

Implementasi Teknologi *Swarm drone* dalam Operasi Militer Perkotaan: Efektivitas, Tantangan, dan Implikasi Strategis

Muhammad Fajar Indra Afrianta¹ Gita Amperiawan² Erzi Agson Gani³ Lalu Aan Sasaka Akbar⁴ Muhammad Zainal Furqon⁵

Program Studi Teknologi Daya Gerak, Fakultas Sains dan Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan Republik Indonesia, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat, Indonesia ^{1,2,3,4,5}

Email: muhammad.afrianta@tp.idu.ac.id¹ gitaamperiawan66@gmail.com²
erzi.agsongani@gmail.com³ lalu.akbar@tp.idu.ac.id⁴ muhammad.furqon@tp.idu.ac.id⁵

Abstrak

Teknologi *Swarm drone* merupakan inovasi penting dalam operasi militer perkotaan yang kompleks dan dinamis. Penelitian ini menganalisis efektivitas, tantangan, dan implikasi strategis implementasi *Swarm drone* dalam konteks militer Indonesia. Metode yang digunakan adalah studi literatur kualitatif dengan pengumpulan data melalui pencarian sistematis di database akademik terpercaya dari 2020 hingga 2025. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Swarm drone* meningkatkan efektivitas operasional melalui koordinasi otonom dan adaptasi formasi di lingkungan perkotaan yang padat. Namun, implementasi menghadapi tantangan teknis, regulasi, dan integrasi kecerdasan buatan. Penelitian menekankan kebutuhan akan roadmap nasional dan kerangka regulasi yang adaptif untuk mendukung pengembangan teknologi ini secara optimal. Implikasi strategis meliputi perubahan paradigma dari operasi berbasis platform tunggal ke sistem jejaring terintegrasi yang menuntut pengembangan strategi counter-*Swarm* dan kebijakan pertahanan adaptif. Kesimpulan menyoroti perlunya pendekatan holistik yang menggabungkan kemajuan teknologi, aspek etika, regulasi internasional, dan kesiapan sumber daya manusia untuk memastikan operasi militer yang efektif dan berkelanjutan dengan teknologi *Swarm drone*.

Kata Kunci: *Swarm Drone*, Operasi Militer Perkotaan, Tantangan, Implikasi Strategis

Abstract

Swarm drone technology is a crucial innovation in complex and dynamic urban military operations. This study analyzes the effectiveness, challenges, and strategic implications of implementing Swarm drone technology in the Indonesian military context. The method used is a qualitative literature review, with data collected through systematic searches in reputable academic databases from 2020 to 2025. The findings indicate that Swarm drones enhance operational effectiveness through autonomous coordination and formation adaptability in dense urban environments. However, implementation faces technical challenges, regulatory issues, and limitations in artificial intelligence integration. The study emphasizes the urgent need for a national development roadmap and an adaptive regulatory framework to optimally support this technology's advancement. Strategic implications include a paradigm shift from single-platform operations to integrated networked systems, which requires the development of counter-Swarm strategies and adaptive defense policies. The conclusion highlights the necessity of a holistic approach that integrates technological progress, ethical considerations, international regulations, and human resource readiness to ensure effective, sustainable, and responsible military operations using Swarm drone technology.

Keywords: *Swarm Drone*, Urban Military Operations, Challenges, Strategic Implications



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

PENDAHULUAN

Transformasi lanskap pertempuran modern telah mengalami evolusi dramatis seiring dengan kemajuan teknologi informasi dan kecerdasan buatan yang merambah ke segala aspek operasi militer. Dalam konteks ini, teknologi *Swarm drone* atau kawanan *drone* telah muncul

sebagai paradigma revolusioner yang mengubah fundamental strategi perang kontemporer, khususnya dalam operasi militer di wilayah perkotaan yang kompleks dan dinamis. Konsep *Swarm drone*, yang didefinisikan sebagai sekumpulan unit *drone* yang berinteraksi secara otonom untuk mencapai tujuan bersama melalui koordinasi kolektif tanpa ketergantungan pada kontrol terpusat (Singh, 2024), telah membuktikan potensinya dalam menghadapi tantangan operasional yang tidak dapat diselesaikan oleh sistem konvensional. Signifikansi penelitian ini terletak pada urgensi pemahaman mendalam terhadap implementasi teknologi *Swarm drone* dalam konteks operasi militer perkotaan, mengingat kompleksitas lingkungan urban yang dicirikan oleh kepadatan struktur bangunan, keterbatasan ruang manuver, dan risiko tinggi terhadap populasi sipil. Studi konflik kontemporer, sebagaimana dianalisis oleh (Rofii, 2025) dalam penelitiannya mengenai peran *drone* militer dalam transformasi strategi perang modern melalui kasus perang Ukraina-Rusia dan Armenia-Azerbaijan, menunjukkan bahwa *drone* telah menjadi variabel kritis yang mampu mendukung keberhasilan operasi militer bahkan hingga memenangkan pertempuran, baik untuk tujuan ofensif maupun defensif. Fenomena ini mengindikasikan bahwa teknologi *drone*, khususnya dalam konfigurasi *Swarm*, tidak lagi merupakan pelengkap tetapi telah menjadi elemen integral dalam arsitektur pertahanan modern.

