



Original Article

Artificial Intelligence Military System dalam Sistem Komando dan Pengendalian TNI untuk Meningkatkan Efektivitas Operasi Gabungan Terpadu dalam Penanggulangan Bencana Alam

Joko Nugroho^{1✉}, Haposan Simatupang², Afrizal Hendra³

^{1,2,3}Universitas Pertahanan RI, Indonesia,

Korespondensi Author: joko_nugroho@gmail.com

Abstrak:

Disaster response is a key component of Military Operations Other Than War (OMSP) that requires rapid decision-making, joint coordination, and effective interoperability between the Indonesian National Armed Forces (TNI) and civilian agencies. To support these demands, TNI has begun integrating Artificial Intelligence Military Systems (AIMS 2024) into its Command and Control System (Siskodal TNI) to generate a shared Common Operational Picture (COP) and accelerate the commander's decision cycle in disaster relief operations. This study analyzes: (1) the technical readiness of AI-enabled command and control systems; (2) human resource readiness in operating and utilizing AI-generated recommendations; and (3) the level of inter-service and civil-military integration in disaster response OMSP. Using a qualitative descriptive approach with an institutional case study design, data were collected through in-depth interviews, observation, and document analysis and analyzed using the Miles-Huberman-Saldana model. The findings show that AIMS 2024 can support integrated COP generation and tactical decision-making, but faces challenges in data interoperability, uneven human resource competence, and limited real-time civil-military integration. The study concludes that effective AI-enabled command and control requires not only advanced technology, but also strengthened human resources, data governance, and interagency coordination.

Keywords: TNI Command and Control System, AIMS 2024, Integrated Joint Operations, Disaster Response, Human Resource Readiness.

Pendahuluan

Dalam dinamika pertahanan negara yang kompleks, peran Tentara Nasional Indonesia (TNI) tidak hanya terbatas pada operasi militer menghadapi ancaman tradisional, tetapi juga mencakup partisipasi aktif dalam Operasi Militer Selain Perang

(OMSP), termasuk penanggulangan bencana alam. Hal ini sesuai dengan UU Nomor 3 Tahun 2025 tentang perubahan UU Nomor 34 Tahun 2004, yang menyatakan bahwa TNI membantu pemerintah dalam menangani bencana, proses pengungsian, dan bantuan kemanusiaan (Pemerintah Republik Indonesia, 2025).

Sebagai negara kepulauan di wilayah cincin api Pasifik, Indonesia sering menghadapi bencana dengan frekuensi tinggi. Dalam lima tahun terakhir, rata-rata terjadi lebih dari 4.000 bencana per tahun, termasuk gempa bumi, letusan gunung berapi, tsunami, banjir, dan tanah longsor. Tahun 2023 tercatat 5.400 kejadian, dengan 78% bencana hidrometeorologi akibat perubahan iklim (BNPB, 2023; BMKG, 2024). Tren ini menuntut respons cepat yang berbasis teknologi, termasuk Artificial Intelligence (AI), untuk meningkatkan kesiapsiagaan dan efektivitas penanggulangan bencana (BNPB, 2024; BMKG, 2024).

Sejarah sistem Komando dan Pengendalian (C2) TNI menunjukkan transformasi signifikan, dari era manual (1960–2000) yang mengandalkan radio dan peta fisik, menuju era digital (2001–2020) dengan sistem terkomputerisasi seperti Integrated Surveillance Monitoring System (ISMS, 2017) dan Operation Command Control System (OCCS, 2022). Saat ini, TNI memasuki era jaringan terintegrasi (2021–sekarang) dengan implementasi awal AI melalui AIMS 2024 dan Mission Information Management System (MIMS). Namun, integrasi dengan instansi sipil seperti Basarnas masih terbatas (Pusdalops TNI, 2024).

Integrasi AI dalam Siskodal TNI berpotensi memberikan predictive analytics untuk mengidentifikasi potensi bencana, alokasi sumber daya otomatis, dan simulasi dampak bencana secara real-time. Model global seperti Joint Artificial Intelligence Center (JAIC) milik Departemen Pertahanan AS menunjukkan bahwa AI dapat memangkas waktu pengambilan keputusan operasional hingga 40% (RAND Corporation, 2020). Di Indonesia, TNI mengembangkan interoperabilitas sistem antar matra dan instansi sipil melalui AIMS 2024, TDAS TNI AU, dan MALI TNI AL, untuk membangun Common Operational Picture (COP) terpadu.

