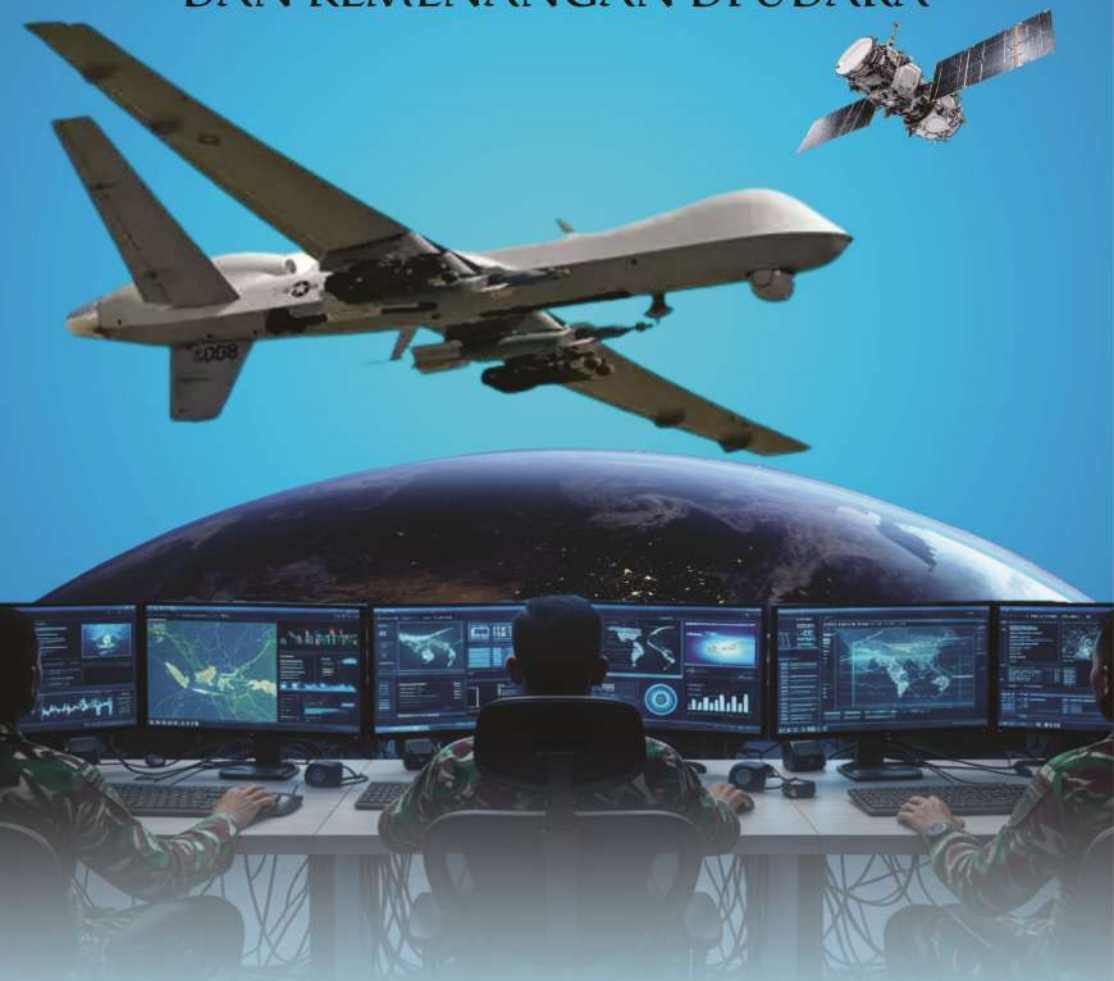




THE FUTURE OF AIR POWER

QUANTUM, ARTIFICIAL INTELLIGENCE,
DAN KEMENANGAN DI UDARA



**Kolonel Lek Dr. M.A. Harits Ariyawan, S.T., M.Si., M.Han.
Sri Patmi, S.I.Kom., M.Han.**

THE FUTURE OF AIR POWER

QUANTUM, ARTIFICIAL INTELLIGENCE,
DAN KEMENANGAN DI UDARA

**Kolonel Lek Dr. M.A. Harits Ariyawan, S.T., M.Si., M.Han.
Sri Patmi, S.I.Kom., M.Han.**



***THE FUTURE OF AIR POWER:
QUANTUM, ARTIFICIAL INTELLIGENCE, DAN KEMENANGAN DI UDARA***

Penulis:

**Kolonel Lek Dr. M.A. Harits Ariyawan, S.T., M.Si., M.Han.
Sri Patmi, S.I.Kom., M.Han.**

Desain Cover:

Andi Juliandi

Sumber Ilustrasi:

www.freepik.com

Tata Letak:

Handarini Rohana

Editor:

Sri Patmi, S.I.Kom., M.Han.

ISBN:

**978-634-246-584-4
978-634-246-589-9 (PDF)**

Cetakan Pertama:

Januari, 2026

Hak Cipta Dilindungi Oleh Undang-Undang

by Penerbit Widina Media Utama

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit.

PENERBIT:

WIDINA MEDIA UTAMA

Komplek Puri Melia Asri Blok C3 No. 17 Desa Bojong Emas
Kec. Solokan Jeruk Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat

Anggota IKAPI No. 519/JBA/2025

Website: www.penerbitwidina.com

Instagram: [@penerbitwidina](https://www.instagram.com/penerbitwidina)

Telepon (022) 87355370

KATA PENGANTAR

Perkembangan teknologi abad ke-21 telah mengubah cara negara-negara memandang kekuatan udara dan ruang angkasa sebagai instrumen strategis pertahanan. Jika pada era sebelumnya keunggulan udara ditentukan oleh superioritas *platform* pesawat tempur, radar, rudal, dan sistem komando maka pada dekade mendatang kemenangan di udara akan ditentukan oleh sesuatu yang jauh lebih mendasar: kemampuan sebuah negara untuk *mengintegrasikan Quantum Technology, Artificial Intelligence (AI)*, dan sistem otonom cerdas ke dalam seluruh ekosistem operasi militernya. Buku ini, *The Future of Air Power: Quantum, Artificial Intelligence*, dan Kemenangan di Udara, hadir sebagai respons terhadap perubahan besar tersebut, sekaligus sebagai panduan konseptual dan strategis untuk memahami revolusi teknologi yang sedang membentuk masa depan peperangan udara.

