terfragmentasi per matra, melainkan harus dihasilkan dari kesadaran situasional bersama yang dibangun secara real time. Dalam lanskap tersebut, kompleksitas ancaman udara meningkat secara eksponensial seiring

kehadiran senjata hipersonik yang memampatkan waktu reaksi hingga hitungan menit, swarm drone yang menjenuhkan kapasitas deteksi dan penindakan konvensional, sistem otonom yang beroperasi dengan kecepatan mesin, serta peperangan elektronika yang secara aktif mendegradasi keandalan sensor dan komunikasi (Scharre, 2018; Johnson, 2019). Kecerdasan buatan atau *Artificial Intelligence* (AI) memperkuat seluruh dinamika tersebut, baik sebagai pengganda ancaman di tangan lawan maupun sebagai pengganda kekuatan bagi pihak yang mampu mengintegrasikannya secara tepat (Allen & Chan, 2017; Horowitz, 2018).

Konsekuensi strategis dari pergeseran ini adalah bahwa keberhasilan operasi pertahanan udara tidak lagi ditentukan semata-mata oleh jumlah alat utama sistem senjata yang dimiliki, melainkan oleh kecepatan memperoleh informasi, mengolah data menjadi intelijen yang dapat ditindaklanjuti, serta kemampuan mengambil keputusan secara cepat dan akurat di bawah tekanan waktu yang ekstrem. Kemampuan tersebut hanya dapat diwujudkan melalui sistem *Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance* (C4ISR) yang terintegrasi, yang berfungsi sebagai sistem saraf pusat pertahanan udara dalam menghubungkan radar, satelit, pesawat pengintai, pusat komando, dan unsur penindak dalam satu arsitektur sensor-to-shooter yang utuh (Alberts, 2002; Boord & Hoffman, 2016). Dalam pertahanan udara, kompresi waktu antara deteksi dan penindakan bersifat menentukan; ancaman hipersonik dan serangan saturasi drone menyisakan jendela keputusan yang jauh lebih sempit daripada kapasitas kognitif manusia untuk memproses seluruh data sensor secara manual, sehingga akselerasi siklus keputusan melalui otomatisasi cerdas menjadi kebutuhan operasional, bukan sekadar pilihan teknologis (Layton, 2021).

Perkembangan global menunjukkan bahwa negara-negara maju telah bergerak jauh dalam mengintegrasikan AI ke dalam sistem C4ISR mereka. Amerika Serikat mengembangkan konsep *Joint All-Domain Command and Control* yang memanfaatkan machine learning untuk fusi data lintas domain dan rekomendasi penugasan senjata, Tiongkok mengartikulasikan visi *intelligentized warfare* yang menempatkan AI sebagai inti sistem komando, dan berbagai negara NATO mengembangkan kerangka human-AI

teaming untuk mendukung keputusan komandan tanpa menghilangkan kendali manusia (Hoadley & Lucas, 2018; NATO STO, 2019; Johnson, 2019). Kajian RAND Corporation (2025) menunjukkan bahwa AI mampu meningkatkan kecepatan sense-making pada fungsi intelligence, surveillance, and reconnaissance melalui deteksi otomatis, klasifikasi ancaman, dan prioritas informasi, sementara riset pada level sistem menunjukkan bahwa agen cerdas mampu melaksanakan *threat evaluation dan weapon allocation* pada sistem pertahanan udara terintegrasi dengan kecepatan dan konsistensi yang melampaui operator manusia (Das, 2019). Pada tataran jejaring taktis, integrasi AI terbukti meningkatkan ketahanan dan adaptivitas komunikasi militer di lingkungan yang terkontestasi secara elektronik (Monzon Baeza et al., 2025). Temuan-temuan tersebut mengonfirmasi bahwa integrasi AI pada C4ISR telah menjadi arah utama transformasi pertahanan udara global.

Kondisi Indonesia menunjukkan kesenjangan yang signifikan terhadap arah transformasi tersebut. Sebagai negara kepulauan terbesar di dunia dengan wilayah udara seluas lebih dari lima juta kilometer persegi yang membentang pada posisi silang strategis, Indonesia menghadapi beban pengawasan ruang udara yang sangat besar dengan sumber daya yang terbatas. Sistem Pertahanan Udara Nasional yang dioperasikan melalui Komando Operasi Udara Nasional masih menghadapi tantangan berupa fragmentasi data antarsensor sipil dan militer, keterbatasan interoperabilitas antarsatuan dan antarmatra, dominasi proses analisis manual dalam identifikasi dan klasifikasi sasaran, serta belum optimalnya pemanfaatan AI dalam *decision support system* pada pusat-pusat komando (Kementerian Pertahanan Republik Indonesia, 2023; Sarjito, 2024). Radar-radar pertahanan udara yang tergelar belum sepenuhnya menutup wilayah udara nasional, sementara data dari radar sipil, radar militer, dan sensor lainnya belum terfusi dalam satu *recognized air picture* yang tunggal dan diperkaya analitik prediktif. Lebih mendasar lagi, hingga saat ini belum tersusun strategi integrasi AI yang koheren dan sesuai dengan karakteristik Sistem Pertahanan Udara Nasional, sehingga berbagai inisiatif digitalisasi pertahanan berjalan parsial tanpa kerangka arsitektural yang mengikat proses *surveillance, intelligence fusion, predictive analysis, decision support*, hingga *command recommendation* dalam satu kesatuan.