Operasi gabungan penanggulangan bencana membutuhkan tiga prasyarat utama: (1) interoperabilitas data melalui standar skema dan API/protokol nasional; (2) kesiapan SDM dengan kompetensi operator–analisis–komandan; dan (3) tata kelola lintas instansi berupa SOP, MoU/PKS, serta mekanisme joint briefing dan after-action review. Ketiga prasyarat ini menjadi tolok ukur penelitian sekaligus arah kebijakan untuk memaksimalkan manfaat AIMS 2024 dalam Siskodal TNI.

Secara filosofis, implementasi AI selaras dengan nilai Pancasila, khususnya Sila ke-3 “Persatuan Indonesia” melalui kolaborasi lintas sektor, dan Sila ke-5 “Keadilan Sosial” dengan memastikan distribusi bantuan yang adil melalui algoritma cerdas. Landasan konstitusional diperkuat oleh Pasal 30 ayat (3) UUD 1945 dan konsep Wawasan Nusantara, yang menuntut sistem komando terpadu untuk seluruh wilayah kepulauan.

Meski transformasi digital telah dimulai dengan ISMS (2017), OCCS (2022), MIMS (2024), dan AIMS (2024), masih terdapat gap signifikan antara kondisi ideal (Das Sollen) dan kondisi aktual (Das Sein). Fragmentasi sistem antarmatra, kesiapan SDM yang beragam, serta minimnya integrasi dengan instansi sipil menyebabkan keterlambatan pengambilan keputusan dan respons darurat. Hal ini menunjukkan perlunya evaluasi implementasi AIMS 2024 sebagai simpul AI dalam Siskodal TNI untuk meningkatkan efektivitas operasi gabungan penanggulangan bencana, sesuai praktik global dan kebutuhan nasional (Beeravelly, 2024; Heeks, 2017). Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi kesiapan teknis, kelembagaan, dan interoperabilitas AIMS 2024,

serta strategi implementasi AI dalam TNI untuk meningkatkan responsivitas, interoperabilitas, dan efisiensi operasi gabungan dalam menghadapi krisis kebencanaan nasional.

Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif eksploratif untuk menganalisis penerapan Artificial Intelligence (AI) di lingkungan TNI, baik dari aspek teknis maupun interaksi antarlembaga dalam operasi gabungan penanggulangan bencana. Pendekatan ini menekankan pemahaman terhadap realitas sosial dalam konteks alamiah melalui interaksi langsung dengan partisipan dan triangulasi data guna memastikan relevansi temuan lapangan (Moleong, 2018; Sugiyono, 2020; Bungin, 2017).

Penelitian dilaksanakan dalam tiga tahap, yaitu: analisis dokumen strategis dan evaluasi awal AIMS 2024; pengumpulan data melalui wawancara mendalam, observasi lapangan, dan studi dokumen pada Agustus–Oktober 2025; serta analisis data menggunakan model interaktif Miles–Huberman yang meliputi kondensasi, penyajian, dan verifikasi data. Pendekatan ini memungkinkan penilaian komprehensif terhadap hubungan antara teknologi, sumber daya manusia, dan kebijakan dalam mendukung efektivitas operasi gabungan TNI berbasis AI.

Hasil dan Pembahasan

Kesiapan teknis instalasi dan operasional AIMS 2024 di Pusdalops TNI.

Pusdalops TNI bertanggung jawab menyelenggarakan Siskodal untuk operasi gabungan, termasuk OMSP pada penanggulangan bencana. Sejak November 2024, AIMS 2024 dipasang sebagai enabler analitik-prediktif untuk membentuk COP Bersama (Pusdalops TNI, 2024). Untuk memberikan gambaran menyeluruh tentang fitur, output, dan arsitektur fungsional High Level Functional sistem AIMS 2024 yang telah terintegrasi di Pusdalops TNI sejak November 2024, ringkasan fitur AIMS 2024 disajikan pada gambar 4.1 (Pusdalops TNI, 2025).