Kontribusi penelitian ini terhadap ilmu pengetahuan terletak pada penyediaan analisis komprehensif yang mengintegrasikan perspektif teknologi, strategi, dan implementasi praktis teknologi *Swarm drone* dalam operasi militer perkotaan. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang cenderung fokus pada aspek teknis atau studi kasus spesifik, penelitian ini mengadopsi pendekatan holistik yang mengeksplorasi efektivitas operasional, identifikasi tantangan implementasi, serta implikasi strategis jangka panjang dari adopsi teknologi ini. Hal ini sejalan dengan temuan (Ramadhan et al., 2025) yang menekankan bahwa teknologi Unmanned Aerial Vehicle (UAV) telah merevolusi strategi militer modern, namun penggunaannya menimbulkan persoalan etika dan hukum yang kompleks, khususnya dalam konteks hukum humaniter internasional. Latar belakang proyek penelitian ini didasari oleh realitas bahwa perkembangan teknologi *Swarm drone* telah mencapai tingkat kematangan yang memungkinkan implementasi praktis dalam operasi militer, sekaligus menghadapi berbagai tantangan teknis dan strategis yang memerlukan analisis mendalam. Sebagaimana diidentifikasi oleh (Indri & Murtopo, 2025), integrasi kecerdasan buatan dalam *drone* militer telah merevolusi sistem persenjataan global melalui peningkatan efisiensi, akurasi, dan kemampuan pengambilan keputusan di medan perang tanpa keterlibatan langsung operator manusia. Namun, implementasi teknologi ini di Indonesia, khususnya pada TNI Angkatan Darat, masih menghadapi keterbatasan signifikan yang memerlukan roadmap pengembangan yang komprehensif.

Struktur penelitian ini dirancang untuk memberikan pemahaman sistematis melalui pendekatan analisis literatur yang mengeksplorasi tiga dimensi utama: efektivitas operasional teknologi *Swarm drone* dalam lingkungan perkotaan, tantangan implementasi yang mencakup aspek teknis dan non-teknis, serta implikasi strategis yang meliputi dampak terhadap doktrin militer dan kebijakan pertahanan. Motivasi penelitian ini berakar pada kesenjangan pengetahuan yang ada antara potensi teoretis teknologi *Swarm drone* dengan realitas implementasi praktis dalam operasi militer perkotaan, khususnya dalam konteks Indonesia yang memiliki karakteristik geografis dan geopolitik unik. Tinjauan literatur mengungkapkan perspektif beragam mengenai implementasi teknologi *drone* dalam operasi militer. (Susdarwono, 2021) dalam penelitiannya mengenai AI *drone* dalam pertahanan menegaskan bahwa pengembangan *drone* memerlukan navigasi berbasis visi komputer presisi tinggi dan

sistem deteksi objek untuk bekerja secara efisien, dengan proyeksi bahwa skenario pertempuran masa depan akan semakin menekankan kebutuhan kendaraan nirawak yang sepenuhnya terintegrasi. Sementara itu, Lesmana et al. (2021) mengidentifikasi bahwa *drone* dapat menjadi platform multifungsi yang berperan dalam Operasi Militer Perang (OMP) maupun Operasi Militer Selain Perang (OMSP) sebagai bagian dari "Over The Horizon Operations" dalam sistem manajemen pertempuran yang terintegrasi.

Namun, implementasi teknologi ini tidak terlepas dari kontroversi dan tantangan signifikan. (Guo & Wu, 2025) dalam studinya mengenai strategi anti-*drone* *Swarming* menekankan bahwa dengan perkembangan pesat teknologi kecerdasan militer dan penggunaan *drone* yang semakin luas dalam pertempuran, strategi counter-*Swarm* menjadi semakin penting dan memiliki signifikansi praktis tinggi untuk mencegah dan melawan pertempuran *Swarm drone* di masa depan. Perspektif ini mengindikasikan bahwa teknologi *Swarm drone*, meskipun menawarkan keunggulan operasional, juga menciptakan kerentanan baru yang memerlukan pertimbangan strategis komprehensif. Selain itu, (Putra et al., 2022) dalam penelitiannya mengenai *drone* bawah air sebagai aset militer menggarisbawahi bahwa penggunaan *drone* yang melintasi batas negara belum memiliki regulasi spesifik, sehingga diperlukan pengaturan khusus mengenai penggunaan *drone* militer dalam berbagai aspek operasional untuk mencegah pelanggaran kedaulatan negara. Temuan ini relevan dengan konteks *Swarm drone* yang memiliki kemampuan operasional lintas wilayah dan berpotensi menimbulkan implikasi geopolitik yang kompleks. Hipotesis kontroversial yang muncul dalam diskursus ini adalah bahwa teknologi *Swarm drone*, meskipun menawarkan keunggulan taktis signifikan dalam operasi militer perkotaan, berpotensi menciptakan dilema keamanan baru yang dapat memicu eskalasi konflik dan mengurangi efektivitas strategi pertahanan konvensional. Posisi yang berbeda diartikulasikan oleh berbagai peneliti, di mana beberapa menekankan potensi transformatif teknologi ini dalam meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi risiko personel, sementara yang lain memperingatkan dampak destabilisasi dan kompleksitas etis yang ditimbulkannya.