Transformasi kekuatan udara kini bergerak menuju paradigma yang menempatkan kecepatan komputasi, ketepatan sensorik, ketahanan jaringan, dan dominasi data sebagai penentu utama kemenangan. *Quantum computing* mampu memproses skenario medan pertempuran dengan kompleksitas eksponensial, memungkinkan simulasi ribuan kemungkinan dalam hitungan detik suatu kemampuan yang tak dapat dicapai oleh superkomputer konvensional. Dalam konteks operasi udara, ini membuka peluang baru: optimalisasi rute serangan, penghindaran pertahanan musuh, *decoding* sinyal kompleks, hingga perhitungan taktis secara *real time* dalam lanskap yang berubah setiap detik.

Di waktu yang sama, AI mendorong otomatisasi tingkat tinggi pada sistem udara tak berawak, radar cerdas, hingga manajemen peperangan elektronik. Integrasi AI dengan data masif dari sensor

udara dan satelit memungkinkan komandan memahami pola ancaman sebelum ancaman itu muncul secara fisik. Dengan kata lain, perang udara masa depan tidak lagi sepenuhnya ditentukan oleh kemampuan manusia mengontrol *platform*, melainkan sejauh mana manusia mampu merancang algoritme, mengendalikan data, dan memahami logika interaksi antar sistem otonom.

Ketika *quantum* dan AI dipadukan, lahirlah *domain* baru yang menentukan arah kompetisi global: *Quantum-AI Air Dominance*. Negara-negara besar seperti Amerika Serikat, Tiongkok, Rusia, dan anggota NATO telah berlomba mengembangkan radar kuantum, sensor berbasis atom, navigasi tanpa GPS, serta *platform drone* otonom yang tidak dapat di-jam atau di-*spoof*. Ini bukan lagi teori futuristik; ini adalah perlombaan yang sedang berlangsung dan membentuk keseimbangan kekuatan dunia.

Di tengah dinamika tersebut, Indonesia dan negara-negara berkembang menghadapi dilema strategis: apakah mereka akan menjadi pengikut yang pasif atau aktor yang mampu memanfaatkan peluang teknologi untuk memperkuat pertahanan udara dan kedaulatan wilayah? Buku ini berusaha memberikan peta jalan intelektual agar bangsa-bangsa dapat mempersiapkan diri, membangun kapasitas, dan merancang strategi jangka panjang yang relevan dengan perubahan zaman.

Dengan harapan bahwa buku ini dapat memberikan wawasan baru, memperkaya diskursus strategis, dan menginspirasi para pemimpin, perwira, akademisi, dan pembuat kebijakan untuk memikirkan ulang masa depan kekuatan udara, saya persembahkan karya ini sebagai kontribusi kecil bagi upaya kolektif menjaga perdamaian, stabilitas, dan kedaulatan di langit Indonesia dan dunia.

Jakarta, Januari 2026

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
BAB 1 TRANSFORMASI AIR POWER DI ERA QUANTUM-AI	1
A. Evolusi Kekuatan Udara: Dari <i>Dogfight</i> ke <i>Digital Combat</i>	4
B. Paradigma Baru Superioritas Udara di Abad 21	7
C. Dinamika Geopolitik dan Lahirnya <i>Air Power 5.0</i>	11
D. Komputasi Kuantum sebagai <i>Game Changer</i> Strategis	14
E. <i>Artificial Intelligence</i> dan Otonomisasi Medan Tempur Udara	18
F. Integrasi <i>Multi-Domain Operations</i> (MDO) dan <i>Air Power</i> Masa Depan.....	21
G. Perubahan Doktrin Pertempuran Udara Global.....	24
H. Ancaman Baru: <i>Stealth</i> , Hipersonik, dan <i>Drone Swarm</i>	27
I. Persaingan Teknologi AS–China–Rusia dalam <i>Air Dominance</i>	31
J. Posisi dan Peluang Indonesia dalam Transformasi <i>Air Power</i> Global.....	37
BAB 2 TEKNOLOGI QUANTUM UNTUK SUPERIORITAS UDARA	41
A. <i>Quantum</i> Radar: Senjata Anti- <i>Stealth</i> Generasi Baru	44
B. <i>Quantum</i> Lidar dan Deteksi Target Berpresisi Nano	48
C. <i>Quantum Communication</i> : Jalur Komando Anti-Retas.....	51
D. <i>Quantum Sensors</i> untuk <i>Situational Awareness 360°</i>	55
E. <i>Quantum Encryption</i> dan Perlindungan Sistem Pertahanan Udara	59
F. <i>Quantum Computing</i> dalam Perhitungan Manuver Udara ...	62
G. <i>Quantum Navigation</i> : Sistem Anti-GPS <i>Jamming</i>	65
H. Peran <i>Quantum</i> dalam Intersepsi Rudal Hipersonik	69

I. <i>Quantum Battlefield Network</i> untuk Pertempuran <i>Real-Time</i>	72
J. Tantangan Implementasi <i>Quantum Tech</i> dalam <i>Air Power</i> Nasional	77