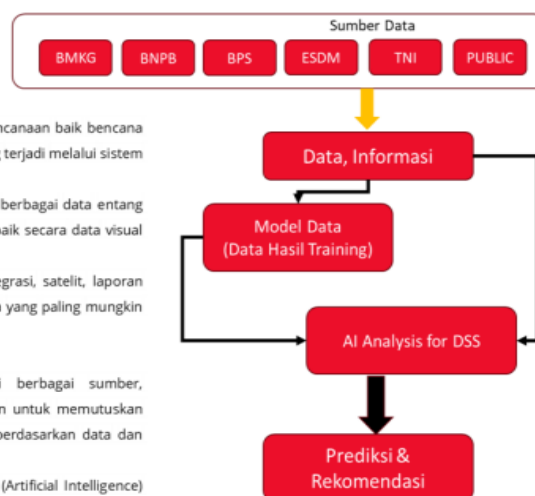
Status instalasi AIMS 2024 di Pusdalops TNI telah mencapai tahap operasional dasar sejak November 2024 (Pusdalops TNI, 2024, 2025). Pengujian awal meliputi fungsi monitoring COP berbasis real time, predictive alerting terhadap bencana, serta early warning sistem. Infrastruktur jaringan mendukung operasional sistem ini melalui perluasan ICCS backbone, penggunaan mobile Puskodal Bus dengan SOTM, serta mesh network untuk komunikasi fleksibel di wilayah terdampak. Namun demikian, hambatan teknis masih muncul dalam bentuk ketidaksesuaian protokol data antar sistem, keterbatasan bandwidth, serta keterlambatan integrasi dengan sistem instansi sipil. Fragmentasi tersebut memerlukan standardisasi teknis dan percepatan penguatan jaringan komunikasi untuk mencapai interoperabilitas penuh.

Kesiapan teknis instalasi dan operasional AIMS 2024 di Pusdalops TNI, sebagaimana dijelaskan melalui fitur dan arsitekturnya, secara spesifik menguatkan urgensi implementasi AI dalam Siskodal TNI. AIMS 2024 telah mencapai tahap operasional dasar sejak November 2024 dengan kemampuan monitoring COP berbasis real time, predictive alerting, dan early warning sistem menjadi bukti nyata adaptasi TNI terhadap dinamika ancaman dan kebutuhan respons cepat dalam penanggulangan bencana alam. Secara eksplisit, implementasi real-time COP yang difasilitasi oleh AIMS 2024 secara langsung mendukung urgensi kebutuhan penyajian informasi situasional dalam hitungan menit untuk mempercepat deployment pasukan dan sumber daya. Dengan AI, sistem komando dapat mentransformasi data dari UAV, sensor cuaca,

laporan masyarakat, dan kanal instansi lain menjadi satu peta operasi terpadu yang adaptif dan prediktif. Implementasi ini bukan sekadar inovasi teknologi, melainkan kebutuhan mutlak untuk mendukung efektivitas operasi gabungan TNI di era digital.

FITUR AIMS

- 1. Prediksi dan Peringatan Dini:** menampilkan informasi tingkat kebencanaan baik bencana alam dan non alam. Menginformasikan deteksi dini kebencanaan yang terjadi melalui sistem informasi AIMS berbasis web dan mobile.
- 2. Monitoring dan Pemantauan:** Menyediakan data waktu nyata dari berbagai data entang situasi bencana dari hasil integrasi dengan pihak penyedia layanan baik secara data visual geografis dan dashboard.
- 3. Manajemen Data dan Informasi:** Mengelola pusat data hasil integrasi, satelit, laporan cuaca, sumber daya seperti personel, peralatan, dan pasokan ke area yang paling mungkin terkena dampak bencana.
- 4. Notifikasi:** memberikan notifikasi prediksi bencana dan rekomendasi.
- 5. Decision Support System:** Dengan menggunakan data dari berbagai sumber, menggunakan pemodelan AI dapat membantu top level manajemen untuk memutuskan dan merencanakan berkaitan dengan tindakan yang akan diambil berdasarkan data dan analisa yang tersedia.
- 6. Core AI:** Sistem untuk melakukan proses pengembangan Model AI (Artificial Intelligence) yang mungkin dapat berubah jika diperlukan.



Sumber: Dokumen Teknis Pusdalops TNI, diolah oleh peneliti (2025)

Gambar 1. Fitur AIMS 2024

Gambar 1 menampilkan fitur utama AIMS 2024, meliputi prediksi dan peringatan dini, pemantauan real-time, manajemen data, notifikasi, serta Decision Support System (DSS) dan Core AI. Fitur ini mempercepat pengambilan keputusan taktis–strategis dan mendukung respons penanggulangan bencana yang cepat dan tepat sesuai prinsip golden hour (Alberts et al., 1999; Alberts & Hayes, 2006).