Analisis terhadap kesenjangan tersebut dapat dibangun melalui pendekatan Das Sollen dan Das Sein. Pada dimensi Das Sollen, sistem C4ISR pertahanan udara modern seharusnya bekerja sebagai *integrated air defense system* yang menganut prinsip *network centric warfare*, yakni seluruh sensor berupa radar darat, radar terapung, satelit, pesawat peringatan dini, dan pesawat pengintai terhubung dalam jejaring data real time yang menghasilkan kesadaran situasional bersama; pusat komando memperoleh *recognized air picture* tunggal yang diperkaya analitik AI untuk deteksi anomali, klasifikasi ancaman, dan prediksi lintasan; sistem decision support menyajikan opsi tindakan beserta perhitungan risiko kepada komandan; dan keputusan yang tervalidasi manusia diteruskan secara otomatis kepada unsur penindak berupa pesawat tempur, rudal pertahanan udara, dan peperangan elektronika dalam siklus sensor-to-shooter yang terkompresi (Alberts et al., 1999; Boord & Hoffman, 2016; NATO STO, 2019). Dalam kondisi ideal tersebut, keputusan komando bersifat cepat karena didukung otomatisasi, tepat karena didasarkan pada fusi data multisensor, dan adaptif karena sistem terus belajar dari dinamika ancaman. Pada dimensi Das Sein, kondisi nyata Indonesia memperlihatkan integrasi data yang belum tuntas antarsensor dan antarinstansi, pemanfaatan AI yang masih embrionik dalam fungsi command and control, interoperabilitas sistem yang terkendala keragaman platform dari berbagai negara produsen, kesiapan sumber daya manusia yang belum merata dalam literasi data dan AI, kerangka regulasi dan tata kelola AI militer yang belum tersedia, kerentanan keamanan data dan siber pada infrastruktur pertahanan, serta infrastruktur digital pertahanan yang belum memadai untuk komputasi data besar secara *real time* (Kementerian Pertahanan Republik Indonesia, 2023; Sarjito, 2024). Jarak antara Das Sollen dan Das Sein inilah yang menjadi problem akademik sekaligus problem strategis yang hendak dijawab penelitian ini.

Sintesis terhadap penelitian terdahulu memperlihatkan *research gap* yang nyata. Kelompok penelitian pertama membahas AI dalam pertahanan secara umum pada level strategis, seperti implikasi AI terhadap keseimbangan kekuatan dan keamanan internasional (Allen & Chan, 2017; Horowitz, 2018; Johnson, 2019), namun tidak menurunkannya ke dalam

arsitektur operasional C4ISR pertahanan udara. Kelompok kedua mengkaji C4ISR dan network centric warfare secara konseptual maupun teknis (Alberts et al., 1999; Alberts, 2002), tetapi ditulis sebelum gelombang machine learning modern sehingga belum mengintegrasikan kapabilitas AI kontemporer. Kelompok ketiga menelaah aplikasi AI pada fungsi spesifik pertahanan udara seperti threat evaluation dan weapon allocation (Das, 2019), pada jejaring taktis (Monzon Baeza et al., 2025), atau pada dukungan keputusan militer secara umum (Pranata et al., 2025; NATO STO, 2019), namun bersifat parsial pada satu segmen siklus dan tidak dikontekstualisasikan pada kebutuhan Indonesia. Kelompok keempat berupa kajian pertahanan Indonesia yang membahas intelijen, kebijakan, dan hybrid warfare (Sarjito, 2024) tanpa menghubungkannya dengan strategi integrasi AI dalam keseluruhan siklus C4ISR. Dengan demikian, belum terdapat penelitian yang mengembangkan model integrasi AI berbasis kebutuhan operasional pertahanan udara Indonesia yang mampu menghubungkan proses surveillance, intelligence fusion, predictive analysis, decision support, hingga command recommendation secara terpadu dalam satu kerangka strategis.

Kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan Model Strategi Integrasi Artificial Intelligence pada Sistem C4ISR untuk Pengambilan Keputusan Operasi Pertahanan Udara Indonesia. Model tersebut mengintegrasikan enam proses inti, yaitu *data acquisition, data fusion, threat prediction, AI-assisted decision support, human-in-the-loop decision validation, dan strategic command recommendation*, dalam satu kerangka konseptual yang disesuaikan dengan karakteristik geografis Indonesia sebagai negara kepulauan dengan ruang udara yang luas, sebaran sensor yang tidak merata, dan keterbatasan konektivitas antarwilayah. Berbeda dari model-model terdahulu yang berhenti pada dimensi teknologis, model ini memasukkan lima dimensi pemampu berupa interoperabilitas, tata kelola AI militer, keamanan siber, kesiapan organisasi, dan pengembangan sumber daya manusia, sehingga menghasilkan konsep integrasi yang lebih komprehensif dan implementatif. Penelitian ini dengan demikian bertujuan menganalisis transformasi C4ISR pada era AI, mengidentifikasi tantangan implementasi di Indonesia, serta merumuskan model konseptual strategi integrasi

AI yang dapat menjadi rekomendasi strategis bagi pembangunan Sistem Pertahanan Udara Nasional dan sekaligus memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pertahanan

## 2. Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka dalam kajian ini memetakan perkembangan literatur mengenai pengaruh disrupsi teknologi terhadap transformasi pertahanan udara modern. Kajian ini meletakkan fondasinya pada Teori Pengambilan Keputusan dari Herbert Simon yang bertindak sebagai teori utama atau *grand theory*. Teori ini menjelaskan bahwa manusia memiliki keterbatasan kognitif dalam memproses informasi yang sangat masif dalam waktu terbatas, sebuah kondisi yang disebut sebagai *bounded rationality* atau rasionalitas terbatas. Pada situasi pertempuran udara yang dinamis dengan kompresi waktu yang ekstrem, keterbatasan kognitif komandan dapat diatasi melalui bantuan teknologi cerdas untuk mengolah data sehingga keputusan yang diambil tetap berkualitas. Sebagai teori jembatan atau *middle theory*, Teori C4ISR digunakan untuk menjelaskan sistem saraf pusat pertahanan yang mengintegrasikan fungsi komando, kendali, komunikasi, komputer, intelijen, pengamatan, dan pengintaian menjadi satu kesatuan operasional yang utuh untuk menghasilkan kesadaran situasional bersama.

Operasionalisasi dari sistem C4ISR di era digital dijelaskan lebih lanjut melalui Teori *Network Centric Warfare* dan Teori *AI Decision Support* sebagai teori aplikatif atau *operational theory*. Teori *Network Centric Warfare* menekankan bahwa keunggulan pertempuran bersumber dari integrasi jejaring yang kuat antara sensor, pengambil keputusan, dan unsur penindak guna mewujudkan keunggulan informasi secara real time. Sementara itu, Teori *AI Decision Support* berfokus pada kolaborasi antara kecerdasan buatan dan operator manusia. Konsep kolaborasi ini menekankan pentingnya pembagian peran kognitif secara proporsional melalui mekanisme *human in the loop*, di mana kecerdasan buatan bertugas mempercepat pemrosesan data raksasa serta memberikan opsi kalkulasi risiko, sedangkan keputusan penggunaan kekuatan mematikan tetap berada di bawah kendali penuh manusia demi mematuhi hukum humaniter internasional dan menjaga asas *meaningful human control*.