Tujuan utama penelitian ini adalah menganalisis secara komprehensif implementasi teknologi *Swarm drone* dalam operasi militer perkotaan melalui evaluasi sistematis terhadap efektivitas operasional, identifikasi tantangan implementasi, dan assessment implikasi strategis jangka panjang. Penelitian ini bertujuan memberikan kontribusi teoretis dan praktis bagi pengembangan kebijakan pertahanan dan strategi militer yang mengintegrasikan teknologi *Swarm drone* secara optimal. Kesimpulan utama yang diantisipasi dari penelitian ini adalah bahwa teknologi *Swarm drone* memiliki potensi signifikan untuk mentransformasi operasi militer perkotaan, namun implementasinya memerlukan pendekatan holistik yang mengintegrasikan aspek teknologi, strategi, regulasi, dan etika untuk memastikan efektivitas operasional sambil meminimalisir risiko dan dampak negatif yang tidak diinginkan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengadopsi pendekatan kualitatif dengan metode studi literatur (*literature review*) yang dirancang untuk menganalisis secara komprehensif implementasi teknologi *Swarm drone* dalam operasi militer perkotaan. Desain penelitian menggunakan paradigma interpretatif dengan fokus pada eksplorasi mendalam terhadap fenomena teknologi pertahanan modern melalui analisis dokumen akademik dan publikasi ilmiah yang relevan. Karakteristik desain ini memungkinkan peneliti untuk mengeksplorasi kompleksitas multidimensional dari implementasi teknologi *Swarm drone* tanpa terikat pada batasan metodologi kuantitatif yang rigid, sehingga memfasilitasi pemahaman holistik terhadap

efektivitas, tantangan, dan implikasi strategis yang menjadi fokus penelitian (Sugiyono & Lestari, 2021).

Populasi penelitian mencakup seluruh publikasi akademik, jurnal ilmiah, artikel konferensi, dan dokumen resmi yang membahas teknologi *drone* militer, sistem *Swarm*, dan operasi militer perkotaan yang dipublikasikan dalam rentang waktu 2020-2025. Sampel penelitian ditentukan melalui teknik purposive sampling dengan kriteria spesifik: publikasi yang membahas teknologi *Swarm drone* dalam konteks militer, penelitian yang menganalisis operasi militer di lingkungan perkotaan, studi yang mengeksplorasi efektivitas teknologi *drone* otonom, serta literatur yang membahas tantangan implementasi dan implikasi strategis teknologi pertahanan modern. Proses seleksi sampel menghasilkan 45 publikasi primer yang memenuhi kriteria relevansi dan kualitas akademik yang telah ditetapkan.

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui systematic literature search menggunakan basis data akademik terpercaya seperti Scopus, Sinta, dan Google Scholar dengan kata kunci yang telah divalidasi: "*Swarm drone*", "*military urban operations*", "*drone technology implementation*", "*unmanned aerial vehicle*", dan kombinasi boolean yang relevan. Proses pengumpulan data mencakup tiga tahap: identifikasi literatur melalui database searching, screening berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi, serta extraction data sesuai dengan framework analisis yang telah dikembangkan. Instrumen penelitian berupa matriks analisis literatur yang mengkategorikan temuan berdasarkan dimensi efektivitas operasional, tantangan implementasi, dan implikasi strategis, dengan indikator spesifik untuk setiap kategori analisis. Teknik analisis data menggunakan metode thematic analysis dengan pendekatan deduktif-induktif yang memungkinkan identifikasi pola, tema, dan subtema yang emergen dari data literatur. Proses analisis dilakukan melalui coding sistematis, kategorisasi temuan, dan sintesis naratif yang mengintegrasikan perspektif berbagai sumber untuk menghasilkan pemahaman komprehensif tentang fenomena yang diteliti. Validitas dan reliabilitas penelitian dijamin melalui triangulasi sumber data, *peer review* terhadap proses *coding*, dan member checking dengan *expert* dalam bidang teknologi pertahanan (Irfan, 2024). Keabsahan hasil penelitian diperkuat melalui audit trail yang mendokumentasikan seluruh proses penelitian, dari identifikasi literatur hingga interpretasi final, serta dependability check melalui konsistensi metodologi sepanjang penelitian (Sugiyono, 2020).

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Efektivitas Teknologi *Swarm drone* dalam Operasi Militer Perkotaan

Analisis literatur menunjukkan bahwa teknologi *Swarm drone* memiliki efektivitas operasional yang signifikan dalam konteks operasi militer perkotaan. Singh (2024) mengidentifikasi bahwa konsep *Swarm* sebagai kelompok identitas individual yang berinteraksi secara kolektif untuk mencapai tujuan bersama memiliki potensi militer yang besar untuk pelaksanaan misi-misi inovatif yang berani. Sistem *Swarm UAV* cerdas menunjukkan kemampuan komunikasi inter dan intra yang kompleks, meskipun rentan terhadap interferensi sinyal elektromagnetik dalam lingkungan bermusuhan. Teknologi ini memungkinkan eksekusi operasi yang tidak dapat dilakukan oleh sistem konvensional, terutama dalam lingkungan perkotaan yang kompleks dan dinamis. Efektivitas operasional *Swarm drone* tercermin dari kemampuannya untuk beroperasi secara otonom tanpa ketergantungan pada kontrol terpusat, sebagaimana dikonfirmasi oleh temuan bahwa *drone* dapat beroperasi dalam formasi kooperatif yang robust. Implementasi teknologi ini menunjukkan peningkatan signifikan dalam efisiensi operasional dibandingkan dengan metode konvensional yang masih dilakukan secara manual.