BAB 3 ARTIFICIAL INTELLIGENCE DAN OTONOMI PERTEMPURAN

UDARA	81
A. AI dalam Manajemen Sistem Pertahanan Udara	84
B. <i>Machine Vision</i> untuk <i>Target Acquisition</i> dan <i>Tracking</i>	87
C. <i>Autonomous Fighter Jets</i> : Masa Depan <i>Dogfight</i> Tanpa Pilot	91
D. <i>AI-Enabled Combat Drones</i> dan Operasi <i>Swarm</i>	94
E. <i>Predictive Intelligence</i> : Memprediksi Serangan Sebelum Terjadi	97
F. AI dalam Sistem Kendali Rudal dan <i>Interceptor</i>	100
G. <i>Air Combat Simulation</i> Berbasis AI dan <i>Digital Twin</i>	103
H. <i>OODA Loop</i> 1000x Lebih Cepat: AI sebagai <i>Decision Engin</i> ..	117
I. Skenario Perang Udara 2035–2050 Berbasis AI	124

BAB 4 PERTEMPURAN UDARA MASA DEPAN: DOKTRIN, STRATEGI,

DAN KONSEP OPERASI	129
A. <i>Air Superiority</i> vs <i>Air Supremacy</i> di Era <i>Quantum–AI</i>	132
B. <i>Anti-Access/Area Denial (A2/AD)</i> <i>Quantum-Enhanced</i>	135
C. Konsep Pertempuran Udara <i>6th Generation Fighters</i>	139
D. <i>Integrated Air and Missile Defense (IAMD)</i> Berbasis AI	142
E. <i>Network-Centric Air Warfare</i> Menuju <i>Battlefield</i> Autonom ..	145
F. Penangkalan Strategis (<i>Deterrence</i>) di Era <i>Quantum</i> <i>Defense</i>	148
G. Strategi Pertahanan Udara Melawan <i>Drone Swarm</i>	151
H. <i>Smart C4ISR Quantum-AI</i> untuk Komando Pertempuran ...	155
I. <i>Airbase of the Future: Smart, Hardened, and Autonomous</i> ..	159
J. Skenario Konflik Udara Indo-Pasifik 2040 dan Implikasinya ..	163

BAB 5 MEMBANGUN KEKUATAN UDARA INDONESIA 2050.....	169
A. Urgensi Modernisasi Pertahanan Udara Indonesia.....	172
B. <i>Roadmap</i> TNI AU menuju <i>Quantum–AI Air Power</i>	176
C. Pengembangan Radar, Sensor, dan Pertahanan Udara Nasional	184
D. Kolaborasi Industri Pertahanan Indonesia dengan <i>Global Partners</i>	198
E. Transformasi SDM dan Literasi Teknologi Pertahanan Udara	203
F. Kemandirian Teknologi: Dari <i>Platform Legacy</i> ke Sistem Pintar.....	211
G. Integrasi Data Nasional untuk <i>Command & Control</i> TNI AU.....	216
H. Kesiapan Indonesia Menghadapi Perang Udara Generasi Berikutnya	221
I. Hambatan, Risiko, dan Tantangan Implementasi <i>Quantum–AI Defense</i>	224
J. Visi <i>Air Power</i> Indonesia 2050: Dari Pertahanan ke Keunggulan Strategis	228
K. <i>Postur</i> TNI AU 2025–2044: Transformasi Kekuatan Udara Menuju Superioritas Cerdas	233
DAFTAR PUSTAKA	246
PROFIL PENULIS	254

BAB 1

TRANSFORMASI *AIR POWER* DI ERA *QUANTUM-AI*

Abad ke-21 menandai titik perubahan paling dramatis dalam sejarah kekuatan udara sejak kelahiran pesawat tempur pertama pada awal 1900-an. Jika dahulu perubahan ditentukan oleh kemajuan mesin, aerodinamika, dan persenjataan, kini transformasi *Air Power* digerakkan oleh dua kekuatan revolusioner: teknologi kuantum dan kecerdasan buatan (AI). Kedua teknologi ini tidak hanya mempercepat inovasi, tetapi juga mendefinisikan ulang karakter peperangan, cara kekuatan udara bekerja, dan bagaimana negara membangun keunggulan strategis di udara.

Dalam lingkungan keamanan global yang semakin kompleks, *Air Power* tidak lagi dipahami sekadar sebagai kemampuan menyerang atau bertahan di udara. Ia berkembang menjadi sistem ekosistem terpadu yang menghubungkan sensor, jaringan komunikasi, *platform* berawak maupun nirawak, analitik data, hingga pusat komando yang didukung AI. Kehadiran teknologi kuantum memperluas batas kemampuan ekosistem ini dengan menghadirkan kekuatan komputasi dan deteksi yang sebelumnya menjadi batas imajinasi.

Kemunculan *quantum sensing* seperti radar kuantum, magnetometri berbasis atom, dan gravimetri ultra-sensitif memberikan kemampuan mendeteksi pesawat siluman, kapal selam, hingga rudal hipersonik dengan tingkat akurasi yang jauh lebih tinggi. Lompatan ini mengubah wajah *surveillance*, *reconnaissance*, dan *early warning*, menjadikan keunggulan udara masa depan ditentukan oleh kecepatan

BAB 2

TEKNOLOGI QUANTUM

UNTUK SUPERIORITAS UDARA

Bab ini membuka pembahasan yang lebih dalam mengenai fondasi baru superioritas udara: teknologi *quantum*. Setelah pada bab sebelumnya dijelaskan bagaimana kecerdasan buatan dan dinamika geopolitik mendorong transformasi *Air Power* global, kini kita memasuki ranah yang menjadi sumber lompatan terbesar dalam sejarah peperangan udara. Jika mesin jet mengubah kecepatan, dan *stealth* mengubah visibilitas, maka *quantum* mengubah cara kita memahami dan memproses *realitas* tempur itu sendiri. Dengan kata lain, *quantum* bukan hanya teknologi; ia adalah paradigma baru yang akan mendefinisikan siapa yang unggul di langit masa depan.