Penelitian empiris dalam kurun waktu tiga sampai tujuh tahun terakhir secara konsisten membahas diversifikasi peran kecerdasan buatan dalam ranah militer. Kelompok riset pertama yang diwakili oleh Allen dan Chan pada tahun 2017, Horowitz pada tahun 2018, serta Johnson pada tahun 2019 berfokus pada implikasi strategis kecerdasan buatan terhadap perimbangan kekuatan geopolitik global namun belum menyentuh ranah taktis operasional. Di sisi lain, Alberts dalam publikasi klasik tahun 1999 dan 2002 memberikan landasan penting mengenai jejaring informasi taktis, meskipun ditulis sebelum era perkembangan algoritma pembelajaran mesin modern. Kelemahan konseptual tersebut mulai diisi oleh kelompok peneliti berikutnya seperti Das pada tahun 2019 yang mengembangkan simulasi agen cerdas untuk melakukan evaluasi ancaman dan alokasi senjata pertahanan udara secara otomatis. Kontribusi ini diperkuat oleh studi Monzon Baeza dan rekan-rekan pada tahun 2025 mengenai ketahanan jaringan taktis di lingkungan yang terganggu secara elektronik, serta penelitian Pranata dan kolega pada tahun 2025 yang mengonfirmasi kegunaan sistem pendukung keputusan berbasis kecerdasan buatan dalam mempercepat siklus taktis pertempuran melalui penyajian opsi tindakan yang terkalkulasi secara cepat.

Meskipun riset terdahulu telah memberikan kontribusi penting, masih terdapat kesenjangan penelitian yang sangat nyata baik secara konseptual maupun secara kontekstual. Secara konseptual, literatur militer global cenderung terfragmentasi antara pembahasan kebijakan strategis tingkat tinggi atau kajian teknis algoritma yang sangat spesifik untuk satu jenis sensor saja, sehingga belum ada penelitian yang merumuskan model arsitektur terintegrasi dari tahap akuisisi data multisensor hingga rekomendasi keputusan komando akhir dalam satu cetak biru strategi nasional yang utuh. Secara kontekstual, model-model pertahanan yang dikembangkan oleh negara maju seperti Amerika Serikat atau pakta pertahanan NATO selalu mengasumsikan ketersediaan infrastruktur digital berkecepatan tinggi tanpa hambatan geografis. Model tersebut tidak dapat langsung diterapkan di Indonesia karena adanya kesenjangan operasional berupa keterbatasan konektivitas antarpulau, sebaran sensor radar yang belum merata di wilayah kepulauan, keragaman protokol data akibat pembelian alutsista dari produsen yang berbeda

beda, serta belum adanya kerangka tata kelola kecerdasan buatan militer yang legal untuk memandu jalannya operasi pertahanan udara nasional.

Penelitian ini memiliki relevansi dan signifikansi yang sangat tinggi untuk mengisi kesenjangan akademik serta praktis tersebut melalui penyusunan Model Strategi Integrasi AI C4ISR Pertahanan Udara Indonesia. Secara teoritis, penelitian ini memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pertahanan dengan merumuskan ulang konsep keunggulan informasi menjadi keunggulan keputusan melalui integrasi lapisan kognisi mesin dalam sistem saraf C4ISR, yang sekaligus mengaitkan teori keputusan klasik dengan konsep human AI teaming modern. Secara praktis, model yang terdiri dari enam lapisan fungsional komputasi dan lima pilar pemampu ini dirancang khusus untuk menyesuaikan dengan karakteristik geografi kepulauan Indonesia melalui sistem pengolahan data terdistribusi tingkat regional. Hasil rumusan ini bernilai tinggi sebagai dokumen rujukan strategis bagi Kementerian Pertahanan dan Tentara Nasional Indonesia dalam merencanakan modernisasi sistem pertahanan udara nasional yang adaptif terhadap karakter peperangan masa depan.

### **3. Metode Penelitian**

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan desain studi pustaka (library research) yang dipilih karena objek kajian berupa konsep, strategi, dan model integrasi teknologi pertahanan yang pengetahuannya terdistribusi dalam literatur ilmiah, doktrin, dan dokumen kebijakan. Data penelitian bersumber dari artikel jurnal internasional terindeks Scopus dan jurnal nasional terakreditasi SINTA yang terbit dalam rentang lima sampai tujuh tahun terakhir, buku ilmiah dan literatur klasik yang relevan, doktrin militer, kebijakan pertahanan, laporan resmi pemerintah, dokumen standardisasi NATO, serta publikasi lembaga strategis internasional seperti RAND Corporation, Stockholm International Peace Research Institute (SIPRI), dan International Institute for Strategic Studies (IISS), yang dilengkapi dokumen resmi Kementerian Pertahanan Republik Indonesia dan Tentara Nasional Indonesia termasuk Buku Putih Pertahanan, Doktrin Operasi Gabungan, Doktrin Swa Bhuwana Paksa, dan Doktrin Sistem Pertahanan Udara Nasional. Penelusuran literatur dilakukan menggunakan kata kunci artificial intelligence, C4ISR, air

defense, military decision making, network centric warfare, dan kombinasinya, dengan kriteria inklusi berupa relevansi substantif terhadap fokus penelitian dan kredibilitas penerbit.