(Marek et al., 2024) memperkuat temuan ini dengan mendemonstrasikan bahwa pengaturan geometris yang berbeda dari *Swarm drone* memerlukan strategi kontrol yang fleksibel, di mana model kontrol berbasis pemimpin memfasilitasi gerakan yang koheren dan koordinasi yang ditingkatkan. Simulasi *software-in-the-loop* (SITL) membuktikan peran krusial dalam mereproduksi skenario operasional dunia nyata, mempercepat proses pengembangan, mengurangi risiko operasional, dan memastikan kinerja konsisten *Swarm drone*. Penelitian ini menunjukkan bahwa dinamika *Swarm drone* dalam konteks simulasi menekankan efisiensi operasional dan kemampuan adaptasi dalam berbagai skenario. Pengaturan *drone* secara signifikan mempengaruhi kemampuan koordinasi dan penghindaran tabrakan mereka, menggarisbawahi pentingnya sistem kontrol yang dapat beradaptasi dengan berbagai situasi. Dampak dari penundaan komunikasi dan kesalahan dalam sistem positioning terhadap jarak yang diperlukan antara *drone* dalam struktur grid juga menjadi faktor penting dalam efektivitas operasional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat akurasi GPS yang berbeda dan penundaan komunikasi mempengaruhi koordinasi gerakan kelompok dan kemampuan penghindaran tabrakan.

(Gao et al., 2024) mengkonfirmasi efektivitas operasional melalui pengembangan protokol kontrol kooperatif yang robust, yang terdiri dari tiga komponen kunci: *estimator posisi drone pseudo*, *estimator posisi target pseudo*, dan hukum kontrol model internal lokal (IMC). Penelitian ini menunjukkan bahwa *drone* dapat mencapai pengejaran formasi yang robust meskipun tidak dapat memperoleh posisi absolut mereka, tetapi dapat memperoleh posisi relatif terhadap *drone* tetangga lain dan target. Kemampuan ini sangat relevan untuk operasi militer perkotaan di mana akses GPS mungkin terbatas atau terganggu. Protokol yang dikembangkan memungkinkan setiap *drone* memperoleh posisinya relatif terhadap target, yang memfasilitasi desain hukum IMC lokal untuk memenuhi pengejaran formasi dalam menghadapi ketidakpastian parametrik sistem. Simulasi numerik murni dan simulasi hardware-in-the-loop (HIL) memverifikasi efektivitas protokol kontrol yang diusulkan, menunjukkan bahwa teknologi *Swarm drone* dapat beroperasi secara efektif bahkan dalam lingkungan dengan pembatasan lokasi.

Tantangan Implementasi Teknologi *Swarm Drone*

Implementasi teknologi *Swarm drone* dalam operasi militer perkotaan menghadapi berbagai tantangan kompleks yang memerlukan penanganan komprehensif. (Indri & Murtopo, 2025) mengidentifikasi bahwa meskipun kecerdasan buatan telah merevolusi sistem persenjataan militer global, penerapan AI dalam *drone* militer Indonesia masih sangat terbatas. Teknologi AI meningkatkan efisiensi, akurasi, dan kemampuan pengambilan keputusan di medan perang tanpa keterlibatan langsung operator manusia, namun implementasinya di TNI Angkatan Darat menghadapi keterbatasan signifikan yang memerlukan roadmap pengembangan komprehensif. Kajian menunjukkan bahwa Indonesia telah mengembangkan beberapa *drone* militer, tetapi integrasinya dengan sistem AI masih memerlukan pengembangan lebih lanjut. Tantangan utama meliputi keterbatasan dalam sistem kontrol, algoritma, sensor, serta kebutuhan transformasi pertahanan Indonesia. Roadmap nasional untuk pengembangan *drone* militer berbasis AI menjadi sangat mendesak untuk memastikan kesiapan menghadapi tantangan geopolitik masa depan.

(Prapsetyo et al., 2025) memperkuat identifikasi tantangan implementasi dengan temuan bahwa kondisi pelaksanaan tugas penyelidikan Satuan Zeni TNI AD masih dilakukan secara manual dan belum ada kebijakan penggunaan *drone* serta personel dan taktiknya yang belum disiapkan. Reformasi teknologi *drone* di tubuh Satuan Zeni merupakan keniscayaan yang harus

segera diwujudkan karena pemanfaatan *drone* akan menghemat waktu, lebih aman, dan lebih akurat dalam hasil penyelidikan yang dilakukan. Tantangan implementasi mencakup aspek regulasi, persiapan sumber daya manusia, dan pengembangan taktik operasional yang sesuai dengan karakteristik teknologi *drone*. Ketidadaan kebijakan yang jelas mengenai penggunaan *drone* menjadi hambatan utama dalam implementasi teknologi ini secara optimal. Persiapan personel yang memadai dan pengembangan taktik yang tepat menjadi prasyarat penting untuk keberhasilan implementasi teknologi *Swarm drone* dalam operasi militer.

(Firmansyah & Puspitasari, 2021) mengidentifikasi tantangan regulasi dan prosedural dalam implementasi teknologi *drone* untuk kontra terorisme, yang relevan dengan implementasi *Swarm drone* dalam operasi militer perkotaan. Meskipun serangan teroris *drone* secara faktual belum terjadi di Indonesia, diperlukan pembuatan regulasi dalam bentuk pendataan penjual dan pembeli *drone* oleh Kementerian Perhubungan yang dibantu Kepolisian. Tantangan implementasi meliputi kebutuhan membangun laboratorium dan memperkuat teknologi anti-*drone* di kawasan perbatasan sebagai sistem monitoring langit, membentuk koalisi kerja sama instansi/lembaga terkait hingga satuan tugas anti-*drone*. Pelatihan pasukan khusus dan pembentukan satuan anti-*drone* seperti D'Artagnan menjadi kebutuhan penting dalam menghadapi tantangan teknologi *drone*. Regulasi penggunaan *drone* terbaru menunjukkan bahwa pengamanan anti-*drone* secara statis dan mobile serta upaya pengamanan Objek Vital Nasional harus terus mengikuti perkembangan zaman. Kompleksitas regulasi dan prosedur tetap pengamanan VVIP dan Objek Vital Nasional menunjukkan tantangan multidimensional dalam implementasi teknologi *drone* secara komprehensif.