OUTPUT AIMS



AIMS App

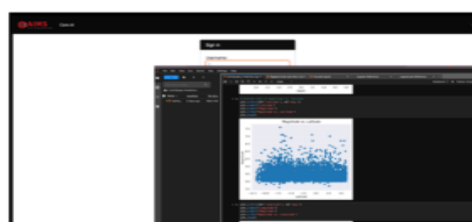
Memudahkan pengguna di lapangan dan pimpinan dalam monitoring dan pelaporan kebencanaan

compileSdk 34
(Android 14)
minSdkVersion 30
(Android 11)
targetSdkVersion 34 (Android 14)



AIMS Web <https://aims.web.id>

AIMS web dapat melakukan monitoring kebencanaan, melakukan prediksi kebencanaan gempa, early warning system, notifikasi dan pelaporan personel pada saat penugasan di lapangan



Core AI <https://core.aims.web.id>

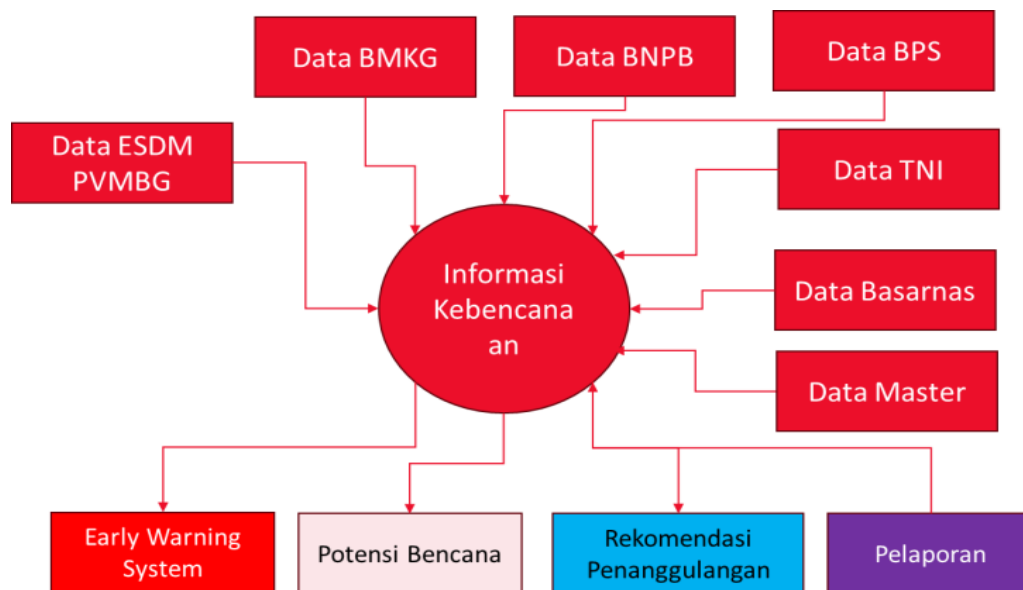
Lingkungan pengembangan interaktif berbasis web untuk notebook, kode, dan data. Antarmuka yang fleksibel memungkinkan pengguna untuk mengonfigurasi dan mengatur alur kerja dalam sains data, komputasi ilmiah, jurnalisme komputasi, dan pembelajaran mesin

Sumber: Dokumen Teknis Pusdalops TNI, diolah oleh peneliti (2025)

Gambar 2. Output AIMS 2024

Gambar 2 menunjukkan output yang dihasilkan AIMS, termasuk antarmuka web dan aplikasi mobile yang memudahkan pengguna di lapangan dan pimpinan dalam monitoring dan pelaporan kebencanaan, serta lingkungan pengembangan Core AI. Ketersediaan antarmuka web dan mobile ini secara signifikan memperluas aksesibilitas informasi di lapangan, memungkinkan personel untuk melakukan pelaporan real-time

dan pimpinan untuk memantau situasi dari berbagai lokasi. Ini mendukung konsep distributed awareness dalam Network Centric Warfare, di mana informasi tersedia bagi semua aktor yang membutuhkan untuk pengambilan keputusan bersama yang lebih efektif.



Sumber: Dokumen Teknis Pusdalops TNI (2025)

Gambar 3. Data Flow Diagram AIMS 2024

Gambar 3 lebih lanjut memperjelas bagaimana informasi kebencanaan dikonsolidasi dari berbagai sumber data untuk menghasilkan early warning sistem, potensi bencana, rekomendasi penanggulangan, dan pelaporan. Alur data ini secara konkret menunjukkan bagaimana data mentah dari berbagai instansi diolah dan dianalisis oleh modul AI untuk menghasilkan actionable intelligence. Efisiensi dan akurasi dalam alur data ini secara langsung menentukan kecepatan respons dan efektivitas koordinasi lintas lembaga dalam situasi darurat, merupakan manifestasi dari prinsip network centric warfare dalam manajemen informasi (Akhyar, A., et al. 2024).