Analisis data dilakukan dengan memadukan teknik content analysis dan thematic analysis melalui enam tahapan sistematis. Pertama, reduksi data dilakukan dengan menyeleksi dan mengekstraksi unit-unit informasi yang relevan dari korpus literatur. Kedua, kategorisasi tema dilakukan dengan mengelompokkan temuan ke dalam tema transformasi C4ISR, aplikasi AI, pengambilan keputusan, dan konteks Indonesia. Ketiga, analisis hubungan antarkonsep dilakukan untuk memetakan keterkaitan logis antara kapabilitas AI, fungsi C4ISR, dan kebutuhan keputusan operasi pertahanan udara. Keempat, sintesis teori dilakukan dengan mengintegrasikan teori C4ISR, teori pengambilan keputusan Simon, teori network centric warfare, dan teori AI decision support sebagai lensa analisis. Kelima, interpretasi strategis dilakukan untuk menarik implikasi temuan bagi konteks pertahanan udara Indonesia. Keenam, penyusunan model konseptual dilakukan dengan mengonstruksi kerangka integrasi yang menjawab research gap. Validitas penelitian dijaga melalui triangulasi sumber dengan membandingkan temuan dari jenis sumber yang berbeda, triangulasi teori dengan menguji konsistensi interpretasi lintas perspektif teoretis, serta cross reference terhadap berbagai publikasi ilmiah internasional sehingga temuan yang dihasilkan memiliki kredibilitas dan konfirmabilitas yang memadai.

#### **4. Hasil dan Diskusi**

##### **4.1 Transformasi C4ISR pada Era Artificial Intelligence**

Temuan pertama penelitian ini menunjukkan bahwa AI sedang mentransformasikan C4ISR dari arsitektur yang berpusat pada manusia sebagai pemroses informasi menjadi arsitektur kognitif hibrida manusia–mesin. Pada C4ISR generasi jejaring, keunggulan bersumber dari konektivitas; data sensor dialirkan ke pusat komando dan manusia mengerjakan hampir seluruh beban interpretasi (Alberts et al., 1999). Pada C4ISR era AI, keunggulan bergeser ke lapisan kognisi mesin, yakni kemampuan algoritma mengubah

banjir data multisensor menjadi pengetahuan yang dapat ditindaklanjuti dalam hitungan detik (RAND Corporation, 2025). Pergeseran ini bersifat paradigmatik karena mengubah pertanyaan desain sistem dari bagaimana menghubungkan simpul-simpul jejaring menjadi bagaimana mendistribusikan fungsi kognitif antara manusia dan mesin di sepanjang rantai keputusan. Dalam kerangka teori Simon (1997), transformasi ini dapat dibaca sebagai perluasan sistematis batas rasionalitas organisasi militer: fase intelligence yang semula dibatasi kapasitas persepsi manusia kini diperluas oleh persepsi mesin yang bekerja tanpa lelah pada skala data yang mustahil dijangkau analis manusia. Konsekuensinya, negara yang gagal membangun lapisan kognisi mesin pada C4ISR-nya akan mengalami keterbelakangan keputusan (decision inferiority) meskipun memiliki alutsista modern, karena keunggulan platform tanpa keunggulan kognitif tidak lagi menjamin keunggulan operasional (Horowitz, 2018; Layton, 2021).

#### **4.2 Artificial Intelligence dan Akselerasi Siklus Keputusan**

Temuan kedua menegaskan bahwa kontribusi paling menentukan dari AI terhadap operasi pertahanan udara adalah akselerasi siklus keputusan observe–orient–decide–act (OODA). Ancaman hipersonik yang melaju di atas lima kali kecepatan suara dan serangan saturasi swarm drone secara sengaja dirancang untuk mengalahkan siklus OODA lawan dengan memampatkan waktu yang tersedia bagi deteksi, penilaian, dan penindakan (Johnson, 2019; Scharre, 2018). Dalam kondisi tersebut, kecepatan siklus keputusan menjadi medan pertarungan itu sendiri; pihak yang siklusnya lebih cepat memaksa lawan bereaksi terhadap situasi yang telah usang. AI mengakselerasi setiap fase siklus: pada fase observe, algoritma deteksi memproses data radar, elektro-optik, dan sinyal secara paralel; pada fase orient, sistem fusi membangun recognized air picture dan mengklasifikasikan ancaman secara otomatis; pada fase decide, decision support system menyajikan opsi penindakan beserta kalkulasi risiko; dan pada fase act, penugasan senjata serta penilaian kerusakan dipercepat oleh otomatisasi (Das, 2019; Pranata et al., 2025), sebagaimana divisualisasikan pada Gambar 1. Namun demikian, analisis kritis terhadap literatur menunjukkan bahwa

akselerasi tanpa pengaman berpotensi menimbulkan eskalasi yang tidak diinginkan, karena kecepatan mesin dapat melampaui kecepatan pertimbangan politik dan etis manusia (Cummings, 2017; Boulanin & Verbruggen, 2017). Oleh karena itu, desain akselerasi harus bersifat asimetris: fase observe dan orient diakselerasi maksimal, sedangkan fase decide tetap menempatkan manusia sebagai pemegang otoritas dengan dukungan komputasi yang memperkaya, bukan menggantikan, penilaiannya.



Gambar 1. Akselerasi Siklus Keputusan OODA Berbantuan AI dalam Operasi Pertahanan Udara

Sumber: diolah peneliti (2026)

### 4.3 Machine Learning dalam Surveillance, Intelligence Fusion, dan Predictive Threat Assessment

Temuan ketiga memperlihatkan tiga wilayah aplikasi machine learning yang paling matang dan relevan bagi pertahanan udara. Pertama, pada fungsi surveillance, algoritma deep learning terbukti mampu melakukan deteksi dan klasifikasi otomatis sasaran udara dari data radar dan citra dengan tingkat akurasi yang tinggi, termasuk membedakan pesawat komersial, pesawat militer, dan wahana nirawak berukuran kecil yang selama ini sulit dikenali radar konvensional, serta mengenali anomali pola penerbangan yang mengindikasikan niat bermusuhan (RAND Corporation, 2025). Kedua, pada fungsi

intelligence fusion, teknik multisensor data fusion berbasis machine learning mengorelasikan data radar, sinyal elektronik, citra satelit, dan informasi intelijen manusia menjadi satu gambaran situasi yang koheren, mengatasi problem klasik duplikasi lintasan dan konflik identifikasi antarsensor (Alberts, 2002; Das, 2019). Ketiga, pada fungsi predictive threat assessment, model prediktif mengestimasi lintasan, titik jatuh, dan sasaran yang paling mungkin dari ancaman yang terdeteksi, serta memprioritaskan ancaman berdasarkan tingkat bahaya dan nilai aset yang dilindungi, sehingga alokasi senjata dapat dioptimalkan sebelum ancaman memasuki jangkauan kritis (Das, 2019). Sintesis ketiga wilayah tersebut menunjukkan bahwa nilai machine learning bagi pertahanan udara bersifat kumulatif dan berantai: kualitas prediksi bergantung pada kualitas fusi, dan kualitas fusi bergantung pada kualitas serta kelengkapan data surveillance, sehingga strategi integrasi AI tidak dapat dilakukan secara tambal sulam pada satu fungsi saja melainkan harus dirancang sebagai pipeline data-to-decision yang utuh.