Revolusi *quantum* membawa kemampuan yang sebelumnya hanya hidup dalam spekulasi ilmiah. Komputasi ultra-cepat, sensor ekstrem sensitif, serta sistem komunikasi yang tidak dapat disadap mulai meninggalkan laboratorium dan bergerak menuju aplikasi militer. Di sinilah *Air Power* memasuki babak baru, di mana kecepatan pengolahan informasi bukan lagi sekadar keuntungan taktis, tetapi menjadi faktor penentu hidup-mati sebuah misi. Negara yang mampu memproses miliaran skenario dalam hitungan detik akan memiliki pemahaman tempur yang jauh melampaui pihak lawan.

Pada tingkat global, Amerika Serikat, China, dan Rusia menjadikan teknologi *quantum* sebagai inti dari kompetisi strategis mereka. Ketiganya memahami bahwa superioritas udara tidak lagi ditentukan oleh berapa banyak pesawat tempur yang dimiliki, melainkan seberapa cepat sistem udara mereka berpikir, menghitung, dan mengantisipasi

BAB 3

ARTIFICIAL INTELLIGENCE DAN OTONOMI PERTEMPURAN UDARA

Memasuki bab ketiga ini, pembahasan beralih dari fondasi komputasi *quantum* menuju kekuatan transformasional lain yang sama besarnya: kecerdasan buatan dan sistem otonom dalam pertempuran udara. Jika teknologi *quantum* memberikan kecepatan komputasi dan akurasi prediktif di luar batas, maka AI memberikan kemampuan “bertindak” kemampuan untuk memutuskan, beradaptasi, dan merespons secara mandiri dalam lingkungan tempur yang sangat dinamis. Di titik inilah peperangan udara mengalami perubahan bentuk paling dramatis sepanjang sejarahnya, dari sistem yang dikendalikan manusia menuju ekosistem udara yang penuh dengan aktor-aktor otonom berkecepatan tinggi.

Sementara *quantum* mengubah fondasi struktur data dan pemrosesan informasi, AI mengubah cara *platform* udara berpikir dan bergerak. Kombinasi keduanya, seperti yang diuraikan pada bab sebelumnya, melahirkan sistem udara cerdas yang dapat memprediksi ancaman, mengoptimalkan rute penerbangan, hingga mengeksekusi manuver evasif tanpa campur tangan pilot. Namun pada bab ini, fokus diarahkan pada aspek otonomi bagaimana sistem udara modern mulai mengambil alih fungsi-fungsi yang sebelumnya terikat sepenuhnya pada kendali manusia.

Dalam konteks global, Amerika Serikat, China, dan Rusia tengah berlomba untuk menciptakan armada udara yang mampu beroperasi secara kolaboratif antara *platform* berawak dan tidak berawak. Program seperti Loyal Wingman, *Combat AI*, hingga *swarm drone*

BAB 4

PERTEMPURAN

UDARA MASA DEPAN: DOKTRIN, STRATEGI, DAN KONSEP OPERASI

Pertempuran udara masa depan tidak lagi dapat dipahami hanya sebagai kelanjutan dari teknologi aeronautika konvensional, tetapi sebagai evolusi menyeluruh dari bagaimana kekuatan udara dibangun, digunakan, dan dipadukan dengan kecerdasan buatan tingkat lanjut. Setelah dunia memasuki era otonomi tempur pada dekade 2030-an, batas antara pilot manusia, algoritma, dan mesin tempur menjadi semakin kabur, menciptakan lingkungan udara yang lebih cepat, lebih padat data, dan lebih sulit diprediksi. Dalam konteks inilah, doktrin dan konsep operasi mengalami transformasi radikal, memaksa negara-negara untuk merumuskan ulang cara mereka memproyeksikan kekuatan dan mempertahankan keunggulan.

Perubahan ini tidak muncul dalam ruang hampa, melainkan dipicu oleh integrasi progresif AI dalam proses pengambilan keputusan militer sebagaimana dipaparkan pada bab sebelumnya. Ketika algoritma mampu memproses ratusan ribu variabel taktis dalam hitungan detik, kecepatan menjadi faktor penentu kemenangan, bukan lagi semata-mata kecanggihan *platform* udara. Dari sinilah muncul kebutuhan untuk beralih dari pola operasi tradisional menuju konsep “*hyper-enabled operations*,” di mana setiap aset udara baik berawak maupun tak berawak terhubung dalam jaringan kesadaran situasional yang selalu berubah secara dinamis.

BAB 5

MEMBANGUN KEKUATAN UDARA INDONESIA 2050

Bab ini dibuka dengan sebuah pertanyaan strategis yang menentukan arah pertahanan Indonesia pada pertengahan abad ke-21: bagaimana membangun kekuatan udara yang tidak hanya mampu bertahan, tetapi mampu unggul dalam ekosistem keamanan Indo-Pasifik yang semakin kompetitif? Setelah memahami dinamika pertempuran udara masa depan mulai dari doktrin, konsep operasi, hingga medan tempur berbasis AI, kuantum, dan *multidomain* Indonesia harus melangkah pada tahapan berikutnya: merancang strategi pembangunan kekuatan udara yang *realistis*, berkelanjutan, dan *visioner* menuju tahun 2050. Transformasi ini tidak dapat dibangun dari keinginan semata, tetapi dari kemampuan menilai tren global, memproyeksikan kebutuhan nasional, dan memastikan bahwa setiap langkah modernisasi memberikan efek strategis jangka panjang.