Implikasi Strategis Teknologi *Swarm Drone*

Implikasi strategis implementasi teknologi *Swarm drone* dalam operasi militer perkotaan menunjukkan transformasi fundamental dalam paradigma pertahanan modern. (Guo & Wu, 2025) mengidentifikasi bahwa dengan perkembangan pesat teknologi kecerdasan militer dan penggunaan *drone* yang semakin luas dalam pertempuran, strategi anti-*drone* *Swarming* menjadi semakin penting dan memiliki signifikansi praktis tinggi untuk mencegah dan melawan pertempuran *Swarm drone* di masa depan. Teknologi *Swarm drone* memiliki keunggulan rasio konsumsi tinggi, desentralisasi, dan diversitas fungsional, yang mengubah dinamika pertempuran konvensional. Strategi anti-*Swarm* menjadi respons spesifik terhadap teknologi *Swarm drone*, menunjukkan bahwa implementasi teknologi ini menciptakan kebutuhan pengembangan counter-measure yang sophisticated. Dengan pengembangan berkelanjutan teknologi *Swarm drone* dan eksplorasi serta penerapan taktik, strategi anti-*Swarm* akan menjadi lebih penting dalam konteks pertahanan masa depan. Penelitian mengenai strategi anti-*Swarm* memiliki signifikansi praktis yang besar untuk mencegah dan menahan pertempuran *Swarm drone*, menunjukkan bahwa teknologi ini menciptakan dilema keamanan baru yang memerlukan adaptasi strategis komprehensif.

(Susdarwono, 2021) memperkuat implikasi strategis dengan menunjukkan bahwa skenario perang masa depan akan semakin menekankan kebutuhan untuk kendaraan nirawak udara dan darat yang sepenuhnya berjejaring satu sama lain. Pengembangan *drone* memerlukan navigasi berbasis visi komputer presisi tinggi dan sistem deteksi objek untuk bekerja secara efisien, menunjukkan transformasi teknologi dalam sistem pertahanan. Militer secara gigih terus mengembangkan jejaring kendaraan *drone* darat dan udara serta kecerdasan buatan untuk membantu sistem analisis pertempuran. Di sektor militer dan pertahanan, *drone* menjadi populer untuk dikembangkan sebagai senjata tak berawak untuk bertempur atau membombardir musuh dalam perang, namun saat ini *drone* sudah digunakan untuk berpatroli

di perbatasan, memantau keamanan, melacak badai dan melakukan inspeksi keselamatan. Transformasi ini menunjukkan bahwa teknologi *drone* tidak lagi terbatas pada aplikasi destruktif tetapi telah berkembang menjadi platform multifungsi dalam operasi militer. Implikasi strategis mencakup perubahan fundamental dalam doktrin militer, dari operasi berbasis platform tunggal menjadi sistem terintegrasi yang berbasis jejaring.

(Faradiva Eka Putri et al., 2024) mengkonfirmasi implikasi strategis melalui analisis peran teknologi *drone* dalam meningkatkan keamanan pertahanan laut Indonesia. Teknologi *drone* memiliki peran signifikan dalam meningkatkan keamanan dan pertahanan laut melalui pengawasan maritim yang efektif, respons cepat terhadap ancaman, pencarian dan penyelamatan, pengamanan infrastruktur maritim, serta dukungan dalam operasi militer. Sebagai negara kepulauan terluas di dunia, Indonesia menghadapi berbagai tantangan dalam hal keamanan pertahanan laut yang dapat diatasi melalui implementasi teknologi *drone* secara optimal. Kontribusi utama teknologi *drone* mencakup kemampuan pengawasan maritim yang komprehensif, kemampuan respons cepat terhadap berbagai ancaman maritim, dan dukungan operasional dalam berbagai skenario pertahanan. (Kurnianto et al., 2024) memperkuat temuan ini dengan mengidentifikasi fungsi spesifik *drone* kamikaze yang memiliki kemampuan operasi malam dengan kamera night vision real-time, memungkinkan pencatatan data dengan akurat dan sangat berguna dalam survei lingkungan, pemetaan lahan, pengawasan perbatasan dan pemantauan. Implikasi strategis menunjukkan bahwa teknologi *drone* telah menjadi elemen integral dalam arsitektur pertahanan modern yang memerlukan integrasi komprehensif dalam doktrin dan strategi militer nasional. Ringkasan dari temuan literatur dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Tabel Sintesis Literatur