#### **4.4 AI-Assisted Decision Support dan Human-in-the-Loop pada Command and Control**

Temuan keempat menyangkut integrasi AI pada jantung C4ISR, yaitu fungsi command and control. Literatur menunjukkan bahwa agen cerdas mampu melaksanakan threat evaluation, electronic counter-countermeasure, dan weapon allocation secara otonom dengan konsistensi tinggi (Das, 2019), dan bahwa aplikasi berbasis AI meningkatkan kualitas keputusan komandan dalam peperangan modern melalui penyajian opsi yang terkalkulasi (Pranata et al., 2025). Namun literatur yang sama juga konsisten memperingatkan risiko yang melekat: bias data pelatihan yang dapat menghasilkan klasifikasi keliru, kerapuhan algoritma terhadap deception dan adversarial attack, opasitas model yang menyulitkan komandan memahami dasar rekomendasi, serta bahaya automation bias di mana operator menerima rekomendasi mesin secara tidak kritis (Cummings, 2017; Svenmarck et al., 2018; Scharre, 2018). Kerangka human-AI cooperation yang dikembangkan NATO STO (2019) menawarkan resolusi konseptual melalui pembagian otoritas berjenjang: fungsi dengan konsekuensi rendah dan waktu kritis dapat diotomatisasi penuh, fungsi penilaian ancaman

berjalan dengan supervisi manusia (*human-on-the-loop*), sedangkan keputusan penggunaan kekuatan mematikan wajib melalui validasi manusia (*human-in-the-loop*) untuk menjamin meaningful human control dan akuntabilitas hukum. Bagi Indonesia yang menganut kebijakan pertahanan defensif aktif dan terikat pada hukum humaniter internasional, prinsip *human-in-the-loop* bukan sekadar pilihan teknis melainkan keharusan doktrinal yang harus dikodifikasi sejak tahap desain sistem.

#### **4.5 Tantangan Implementasi di Indonesia**

Temuan kelima mengidentifikasi delapan klaster tantangan implementasi yang saling berkelindan. Pada aspek teknologi, kesenjangan terletak pada belum tersedianya infrastruktur komputasi dan penyimpanan data pertahanan berskala besar, keterbatasan bandwidth komunikasi data antarpulau dan antarsatuan, serta ketiadaan data pelatihan berlabel dalam jumlah dan kualitas yang memadai untuk membangun model machine learning yang andal pada konteks ruang udara Indonesia. Pada aspek organisasi, struktur komando yang berorientasi matra dan budaya organisasi yang belum sepenuhnya data-driven memperlambat adopsi, sementara mekanisme akuisisi alutsista yang berorientasi platform belum mengakomodasi pengadaan kapabilitas perangkat lunak yang menuntut pembaruan berkelanjutan. Pada aspek interoperabilitas, keragaman asal negara produsen alutsista menghasilkan heterogenitas protokol data yang menyulitkan integrasi, dan belum diadopsinya standar pertukaran data taktis secara menyeluruh membuat fusi data lintas platform sulit diwujudkan (Alberts et al., 1999; Kementerian Pertahanan Republik Indonesia, 2023). Pada aspek sumber daya manusia, terdapat kelangkaan personel dengan kompetensi ganda di bidang operasi udara dan ilmu data, serta belum terbangunnya jalur karier dan pendidikan yang sistematis untuk menumbuhkan talenta AI pertahanan.

Pada aspek keamanan siber, integrasi AI justru memperluas permukaan serangan; sistem yang bergantung pada data dapat dilumpuhkan melalui peracunan data (*data poisoning*), manipulasi input (*adversarial examples*), dan penetrasi jejaring, sehingga keamanan siber harus diperlakukan sebagai prasyarat integrasi dan bukan pelengkap

(Svenmarck et al., 2018). Pada aspek tata kelola AI militer, Indonesia belum memiliki kerangka regulasi yang mengatur standar pengujian, sertifikasi, audit algoritma, dan atribusi tanggung jawab atas keputusan berbantuan AI, padahal tata kelola merupakan fondasi legitimasi penggunaan AI dalam operasi militer (Boulanin & Verbruggen, 2017). Pada aspek etika, penggunaan AI dalam keputusan penindakan menuntut kepatuhan pada prinsip distingsi, proporsionalitas, dan kehati-hatian dalam hukum humaniter internasional, yang mensyaratkan desain sistem yang dapat dijelaskan (explainable) dan dapat diaudit (Scharre, 2018; Cummings, 2017). Pada aspek industri pertahanan nasional, kapasitas riset dan produksi dalam negeri untuk sistem C4ISR berbasis AI masih terbatas, sehingga tanpa strategi alih teknologi dan pengembangan ekosistem riset triple helix antara pemerintah, industri, dan perguruan tinggi, integrasi AI berisiko menciptakan ketergantungan baru yang justru melemahkan kemandirian pertahanan. Analisis lintas kluster menunjukkan bahwa tantangan-tantangan tersebut bersifat sistemik; kemajuan pada satu kluster tanpa kluster lainnya tidak akan menghasilkan kapabilitas operasional, sehingga dibutuhkan strategi integrasi yang memperlakukan kedelapan kluster sebagai satu kesatuan desain, sebagaimana dipetakan pada Gambar 2.