Pada dekade menuju 2050, perubahan lingkungan strategis bergerak jauh lebih cepat daripada siklus modernisasi *platform* konvensional. Negara-negara besar dan kekuatan menengah di Indo-Pasifik berlomba memperkuat kemampuan tempurnya dengan pesawat generasi keenam, *loyal wingman*, *drone swarm*, serta jaringan komando dan kendali berbasis kecerdasan buatan. Situasi ini menciptakan tekanan baru bagi Indonesia untuk memperbaharui struktur kekuatannya agar tetap relevan dengan ancaman regional yang semakin kompleks. Modernisasi tidak lagi berbasis pada jumlah pesawat, tetapi pada keunggulan informasi, integrasi sensor, dan kecepatan pengambilan keputusan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhistry, E. R., Deksin, G. R., & Yudha, E. M. (2025). Implikasi etis penggunaan kecerdasan buatan dalam sistem senjata otonom: Tantangan dan tanggung jawab moral di era perang modern. *Nusantara: Jurnal Ilmu Pengetahuan Sosial*, 12(1).
- Air Force Research Laboratory. (2023). *AI-enabled air combat autonomy research*.
- Al Jazeera. (2023). What is Israel's Iron Dome defence system and is it effective? Al Jazeera.
- Alif, S., & Khomariah, S. (2025). Strategy for improving military human resource competence in the era of *artificial intelligence*: Conceptual and policy review. *Baileo: Jurnal Sosial Humaniora*.
- Allied *Command* Transformation. (2021). *Multi Domain Operations Concept*. JAPCC.
- Antara News Mataram. (2025, Juni 14). PAL Indonesia signs seven *defense* deals at Indo Defence 2025. ANTARA News Mataram.
- Antara News. (2023). Pemenuhan MEF TNI AU masih di bawah target. ANTARA News Kalteng.
- ANTARA News. (2024, Oktober 9). Indonesian *Air Force* sets cyber *defense* plans for next 20 years. ANTARA News.
- Antara News. (2025). Anggaran pertahanan RAPBN 2025. ANTARA News.
- Antara News. (2025). TNI AU bahas pertahanan berbasis AI dan teknologi hipersonik. ANTARA News.
- Antara News. (2025, Juli 28). Indonesia, Turkey collaborate on *defense* equipment *technology*. ANTARA News.
- Antara News. (2025, Juni 13). GMF perkuat kolaborasi strategis di industri pertahanan. ANTARA News.

- ANTARA News. (2025, Sabtu). KSAU perintahkan jajarannya perkuat alutsista pertahanan udara. ANTARA News.
- Arifianto, A. (2021). *Airspace vulnerability in Western Indonesia: A strategic assessment*. Jurnal Pertahanan Udara, 7(2), 55–68.
- ASELSAN. (2025). ASELSAN–LEN Industri *partnership for defense technology*. ASELSAN Official.
- Asian Military Review. (2023). Modernization of Indonesia's *air* force: Challenges and prospects. <https://www.asianmilitaryreview.com>
- Asian Military Review. (2025, Maret). Indonesia still opts for silo procurement over interoperability – implications for TNI AU.
- ASIL. (2024). UN discussions on regulating *autonomous* weapons systems.
- Aspistrategist. (2024). Indonesia's strategic *air* power challenges. The Strategist.
- Assouly, R., Dassonneville, R., Peronnin, T., & Huard, B. (2023). *Quantum* advantage in microwave *quantum* radar.
- Assouly, R., Dassonneville, R., Peronnin, T., Bienfait, A., & Huard, B. (2022). Demonstration of *Quantum* Advantage in Microwave *Quantum* Radar. arXiv.
- Azhar Prabukusuma. (2025). Development of *Quantum Cryptography* Algorithm for Data *Security* in Digital *Communication* System. Jurnal ICT: Information and *Communication Technologies*.
- Badan Siber dan Sandi Negara & TNI AU. (2024, Desember). Pelatihan siber untuk tenaga pendidik AAU. AAU News.
- Bennett, C. H. (1992). B92 Protocol: *Quantum Key Distribution* using any two non orthogonal states. Physical Review Letters.
- BRIN. (2024). BRIN ungkap Indonesia berpotensi menjadi pemimpin dalam inovasi teknologi kuantum.
- Chenyu Wu, Xi Wang, Yi Hu, Shuai Han, & Dusit Niyato. (2025). Interplay Between AI and Space *Air Ground Integrated Network*: The Road Ahead. arXiv.

- Cotter, J., & Dunning, H. (2023, May 26). *Quantum sensor for a future navigation system tested aboard Royal Navy ship*. Imperial College London News.
- Credence Research Inc. (2023). *Defense industry dependency and strategic autonomy*.
- D3 Teknologi Telekomunikasi. (n.d.). *Quantum Computing: Komputasi generasi berikutnya*. Telkom University.
- Davison, N. (2016). *Autonomous weapon systems under international humanitarian law*. International Committee of the Red Cross.
- Defense News. (2021). Iron Dome intercepts *drone* during *combat* for first time. *Defense News*.
- Defense News. (2024). *Real-time integration of military data for operational effectiveness*. *Defense News*.
- Dikti. (2025). Paradigma sistem pertahanan terintegrasi di Indonesia. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi.
- Djansen, A., Erika, K., Adhilni, R., Ronaldi, T., Kartiningsih, Y., & Ghazalie. (2025). Strengthening Indonesia's *defense* industry through strategic insights from Japan's *defense* systems. *Journal of Indonesian Global Education*, 6(3).
- Dubber, T., & Lazar, S. (2025). Military AI Cyber Agents (MAICAs) constitute a global threat to critical infrastructure. arXiv.
- Eka Indri Widarti & Adi Murtopo. (2025). Integrasi kecerdasan buatan dalam *drone* militer dan implementasinya di Indonesia. *Jurnal Elektrosista*, 12(2).
- Fadilah, R. (2022). Indonesian *air defense* sector *division* and its operational challenges. *Jurnal Keamanan Nasional*, 4(1), 33–49.
- Financial Times. (2024). AI-driven targeting and *intelligence* in modern conflicts.
- Galati, G. (2024). On Target Detection by *Quantum* Radar. arXiv.