No	Penulis & Tahun	Fokus Penelitian	Temuan Utama	Kontribusi terhadap Penelitian
1	(Singh, 2024)	Operasi <i>Swarm drone</i> dalam lingkungan elektromagnetik yang bermusuhan	Sistem <i>Swarm</i> UAV memiliki potensi militer besar untuk misi inovatif, namun rentan terhadap interferensi sinyal elektromagnetik	Mengidentifikasi tantangan teknis komunikasi inter dan intra dalam sistem <i>Swarm</i>
2	(Susdarwono, 2021)	Artificial Intelligence dalam <i>drone</i> pertahanan	Pengembangan <i>drone</i> memerlukan navigasi berbasis visi komputer dan sistem deteksi objek presisi tinggi	Menunjukkan evolusi teknologi <i>drone</i> dari senjata tak berawak menjadi sistem terintegrasi
3	(Indri & Murtopo, 2025)	Integrasi kecerdasan buatan dalam <i>drone</i> militer TNI AD	AI telah merevolusi sistem persenjataan global, namun implementasi di Indonesia masih terbatas	Menganalisis kesenjangan teknologi dan kebutuhan roadmap pengembangan nasional
4	(Guo & Wu, 2025)	Strategi anti- <i>drone</i> <i>Swarming</i>	Teknologi <i>Swarm drone</i> memiliki keunggulan konsumsi tinggi, desentralisasi, dan diversitas fungsional	Mengeksplorasi strategi pertahanan terhadap ancaman <i>Swarm drone</i>
5	(Marek et al., 2024)	Efisiensi dan adaptasi <i>Swarm drone</i> dalam simulasi	Pengaturan geometris <i>Swarm</i> memerlukan strategi kontrol fleksibel dengan model kontrol berbasis pemimpin	Mendemonstrasikan pentingnya simulasi dalam pengembangan algoritma kontrol
6	(Gao et al., 2024)	Pembentukan formasi kooperatif robust	<i>Drone</i> dapat beroperasi tanpa posisi absolut	Mengembangkan protokol kontrol kooperatif untuk

		dalam lingkungan denial lokasi	menggunakan posisi relatif dengan <i>drone</i> lain dan target	operasi dalam lingkungan terbatas
7	(Prapsetyo et al., 2025)	Pemanfaatan <i>drone</i> untuk tugas penyelidikan Satuan Zeni TNI AD	<i>Drone</i> menghemat waktu, lebih aman, dan lebih akurat dalam penyelidikan dibanding metode manual	Mengidentifikasi kebutuhan kebijakan dan persiapan personel untuk implementasi <i>drone</i>
8	(Kurnianto et al., 2024)	Fungsi <i>drone</i> kamikaze dalam pertahanan maritim TNI AL	<i>Drone</i> kamikaze memiliki kemampuan operasi malam dengan kamera night vision real-time	Menjelaskan aplikasi spesifik <i>drone</i> dalam operasi maritim dan pengawasan
9	(Faradiva Eka Putri et al., 2024)	Peran teknologi <i>drone</i> dalam keamanan pertahanan laut Indonesia	<i>Drone</i> berkontribusi signifikan dalam pengawasan maritim, respons cepat, dan operasi militer	Menganalisis kontribusi komprehensif <i>drone</i> dalam pertahanan maritim nasional
10	(Firmansyah & Puspitasari, 2021)	Pemanfaatan <i>drone</i> dalam kontra terorisme	Diperlukan regulasi, laboratorium anti- <i>drone</i> , dan pembentukan satuan khusus anti- <i>drone</i>	Mengidentifikasi kebutuhan regulasi dan sistem pertahanan terhadap ancaman <i>drone</i>

Tabel sintesis literatur menunjukkan konvergensi progresif antara *advancement* teknologi *Swarm drone* dengan kompleksitas implementasi operasional yang memerlukan pendekatan multidisipliner. Analisis longitudinal terhadap sepuluh penelitian utama mengungkapkan evolusi paradigmatik dari konseptualisasi individual *drone* menuju sistem integratif yang sophisticated, sebagaimana didemonstrasikan melalui progesi dari temuan (Singh, 2024) mengenai vulnerabilitas komunikasi hingga protokol kooperatif robust yang dikembangkan Gao et al. (2024). Dichotomy antara potensi teknologi dengan realitas implementasi tercermin secara konsisten dalam literatur, khususnya melalui kontras antara efektivitas operasional yang diidentifikasi dalam lingkungan simulasi dengan tantangan praktis yang dihadapi dalam implementasi nasional. Dimensi strategis yang emergen dari sintesis literatur mengindikasikan transformasi fundamental dalam arsitektur pertahanan, di mana teknologi *Swarm drone* bukan hanya berfungsi sebagai force multiplier tetapi sebagai game changer yang memerlukan rekonfigurasi komprehensif doktrin militer, infrastruktur pendukung, dan framework regulasi. Heterogenitas temuan penelitian menunjukkan bahwa efektivitas implementasi teknologi *Swarm drone* bergantung pada integrasi harmonis antara sophistication teknologi, kesiapan infrastruktur, kompetensi sumber daya manusia, dan adaptabilitas framework regulasi, mengkonfirmasi hipotesis bahwa keberhasilan implementasi memerlukan pendekatan ekosistem yang holistik daripada solusi teknologi parsial.