Gambar 2. Delapan Kluster Tantangan Implementasi Integrasi AI-C4ISR di Indonesia

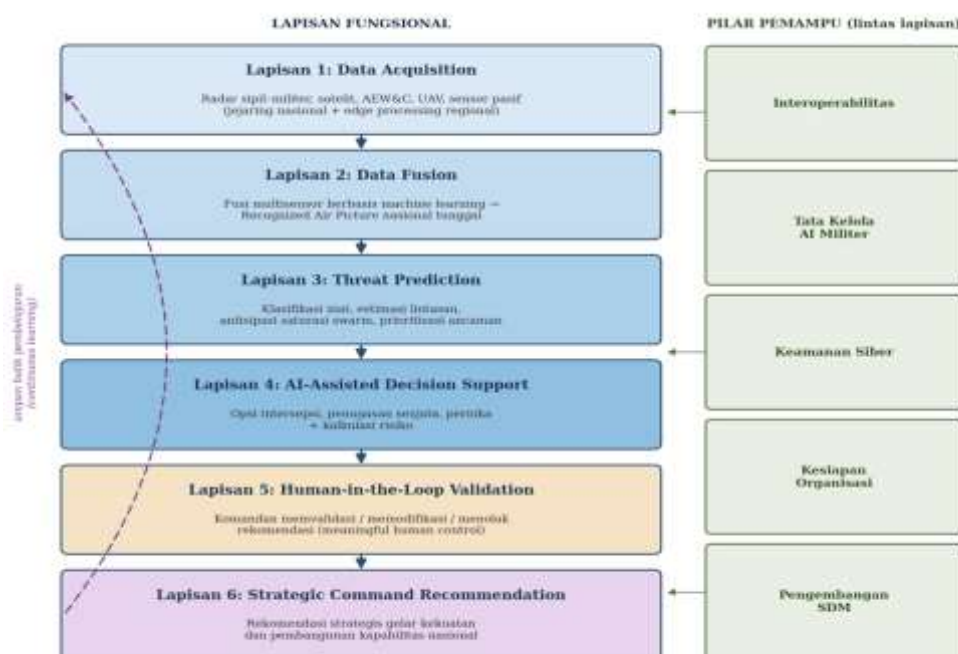
Sumber: diolah peneliti (2026)

#### **4.6 Model Konseptual Strategi Integrasi AI pada Sistem C4ISR Pertahanan Udara Indonesia**

Berdasarkan sintesis teoretis dan analisis kesenjangan di atas, penelitian ini mengonstruksi Model Strategi Integrasi AI-C4ISR Pertahanan Udara Indonesia yang tersusun atas enam lapisan fungsional berurutan dan lima pilar pemampu lintas lapisan. Lapisan pertama, data acquisition, mengintegrasikan seluruh sensor militer dan sipil, meliputi radar pertahanan udara, radar pengawasan penerbangan sipil, satelit, pesawat peringatan dini, pesawat pengintai, wahana nirawak, dan sensor pasif elektronik, ke dalam satu jejaring data nasional dengan arsitektur terdistribusi yang memperhitungkan geografi kepulauan melalui simpul-simpul pemrosesan regional (edge processing) guna mengatasi keterbatasan konektivitas antarpulau. Lapisan kedua, data fusion, melaksanakan fusi data multisensor berbasis machine learning untuk menghasilkan satu recognized air picture nasional yang tunggal, konsisten, dan mutakhir, yang menjadi rujukan bersama seluruh jenjang komando sesuai prinsip shared situational awareness dalam network centric warfare (Alberts et al., 1999). Lapisan ketiga, threat prediction, menjalankan analitik prediktif untuk klasifikasi niat, estimasi lintasan, antisipasi pola serangan termasuk saturasi swarm, dan prioritas ancaman berbasis nilai aset yang dilindungi (Das, 2019). Lapisan keempat, AI-assisted decision support, menerjemahkan keluaran prediksi menjadi opsi tindakan yang terkalkulasi, meliputi alternatif intersepsi, penugasan senjata, dan langkah peperangan elektronika, lengkap dengan estimasi risiko, sesuai fungsi perluasan fase design dalam teori keputusan Simon (1997). Lapisan kelima, human-in-the-loop decision validation, menempatkan komandan sebagai pemegang otoritas keputusan yang memvalidasi, memodifikasi, atau menolak rekomendasi mesin dengan dukungan antarmuka yang menjelaskan dasar rekomendasi, sebagai penjaminan meaningful human control (NATO STO, 2019). Lapisan keenam, strategic command recommendation, mengagregasi pola ancaman dan kinerja operasi menjadi rekomendasi strategis bagi pimpinan nasional untuk

penyesuaian gelar kekuatan, pembangunan kapabilitas, dan kebijakan pertahanan udara jangka panjang.

Kelima pilar pemampu bekerja lintas lapisan sebagai prasyarat keberlanjutan model. Pilar interoperabilitas mewajibkan adopsi standar arsitektur terbuka dan protokol pertukaran data taktis yang seragam bagi seluruh pengadaan alutsista baru serta program retrofit bagi sistem lama. Pilar tata kelola AI militer menetapkan regulasi pengujian, sertifikasi, audit algoritma, manajemen risiko, dan atribusi akuntabilitas keputusan berbantuan AI. Pilar keamanan siber menerapkan prinsip security-by-design, arsitektur zero trust, dan pengujian ketahanan algoritma terhadap serangan adversarial pada setiap lapisan. Pilar kesiapan organisasi mencakup penyesuaian doktrin, prosedur operasi standar, struktur komando, dan mekanisme akuisisi yang adaptif terhadap kapabilitas perangkat lunak. Pilar pengembangan sumber daya manusia membangun pendidikan, pelatihan, dan jalur karier bagi talenta ganda operasi–data, termasuk kerja sama dengan perguruan tinggi dan industri nasional. Struktur lengkap model divisualisasikan pada Gambar 3 dan dirinci pada Tabel 1. Keunggulan komparatif model ini terhadap kerangka terdahulu terletak pada tiga hal: pertama, model menghubungkan keseluruhan siklus dari akuisisi data hingga rekomendasi strategis dan tidak berhenti pada satu fungsi parsial; kedua, model secara eksplisit mengunci posisi manusia pada titik validasi keputusan sehingga selaras dengan kebutuhan doktrinal dan etika; ketiga, model dikontekstualisasikan pada karakteristik kepulauan Indonesia melalui arsitektur pemrosesan regional dan prioritas interoperabilitas multiplatform.