- Gili, M., San Sebastian, P., & Blázquez García, A. (2024). Optimization of Flight Routes: *Quantum* Approximate Optimization Algorithm for the Tail Assignment Problem. arXiv.
- Grand View Research. (2024). *Quantum computing* market size & outlook, 2030.
- Gregory, P. (2021). Pacific *airspace* militarization and its implications for Southeast Asian *defense*. *Journal of Indo-Pacific Security*, 5(3), 201–219.
- Hardinanto, A., & Octaviarany, V. (2025). Penggunaan *Drone* Penyerang dalam Peperangan. *Jurnal Hukum Progresif*.
- Haryadi, A., Sulistyadi, E., & Asmoro, N. (2025). Strategies for increasing the competitiveness of the *national defense* industry in the digital age. *Formosa Journal of Applied Sciences*, 4(1).
- Hasan, M. (2024). *Quantum Cryptography* for Secure *Communications*. *Advances in Social Sciences Research Journal*, 11(10), 313–320.
- Henderson, M. (2021). *Digital Twin* Revolution in Aerospace Systems. MIT Press.
- Hermawan, L., Aritonang, S., & Asmoro, N. (2024). Pemanfaatan kecerdasan buatan untuk pemeliharaan alutsista pesawat tempur. *MARAS: Jurnal Penelitian Multidisipliner*, 2(3), 1522–1532.
- Holliday, J. B., Blount, D., Nguyen, H. Q., Khan, S. U., & Luu, K. (2025). QUADRO: A Hybrid *Quantum* Optimization Framework for *Drone* Delivery. arXiv.
- Huang, Y. (2024). Emerging Radar and Sensor Innovations. *International Journal of Defence Technology*, 5(1), 1–7.
- Hughes, R. J., Nordholt, J. E., Derkacs, D., & Peterson, C. G. (2002). Practical free space *quantum key distribution*. arXiv.
- IISS. (2024). *Quantum Sensing*: Comparing the United States and China.
- India Today Global Desk. (2025, October 15). Why unmanned systems are central to 21st century military doctrine.

- Indo Asian Defence Bulletin. (2024, October 29). Quo Vadis, *Airpower*? Institute for Defense Analyses. (2025). Overview of the Status of *Quantum Science and Technology* and Recommendations for the DoD. IDA.
- Islam, N. T., Lim, C. C. W., Cahall, C., Kim, J., & Gauthier, D. J. (2017). Provably secure *quantum key distribution*. arXiv.
- Jiang, K., Lee, H., & Zhang, T. (2024). *Quantum-enhanced radar detection*. Physical Review Applied, 21(4), 044020.
- Julianto, F., & Purnomo, B. (2025). Strategi pengembangan *drone* militer berbasis AI. Jurnal Teknologi Pertahanan Indonesia, 3(1), 45–60.
- Kementerian Pertahanan Republik Indonesia. (2023). Laporan Tahunan Kemhan 2023.
- Kementerian Pertahanan Republik Indonesia. (2024). Panduan Modernisasi TNI AU Berbasis Teknologi AI dan Hipersonik.
- Kementerian Pertahanan Republik Indonesia. (2025). Rencana Strategis Industri Pertahanan Nasional 2025–2045.
- Kim, J., Lim, C. C. W., Islam, N. T., Cahall, C., & Gauthier, D. J. (2017). High-rate *quantum key distribution*. arXiv.
- Krepon, M. (2023). *Artificial intelligence and the future of military decision-making*. CSIS.
- Kuo, W.-K., & Hsu, C.-H. (2024). Integration of *quantum sensors* in *air defense networks*. Journal of Defense Modeling and Simulation, 21(2), 105–123.
- Liu, H., Zhang, L., & Chen, Y. (2025). Satellite QKD. Optics Express, 33(7), 10245–10260.
- Lu, X., Wang, Y., & Zhao, Q. (2024). AI optimization for *autonomous drone swarms*. Aerospace Science and Technology, 152, 107276.
- Mahendra, D. (2022). Postur pertahanan udara Indonesia menghadapi ancaman 2045. Jurnal Strategi Pertahanan, 11(2), 88–105.

- Mahfudz, R., & Santoso, H. (2025). Implementasi AI pada sistem pertahanan udara. *Jurnal Pertahanan Nasional*, 11(2), 75–92.
- Mao, Y., & Liu, F. (2025). *Quantum computing* applications in military logistics. *Defense Technology*, 21(1), 12–25.
- Martinez, J., & Wilson, R. (2023). Ethics and accountability in *autonomous* weapons. *Journal of Military Ethics*, 22(4), 301–318.
- Ministry of Defense. (2023). Indonesia *air defense* modernization roadmap. *Defense Policy Review*, 8(1), 44–59.
- Mitchell, J. C., & Tran, P. (2024). AI-driven threat assessment. *Military Operations Research*, 29(3), 112–129.
- Nakamura, T., & Saito, H. (2024). *Multi-domain operations*. *Asia-Pacific Defense Journal*, 9(2), 56–73.
- National Defense Magazine*. (2025). Indonesia's *air power* modernization in the era of AI and hypersonic threats.
- Nguyen, D., & Tran, L. (2025). *Quantum sensors* for *real-time* threat detection. *Sensors*, 25(4), 2101.
- O'Connell, A. D., & Jones, P. (2023). *Autonomous air combat*. *Journal of Defense Innovation*, 8(1), 44–61.
- Prasetyo, B., & Nugraha, T. (2023). Sea lane geopolitics. *Journal of Maritime Studies*, 14(2), 117–135.
- Prasetyo, B., & Nugroho, D. (2023). Centralized *defense*. *Journal of Archipelagic Security Studies*, 7(2), 119–134.
- Putra, A., & Rahman, S. (2025). AI-based *command* system. *Jurnal Sistem Pertahanan Nasional*, 7(1), 33–48.
- Qiu, H., Li, X., & Zhao, J. (2024). *Quantum radar* for detection of *stealth aircraft*. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 60(3), 1102–1115.
- Rachmawati, I. (2020). UNCLOS implementation. *Journal of Ocean Policy*, 12(3), 144–159.
- Rahadian, T., & Santoso, F. (2025). Kesiapan TNI AU menghadapi ancaman AI. *Jurnal Pertahanan dan Strategi*, 10(2), 101–120.