Pembahasan

Interpretasi hasil penelitian dalam konteks studi sebelumnya dan hipotesis kerja mengungkapkan konvergensi signifikan antara potensi teknologi *Swarm drone* dengan realitas implementasi yang penuh tantangan. Temuan (Singh, 2024) mengenai vulnerabilitas komunikasi dalam lingkungan elektromagnetik yang hostile sejalan dengan prediksi teoritis bahwa sistem *Swarm drone* akan menghadapi tantangan kompleks dalam lingkungan operasional yang adversarial. Hal ini mendukung hipotesis bahwa efektivitas *Swarm drone* dalam operasi militer perkotaan tidak hanya bergantung pada *sophistication* teknologi tetapi juga pada *robustness* sistem terhadap berbagai bentuk interferensi dan countermeasures. Temuan Marek et al. (2024) mengenai pentingnya fleksibilitas strategi kontrol dalam berbagai

konfigurasi geometris memberikan insight berharga mengenai adaptabilitas sistem *Swarm*. Hasil ini mengkonfirmasi hipotesis bahwa operasi militer perkotaan, dengan karakteristik lingkungan yang dinamis dan unpredictable, memerlukan sistem *Swarm* yang dapat beradaptasi secara real-time terhadap perubahan kondisi operasional. Model kontrol berbasis leader yang diidentifikasi sebagai efektif dalam memfasilitasi koordinasi koheren memberikan framework praktis untuk implementasi sistem *Swarm* dalam skenario operasional nyata.

Perspektif nasional yang dikemukakan oleh Widarti & Murtopo (2025) dan Prapsetyo et al. (2025) mengungkapkan dichotomy antara potensi transformatif teknologi *drone* dengan keterbatasan implementasi aktual di Indonesia. Temuan bahwa penerapan AI dalam *drone* militer Indonesia masih terbatas, kontras dengan bukti efektivitas operasional dari implementasi *drone* dalam tugas penyelidikan, mengindikasikan bahwa barrier implementasi bukan terletak pada teknologi dasar tetapi pada integrasi sistem AI yang advanced. Hal ini memperkuat argumen bahwa roadmap pengembangan yang komprehensif merupakan prerequisite untuk realisasi potensi penuh teknologi *Swarm drone*. Implikasi strategis yang diidentifikasi oleh Guo & Wu (2025) mengenai pentingnya strategi counter-*Swarm* memberikan perspektif defensive yang krusial. Temuan bahwa teknologi *Swarm drone* menciptakan kebutuhan pengembangan sistem *anti-swarm* yang *sophisticated* mengkonfirmasi hipotesis bahwa adopsi teknologi ini akan memicu arms race dalam domain teknologi pertahanan. Hal ini memiliki implikasi broader terhadap stabilitas strategis dan keseimbangan kekuatan regional.

Spesialisasi operasional yang diungkapkan oleh Kurnianto et al. (2024) melalui analisis *drone* Kamikaze menunjukkan *trend toward specialization* dalam pengembangan teknologi *drone* militer. Kemampuan operasi nocturnal dengan teknologi *night vision real-time* mengindikasikan bahwa efektivitas *Swarm drone* dalam operasi militer perkotaan akan sangat bergantung pada kemampuan sistem untuk beroperasi dalam berbagai kondisi lingkungan dan temporal. Dalam konteks broader, temuan penelitian ini mengkonfirmasi bahwa teknologi *Swarm drone* memiliki potensi transformatif signifikan untuk operasi militer perkotaan, namun realisasi potensi tersebut memerlukan pendekatan holistik yang mengintegrasikan advancement teknologi, pengembangan strategi operasional, dan preparasi infrastruktur pendukung. Arah penelitian masa depan should focus pada pengembangan algoritma yang robust terhadap interferensi elektromagnetik, design sistem kontrol yang adaptive untuk lingkungan perkotaan yang dynamic, dan formulasi framework regulasi yang komprehensif untuk mengatur implementasi teknologi ini dalam konteks keamanan nasional dan internasional.

Arah penelitian masa depan yang sedang berkembang dari analisis dampak strategis menunjukkan kebutuhan pengembangan agenda penelitian yang bersifat lintas disiplin ilmu dan berorientasi ke depan untuk mengantisipasi perkembangan teknologi dan dampaknya. Penelitian masa depan perlu berfokus pada pengembangan model prediksi untuk evolusi teknologi, penilaian terhadap dampak strategis jangka panjang, dan eksplorasi terhadap kerangka tata kelola yang dapat secara efektif mengatur pengembangan dan penerapan teknologi kawanan. Investigasi lebih lanjut diperlukan terhadap tantangan integrasi antara sistem kawanan dengan infrastruktur militer yang sudah ada, pengembangan metodologi pelatihan untuk operator manusia, dan penilaian terhadap dampak psikologis dan sosiologis dari peningkatan otomatisasi dalam operasi militer. Penelitian masa depan juga perlu mengeksplorasi dimensi etika dari penerapan teknologi kawanan, khususnya dalam konteks perlindungan sipil dan kepatuhan terhadap hukum kemanusiaan internasional. Arah penelitian lanjutan mencakup investigasi terhadap interaksi kawanan dengan kawanan dalam lingkungan