**Gambar 3. Model Strategi Integrasi AI-C4ISR Pertahanan Udara Indonesia: Enam Lapisan Fungsional dan Lima Pilar Pemampu**

Sumber: diolah peneliti (2026)

**Tabel 1. Model Strategi Integrasi AI-C4ISR Pertahanan Udara Indonesia**

Komponen Model	Fungsi Utama	Landasan Teoretis / Prinsip Kunci
Lapisan 1: Data Acquisition	Integrasi seluruh sensor militer dan sipil (radar, satelit, AEW&C, UAV, sensor pasif) dalam jejaring data nasional dengan pemrosesan regional (edge) untuk geografi kepulauan	C4ISR Theory; NCW (sensor networking)
Lapisan 2: Data Fusion	Fusi data multisensor berbasis machine learning menghasilkan satu recognized air picture nasional	NCW (shared situational awareness)
Lapisan 3: Threat Prediction	Klasifikasi niat, estimasi lintasan, antisipasi pola serangan saturasi, prioritas ancaman	AI Decision Support; Das (2019)
Lapisan 4: AI-Assisted Decision Support	Penyajian opsi intersepsi, penugasan senjata, dan langkah pernika beserta kalkulasi risiko	Bounded rationality — perluasan fase design (Simon, 1997)
Lapisan 5: Human-in-the-Loop Decision Validation	Validasi, modifikasi, atau penolakan rekomendasi mesin oleh komandan dengan antarmuka yang dapat dijelaskan	Meaningful human control (NATO STO, 2019)
Lapisan 6: Strategic Command Recommendation	Agregasi pola ancaman dan kinerja operasi menjadi rekomendasi strategis pimpinan nasional	Decision Making Theory (fase intelligence strategis)
Pilar Pemampu (lintas lapisan)	Interoperabilitas; tata kelola AI militer; keamanan siber; kesiapan organisasi; pengembangan SDM	Prasyarat sistemik keberlanjutan integrasi

#### 4.7 Implikasi Teoretis dan Praktis

Secara teoretis, penelitian ini memberikan tiga kontribusi. Pertama, penelitian memperluas teori C4ISR dengan menambahkan lapisan kognisi mesin sebagai komponen struktural baru yang setara kedudukannya dengan komponen komunikasi dan komputasi, sehingga arsitektur C4ISR era AI lebih tepat dipahami sebagai sistem kognitif hibrida

manusia–mesin. Kedua, penelitian mengoperasionalkan konsep bounded rationality Simon dalam konteks militer kontemporer dengan menunjukkan bahwa AI berfungsi sebagai instrumen perluasan batas rasionalitas pada fase intelligence dan design, sementara fase choice tetap menjadi domain manusia; formulasi ini menjembatani teori keputusan klasik dengan literatur human–AI teaming mutakhir. Ketiga, penelitian menunjukkan bahwa proposisi network centric warfare mengenai information superiority perlu direvisi menjadi decision superiority, karena pada era AI keunggulan informasi hanya bernilai apabila dikonversi menjadi keunggulan keputusan melalui lapisan analitik cerdas. Secara praktis, model yang dihasilkan menyediakan peta jalan arsitektural bagi Kementerian Pertahanan dan Tentara Nasional Indonesia dalam merancang modernisasi Sistem Pertahanan Udara Nasional, menyediakan kerangka penilaian kesiapan bagi perencana kekuatan, serta menyediakan rujukan bagi industri pertahanan nasional dalam mengarahkan investasi riset dan pengembangan.

#### **4.8 Rekomendasi Kebijakan**

Berdasarkan model konseptual tersebut, penelitian ini merumuskan lima rekomendasi kebijakan yang disusun secara berurutan sesuai logika prasyarat. Pertama, pemerintah perlu menetapkan strategi nasional integrasi AI pertahanan yang memuat visi, prioritas, tahapan, dan tata kelola, sebagai payung kebijakan yang mengikat seluruh pemangku kepentingan. Kedua, pembangunan fondasi data pertahanan harus didahulukan melalui integrasi radar sipil–militer, standardisasi format data, pembangunan infrastruktur komputasi pertahanan, dan penetapan kebijakan data pertahanan nasional, karena tanpa fondasi data seluruh ambisi AI tidak akan terwujud. Ketiga, implementasi dilakukan secara bertahap dimulai dari fungsi berisiko rendah bernilai tinggi, yaitu otomatisasi deteksi dan fusi data pada lapisan surveillance, kemudian meningkat ke analitik prediktif, dan terakhir ke decision support pada command and control setelah kepercayaan dan tata kelola terbangun. Keempat, pembangunan sumber daya manusia dilaksanakan melalui pendidikan formal ilmu data pertahanan, pelatihan bersertifikasi bagi operator dan komandan, serta skema talenta

khusus yang menarik ahli AI nasional ke sektor pertahanan. Kelima, kemandirian teknologi diperkuat melalui konsorsium riset triple helix antara lembaga riset pertahanan, perguruan tinggi, dan industri nasional dengan klausul alih teknologi pada setiap pengadaan sistem C4ISR dari luar negeri.

#### **4.9 Keterbatasan Penelitian dan Agenda Penelitian Lanjutan**

Penelitian ini memiliki sejumlah keterbatasan yang perlu diakui secara jujur. Sebagai studi pustaka, penelitian tidak melakukan verifikasi empiris lapangan terhadap kondisi aktual sistem pertahanan udara Indonesia yang sebagian bersifat rahasia, sehingga penggambaran Das Sein bertumpu pada dokumen terbuka dan literatur sekunder. Model konseptual yang dihasilkan belum melalui validasi pakar secara formal maupun pengujian simulasi, sehingga statusnya adalah proposisi teoretis yang menuntut pengujian lanjutan. Selain itu, kecepatan perkembangan teknologi AI membuat sebagian temuan berisiko usang dalam waktu relatif singkat. Berdasarkan keterbatasan tersebut, agenda penelitian selanjutnya diarahkan pada empat jalur: validasi model melalui metode Delphi dengan panel pakar pertahanan udara dan AI; pengujian kinerja model melalui simulasi wargaming dan eksperimen human-in-the-loop untuk mengukur akselerasi siklus keputusan; penelitian kebijakan mengenai desain kelembagaan tata kelola AI militer Indonesia; serta penelitian teknis mengenai arsitektur fusi data multisensor yang optimal bagi geografi kepulauan. Keempat jalur tersebut secara bersama-sama akan mematangkan model dari proposisi konseptual menjadi cetak biru implementatif.