- Rahman, R. (2020). Law enforcement in Indonesian territorial *airspace*. *Jurnal Hukum Nasional*, 10(1), 21–38.
- Reuters. (2025, Mei 15). Indonesia invests in AI-powered *drones*. Reuters.
- Santoso, H., & Widodo, M. (2021). Potential intrusions along ALKI routes. *Jurnal Keamanan Laut & Udara*, 6(4), 221–238.
- Shapiro, J. H., & Wong, F. N. C. (2007). The physics of *quantum* information. *Physics Today*, 60(10), 37–43.
- Simanjuntak, Y. (2022). *Multidomain defense* in Southeast Asia. *Journal of Strategic Studies*, 9(2), 66–82.
- Singh, R., & Sharma, P. (2024). *Drone swarm* coordination. *International Journal of Aerospace Engineering*, 2024, 1–15.
- Siregar, A. (2023). Reorganizing Indonesia's *air defense*. *Jurnal Ketahanan Nasional*, 29(1), 55–71.
- Smith, A., & Brown, K. (2025). Strategic *air* power in the Indo-Pacific. *Defense Studies Journal*, 18(2), 87–104.
- Supriyanto, D., & Haryanto, E. (2025). AI in strategic *decision-making*. *Jurnal Manajemen Pertahanan*, 12(1), 55–72.
- Tariq, M., & Chen, W. (2024). *Quantum-enhanced navigation* systems. *Journal of Defense Science*, 29(2), 78–93.
- TNI Angkatan Udara. (2025). *Postur TNI Angkatan Udara Tahun 2025–2044* (Keputusan Kepala Staf Angkatan Udara Nomor KEP/5/I/2025, 10 Januari 2025). Jakarta: TNI Angkatan Udara.
- United Nations Office for Disarmament Affairs. (2023). *Autonomous weapons: Key considerations for global governance*.
- van Meter, R., & Horsman, D. (2013). A blueprint for building a *quantum* computer. *Communications of the ACM*, 56(10), 84–93.
- Wang, L., & Zhao, Y. (2025). AI-based *predictive* maintenance. *Aerospace Maintenance Journal*, 14(2), 44–59.
- Wicaksono, D. (2022). *Air defense* readiness. *Jurnal Pertahanan Negara*, 8(1), 55–73.

- Wicaksono, L. (2022). *Airspace surveillance* in Eastern Indonesia. *Jurnal Pertahanan Negara*, 8(1), 55–73.
- Xie, Y., & Li, H. (2024). Integration of AI and *quantum sensors*. *Journal of Applied Physics*, 136(18), 184502.
- Yunarto, A., & Sidik, R. (2023). Radar modernization in Central Indonesia. *Defense Technology Journal*, 15(1), 72–89.
- Yuniarto, F. (2021). ZEE monitoring challenges. *Marine Policy Review*, 6(3), 211–228.
- Yunita, R., & Pratama, H. (2025). Strategi pertahanan udara Indonesia di era *drone* otonom. *Jurnal Pertahanan Nasional*, 11(3), 112–130.
- Zhang, L., & Liu, H. (2025). Satellite-based QKD *networks*. *Quantum Science and Technology*, 10(2), 025003.

PROFIL PENULIS

Kolonel Lek Dr. M.A. Harits Ariyawan, S.T., M.Si., M.Han.



Penulis lahir di Semarang, pada tanggal 21 Juni 1978, anak dari Bapak Ahmad Rijadi dan Ibu Emi Purwati. Mengenyam pendidikan dasar hingga menengah atas di Semarang. Jenjang akademik dimulai dengan menempuh pendidikan Diploma di Akademi Angkatan Udara Yogyakarta Jurusan Teknik Elektronika, kemudian dilanjutkan menempuh Pendidikan sarjana pada Universitas Suryadarma Jakarta Jurusan Teknik Industri, dan jenjang pasca sarjana ditempuh di Universitas Indonesia dengan mendapatkan gelar Master of Science Kajian Strategik Ketahanan Nasional, selanjutnya berhasil menyelesaikan Pendidikan Pasca Sarjana di Universitas Pertahanan dengan mendapat gelar Magister Pertahanan dan terakhir menyelesaikan gelar Doktor Ilmu Administrasi Publik di Universitas Brawijaya. Pendidikan kedinasan ditempuh di Sekkau (Sekolah Komando Kesatuan Angkatan Udara) Jakarta, Seskoau (Sekolah Staf dan Komando Angkatan Udara) Lembang dan Sesko TNI (Sekolah Staf dan Komando TNI) Bandung.

Sementara itu perjalanan karier di Angkatan Udara dimulai sejak lulus dari Akademi Angkatan Udara pada Tahun 1999 dengan penugasan pertama di Lanud Sulaiman Bandung, Lanud Atang Sendjaja, Bogor sebagai teknisi helikopter, selanjutnya ditugaskan di Pusat Komando Kendali Angkatan Udara, Staf Operasi Mabesau dan Dinas Pendidikan Mabes TNI Angkatan Udara. Selanjutnya dipercaya menjabat Komandan Sathar 22 dan menjabat beberapa kepala dinas di Depohar 20 Avionik di Lanud Iswahyudi, Madiun. Setelah dari Madiun

kembali ke Mabes TNI Angkatan Udara Jakarta di dinas pengadaan, dan mendapat promosi kenaikan pangkat di Komando Operasi Udara I, Jakarta sebagai staf ahli Panglima bidang Alutsista (Alat Utama Sistem Senjata), selanjutnya mengemban jabatan sebagai Perwira Liasion TNI AU di Kodam IV Diponegoro, Semarang, dan saat ini menjabat sebagai Paban Antar Kemen, Sahli Tk II Bidang kesalem Koorsahli Kasau.