yang dipersengketakan, pengembangan algoritma adaptif yang dapat merespons ancaman yang terus berkembang, dan eksplorasi terhadap potensi aplikasi sipil yang dapat berkontribusi terhadap pengembangan teknologi guna ganda. Agenda penelitian masa depan yang komprehensif harus mengintegrasikan pengembangan teknis dengan analisis strategis, pertimbangan regulasi, dan kerangka etika untuk memastikan bahwa pengembangan teknologi pesawat tanpa awak kawatan berkontribusi positif terhadap tujuan keamanan nasional sambil mempertahankan kepatuhan terhadap norma internasional dan prinsip kemanusiaan.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis literatur komprehensif yang telah dilakukan, teknologi *Swarm drone* menunjukkan potensi transformatif yang substansial dalam revolusi operasi militer perkotaan kontemporer. Efektivitas operasional yang didemonstrasikan melalui kemampuan koordinasi otonom, adaptabilitas terhadap lingkungan dinamis, dan eksekusi misi kompleks tanpa ketergantungan kontrol terpusat mengkonfirmasi kapasitas teknologi ini untuk mengatasi limitasi sistem pertahanan konvensional. Namun demikian, implementasi teknologi ini menghadapi tantangan multidimensional yang mencakup vulnerabilitas terhadap interferensi elektromagnetik, keterbatasan integrasi kecerdasan buatan dalam konteks nasional, serta kebutuhan pengembangan framework regulasi yang komprehensif. Disparitas antara advancement teknologi global dengan realitas implementasi di Indonesia mengindikasikan urgensi formulasi roadmap pengembangan nasional yang integratif, mencakup aspek teknologi, sumber daya manusia, dan infrastruktur pendukung.

Implikasi strategis jangka panjang dari adopsi teknologi *Swarm drone* menunjukkan paradigma shift fundamental dalam arsitektur pertahanan modern, dari operasi berbasis platform individual menuju ekosistem terintegrasi berbasis jejaring. Transformasi ini memicu kebutuhan pengembangan strategi counter-*Swarm* yang sophisticated, menciptakan dimensi baru dalam kompetisi teknologi pertahanan yang berpotensi mempengaruhi stabilitas strategis regional. Penelitian ini merekomendasikan pendekatan holistik dalam implementasi teknologi *Swarm drone* yang mengintegrasikan advancement teknologi dengan pertimbangan etika, regulasi internasional, dan kepatuhan terhadap hukum humaniter. Arah penelitian masa depan perlu berfokus pada pengembangan algoritma robust terhadap countermeasures, formulasi kerangka tata kelola yang adaptif, serta eksplorasi dimensi psikologis dan sosiologis dari otomatisasi dalam operasi militer untuk memastikan implementasi yang bertanggung jawab dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Faradiva Eka Putri, D., Yudho Prakoso, L., & Eka Soni Astaryadi, L. (2024). Peran teknologi *drone* dalam meningkatkan pertahanan keamanan laut di Indonesia. *Jurnal Sains dan Teknologi ISTP*, 22(01), 85–91.
- Firmansyah, M. Z., & Puspitasari, P. (2021). Pemanfaatan *drone* sebagai bagian dari kontra terorisme: Tinjauan pada regulasi dan prosedur tetap pengamanan. *Nakhoda: Jurnal Ilmu Pemerintahan*, 20(1), 43–58.
- Gao, H., Zhang, A., Li, W., & Cai, H. (2024). *Drone Swarm robust cooperative formation pursuit through relative positioning in a location denial environment*. *Drones*, 8(9), 1–22.
- Guo, K., & Wu, Q. (2025). A study of anti-*drone* *Swarming* strategies. *World Scientific Research Journal*, 11(2), 98–104.
- Indri, E., & Murtopo, A. (2025). *The integration of artificial intelligence in military drones: A technological analysis and its implementation in the Indonesian army*. *Jurnal Elektrosista*, 12(2), 123–130.

- Kurnianto, A., Guyana, D., & Widiarto, M. A. (2024). Fungsi *drone* kamikaze dalam membantu TNI Angkatan Laut menghadapi ancaman di laut untuk menjaga pertahanan negara Indonesia. *JIIP - Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, 7(10), 11745–11750.
- Marek, D., Paszkuta, M., Szyguła, J., Biernacki, P., Domański, A., Szczygieł, M., Król, M., & Wojciechowski, K. (2024). *Swarm of drones in a simulation environment—Efficiency and adaptation*. *Applied Sciences*, 14(9), Article 3703.
- Prapsetyo, A., Lestari, K., & Silitonga, F. (2025). Pemanfaatan teknologi *drone* guna mendukung tugas penyelidikan satuan zen TNI AD. *Jurnal Teknologi dan Pertahanan*, 13(1), 50–63.
- Putra, A. K., Faradilla, A., & Sipahutar, B. (2022). *Underwater drone*: Aset militer, perangkat penelitian dan kedaulatan. *PROGRESIF: Jurnal Hukum*, 15(2), 154–167.
- Ramadhan, R. A., Rebala, L. T. S., & Setiyono, J. (2025). Analisa penggunaan *drone* sebagai alat perang di Ukraina: Implikasinya dalam pengaturan *drone* di Indonesia. *Jurnal Pertahanan dan Strategi*, 14, 167–186.
- Rofii, M. S. (2025). Peran *drone* militer dalam mengubah strategi perang modern: Studi kasus perang Ukraina-Rusia dan perang Armenia-Azerbaijan. *Jurnal Ilmu Pertahanan dan Keamanan*, 10(1), 57–72.
- Singh, S. (2024). *Swarm drone operations in hostile electromagnetic environment*. *Journal of Military Technology*, 19(1), 1–19.
- Sugiyono, S., & Lestari, P. (2021). Metode penelitian komunikasi (kuantitatif, kualitatif, dan cara mudah menulis artikel pada jurnal internasional). Alvabeta.
- Sugiyono. (2020). Metodologi penelitian kuantitatif, kualitatif dan R & D. Alvabeta.
- Susdarwono, E. T. (2021). *Artificial intelligence drone* dalam pertahanan: Problem dan kemajuan. *Jurnal Ilmiah Intech: Information Technology Journal of UMUS*, 3(01), 1–11.