#### **5. Kesimpulan**

Penelitian ini menyimpulkan bahwa integrasi Artificial Intelligence pada sistem C4ISR merupakan keniscayaan strategis bagi pertahanan udara Indonesia di tengah transformasi peperangan menuju data-driven warfare, network centric warfare, dan multidomain operation yang ditandai ancaman hipersonik, swarm drone, sistem otonom, dan peperangan elektronika. AI mengakselerasi keseluruhan siklus keputusan melalui otomatisasi surveillance, fusi intelijen multisensor, prediksi ancaman, dan dukungan keputusan,

sekaligus memperluas batas rasionalitas komandan sebagaimana dijelaskan teori bounded rationality, namun akselerasi tersebut harus dipagari prinsip human-in-the-loop agar otoritas, akuntabilitas, dan etika keputusan tetap berada pada manusia. Kesenjangan antara kondisi ideal dan kondisi aktual Indonesia yang masih ditandai fragmentasi data, keterbatasan interoperabilitas, dominasi analisis manual, dan ketiadaan tata kelola AI militer menuntut strategi integrasi yang sistemik. Untuk itu penelitian ini menghasilkan Model Strategi Integrasi AI-C4ISR Pertahanan Udara Indonesia yang menghubungkan enam lapisan fungsional dari data acquisition hingga strategic command recommendation dan ditopang lima pilar pemampu berupa interoperabilitas, tata kelola AI militer, keamanan siber, kesiapan organisasi, dan pengembangan sumber daya manusia, yang seluruhnya dikontekstualisasikan pada karakteristik geografis negara kepulauan. Model tersebut memberikan kontribusi teoretis berupa reformulasi C4ISR sebagai sistem kognitif hibrida dan pergeseran konsep information superiority menuju decision superiority, serta kontribusi praktis berupa peta jalan kebijakan bagi pembangunan Sistem Pertahanan Udara Nasional yang adaptif terhadap karakter peperangan masa depan.

## Daftar Pustaka

### 1. Buku

- Alberts, D. S. (2002). *Information age transformation: Getting to a 21st century military*. CCRP Publication Series.
- Alberts, D. S., Garstka, J. J., & Stein, F. P. (1999). *Network centric warfare: Developing and leveraging information superiority* (2nd ed.). CCRP Publication Series.
- Alberts, D. S., Garstka, J. J., Hayes, R. E., & Signori, D. A. (2001). *Understanding information age warfare*. CCRP Publication Series.
- Allen, G. C., & Chan, T. (2017). *Artificial intelligence and national security*. Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School.
- Boord, W. J., & Hoffman, J. B. (2016). *Air and missile defense systems engineering*. CRC Press.

Boulanin, V., & Verbruggen, M. (2017). Mapping the development of autonomy in weapon systems. Stockholm International Peace Research Institute.

Cummings, M. L. (2017). Artificial intelligence and the future of warfare. Chatham House.

International Institute for Strategic Studies. (2024). The military balance 2024. Routledge.

Layton, P. (2021). Fighting artificial intelligence battles: Operational concepts for future AI-enabled wars. Joint Studies Paper Series No. 4, Department of Defence, Australia.

Scharre, P. (2018). Army of None: Autonomous Weapons and the Future of War. W. W. Norton & Company.

Simon, H. A. (1997). Administrative behavior: A study of decision-making processes in administrative organizations (4th ed.). The Free Press.

## 2. Jurnal

Das, S. K. (2019). Modeling intelligent decision-making command and control agents: An application to air defense. *Journal of Defense Modeling and Simulation*.

Das, S. K. (2020). Agent-based decision making for integrated air defense system. *Journal of Defense Modeling and Simulation*.

Horowitz, M. C. (2018). Artificial intelligence, international competition, and the balance of power. *Defense and Security Analysis*, 35(2), 147–169.

Johnson, J. (2019). Artificial intelligence and future warfare: Implications for international security. *Defense and Security Analysis*, 35(2), 147–169.

Monzon Baeza, V., et al. (2025). Artificial intelligence for tactical networking in contested environments.

Pranata, Y., Hadi, Y., & Arman, A. (2025). Use of artificial intelligence based applications in decision making in order to win modern warfare. *Formosa Journal of Applied Sciences*, 4(1).

Sarjito, A. (2024). Peran intelijen melalui perumusan kebijakan pertahanan menghadapi hybrid warfare.



Svenmarck, P., Luotsinen, L., Nilsson, M., & Schubert, J. (2018). Possibilities and challenges for artificial intelligence in military applications. Proceedings of the NATO Big Data and Artificial Intelligence for Military Decision Making Specialists' Meeting.

## 5. Sumber Dokumen

Hoadley, D. S., & Lucas, N. J. (2018). Artificial intelligence and national security (CRS Report No. R45178). Congressional Research Service.

Kementerian Pertahanan Republik Indonesia. (2023). Buku Putih Pertahanan Indonesia. Kementerian Pertahanan Republik Indonesia.

NATO Science and Technology Organization. (2019). Human–AI cooperation in military decision making. NATO STO.

RAND Corporation. (2025). Artificial intelligence for intelligence, surveillance, and reconnaissance sense-making. RAND Corporation.

Tentara Nasional Indonesia. (2019). Doktrin Operasi Gabungan TNI. Markas Besar TNI.

Tentara Nasional Indonesia Angkatan Udara. (2021). Doktrin TNI Angkatan Udara Swa Bhuwana Paksa. Markas Besar TNI AU.

United States Joint Chiefs of Staff. (2018). Joint Publication 3-01: Countering Air and Missile Threats. U.S. Department of Defense