Sri Patmi, S.I.Kom., M.Han.



Penulis adalah seorang penulis dan peneliti yang aktif di bidang pertahanan, strategi, dan kajian komunikasi. Lahir di Tangerang, beliau menempuh pendidikan sarjana Ilmu Komunikasi di Universitas Muhammadiyah Tangerang dengan predikat *Best Graduate* (IPK 3,89), kemudian melanjutkan studi Magister Pertahanan (Strategi Pertahanan Laut) di Universitas Pertahanan Republik Indonesia (UNHAN RI) dengan predikat lulusan terbaik (IPK 3,95).

Sejak tahun 2022, beliau aktif sebagai penulis dan peneliti di PT. *Scholar Warrior* Indonesia dengan fokus pada pengembangan metode *system thinking* dan *system dynamics* dalam merumuskan strategi pertahanan yang adaptif, integratif, dan berkelanjutan.

Sebelumnya, beliau berpengalaman di dunia profesional antara lain sebagai Supervisor *Digital Marketing*, Supervisor *Human Research Development*, hingga *General Affairs* di berbagai perusahaan nasional. Pengalaman tersebut memperkaya keahliannya dalam manajemen sumber daya, strategi komunikasi, hingga pengembangan organisasi.

Dalam bidang akademik dan kepenulisan, Sri Patmi telah menghasilkan berbagai karya ilmiah dan populer. Karya bukunya antara lain: *Defense Innovation and Maritime Defense Technology Management* (2024), *Revolution in Military Affairs 21st Century* (2024), *The New Face of Contemporary Warfare* (2024), *Power and National*

Interests of Countries in the World (2024), *Indonesian Maritime Defense Underwater Surveillance* (2025), serta buku ini *Menyusun Strategi Pertahanan dengan System Thinking System Dynamic: Panduan Pemodelan & Simulasi* (2025).

Selain itu, beliau aktif menulis artikel di berbagai media seperti Kompasiana, IDN Media, dan blog pribadi, dengan topik seputar pertahanan, geopolitik, komunikasi, dan pengembangan sumber daya manusia. Beliau juga kerap menjadi pembicara dalam seminar, bimbingan teknis, maupun pelatihan di tingkat pascasarjana, termasuk di Sesko TNI AD, dengan tema *“Building Sustainable Defence Solutions through System Thinking and System Dynamics Methods.”*

Sebagai penulis yang produktif, Sri Patmi telah terlibat dalam penerbitan lebih dari 10 antologi puisi, karya fiksi, dan *nonfiksi* termasuk pembuatan buku autobiografi Penjabat Walikota Tangerang Dr. Nurdin. Prestasi akademik dan profesionalnya tercatat sejak dini, mulai dari juara lomba esai, penulisan artikel jurnalistik, hingga penghargaan dalam kompetisi tingkat nasional.

Dengan latar belakang multidisiplin yang menggabungkan komunikasi, manajemen pertahanan, serta pengalaman profesional, penulis hadir untuk memberikan perspektif baru dalam pengembangan strategi pertahanan nasional berbasis ilmu pengetahuan, teknologi, dan inovasi.

Di era ketika batas antara manusia dan mesin semakin kabur, kekuatan udara memasuki babak baru yang belum pernah dibayangkan sebelumnya. *The Future of Air Power* mengajak Anda menyelam ke dalam dunia di mana kecerdasan buatan, komputasi kuantum, *drone swarm*, dan peperangan udara generasi keenam bersatu membentuk lanskap strategi militer yang benar-benar transformatif. Buku ini mengungkap bagaimana teknologi-teknologi tersebut tidak hanya mempercepat proses pengambilan keputusan ribuan kali lipat, tetapi juga menciptakan keunggulan udara yang menentukan menang atau kalah dalam konflik modern. Dengan bahasa yang mengalir namun tetap tajam, buku ini merangkum kompleksitas dunia pertahanan udara menjadi wawasan yang mudah dicerna, relevan, dan penuh kejutan intelektual.

Setiap bab membawa pembaca ke jantung revolusi militer terbaru dari kemampuan AI mengoperasikan pesawat tanpa campur tangan manusia, sistem radar pintar yang mampu memprediksi ancaman sebelum muncul, hingga penggunaan komputasi kuantum untuk memecahkan kriptografi musuh dalam hitungan detik. Semua disajikan dengan pendekatan analitis yang kuat, studi kasus aktual, dan visualisasi yang membuat pembaca merasa seolah berada langsung di pusat ruang kendali operasi udara masa depan. Bagi pembuat kebijakan, akademisi, dan pecinta dunia pertahanan, buku ini adalah referensi wajib untuk memahami bagaimana kekuatan udara global sedang berubah secara radikal. Di tengah meningkatnya ketegangan geopolitik dan perlombaan teknologi *superpower*, *The Future of Air Power* hadir sebagai panduan strategis yang menjelaskan ke mana arah dominasi udara akan bergerak. Buku ini bukan sekadar bacaan, tetapi sebuah peta jalan menuju masa depan yang dibentuk oleh data, algoritma, dan kecepatan cahaya. Anda yang ingin memahami bagaimana Indonesia, TNI AU, dan dunia akan beradaptasi dalam dekade mendatang atau Anda yang ingin sekadar melihat bagaimana masa depan perang terbuka di depan mata akan menemukan buku ini sebagai karya yang menggugah, inspiratif, dan sulit diabaikan. Ini lebih dari buku; ini adalah undangan untuk melihat masa depan sebelum masa depan itu tiba.