Kesiapan teknis merupakan indikator kunci keberhasilan implementasi sistem komando dan pengendalian (Kodal) berbasis Artificial Intelligence. Berdasarkan hasil analisis, instalasi AIMS 2024 di Pusdalops TNI menunjukkan perkembangan yang signifikan dari sisi perangkat keras dan infrastruktur jaringan. Hal ini tercermin dari tersedianya konektivitas server OCCS, Client Smartwall, serta dashboard Common Operational Picture (COP) yang telah berfungsi secara operasional. Capaian tersebut menunjukkan bahwa prasyarat dasar operasional sistem telah terpenuhi. Namun demikian, pengoperasian AIMS 2024 secara optimal masih menghadapi kendala, khususnya pada kesiapan konfigurasi antar node serta stabilitas infrastruktur komunikasi data lintas Komando Utama (Kotama) dan Satuan Tugas.

Data dari Paban Komlek TNI menunjukkan bahwa jaringan OCCS telah menjangkau sembilan satuan kerja utama dan dua belas titik komando lapangan. Meskipun konektivitas fisik telah tersedia, kemampuan pemrosesan data berbasis AI masih berada pada tahap awal integrasi. Hal ini terlihat dari operasional sistem yang masih bersifat semi-otomatis dan belum sepenuhnya mengimplementasikan skema prediksi maupun simulasi berbasis machine learning.

Untuk menganalisis kesiapan tersebut secara lebih mendalam, pembahasan ini

dikaitkan dengan prinsip Decision Support System (DSS) menurut Keen (1980) serta konsep Network Centric Warfare (NCW) dari Alberts et al. (1999). Kerangka ini digunakan untuk menilai sejauh mana AIMS 2024 mampu mendukung pengambilan keputusan yang relevan dan tepat waktu, sekaligus berkontribusi pada dominasi informasi dalam jaringan operasional TNI.

Hasil observasi menunjukkan bahwa COP telah mampu menampilkan data real-time dari berbagai satuan, termasuk visualisasi posisi satuan dan status logistik. Namun, integrasi langsung dengan sistem pemodelan cuaca BMKG maupun peta risiko bencana BNPB belum tersedia. Kondisi ini menunjukkan bahwa meskipun AIMS 2024 telah terinstalasi secara fungsional, pemanfaatan elemen Artificial Intelligence dan integrasi lintas instansi belum berjalan secara menyeluruh.

Ditinjau dari perspektif DSS (Keen, 1980), sistem dikatakan efektif apabila mampu menyediakan informasi yang relevan, tepat waktu, dan terstruktur untuk mendukung pengambilan keputusan. Dalam konteks AIMS 2024, ketersediaan perangkat keras dan dashboard visual telah memenuhi sebagian komponen DSS, namun belum sepenuhnya merepresentasikan kemampuan prediktif dan responsif sebagaimana yang diharapkan dari sistem berbasis AI. Akibatnya, proses pengambilan keputusan masih sangat bergantung pada interpretasi manual oleh operator dan pimpinan.

Selanjutnya, dalam kerangka Network Centric Warfare (Alberts et al., 1999), kesiapan teknis sistem menjadi prasyarat utama agar seluruh node dalam sistem Kodal dapat beroperasi dalam satu jaringan informasi yang terintegrasi. Fragmentasi koneksi dan keterbatasan sinkronisasi data antar satuan menunjukkan bahwa AIMS 2024 masih berada pada fase transisi dari sistem berbasis data menuju sistem C2 yang sepenuhnya didukung AI.

Temuan ini sejalan dengan studi RAND Corporation (2020) yang menekankan pentingnya integrasi data secara komprehensif untuk mencapai dominasi informasi dalam operasi militer. Tanpa integrasi yang menyeluruh, potensi AIMS 2024 sebagai force multiplier dalam operasi gabungan belum dapat dimanfaatkan secara maksimal dan berisiko menimbulkan kesenjangan informasi yang menghambat kecepatan serta akurasi respons.

Berdasarkan keseluruhan analisis tersebut, dapat disimpulkan bahwa kesiapan teknis instalasi AIMS 2024 telah berada pada tahap yang menjanjikan. Namun, efektivitas operasionalnya masih perlu ditingkatkan, terutama pada pengembangan algoritma prediktif, integrasi dengan sumber data eksternal, serta peningkatan kapasitas sistem melalui pelatihan berkelanjutan. Rekomendasi teknis yang dapat diajukan meliputi penyempurnaan konfigurasi lintas node OCCS, penambahan modul simulasi berbasis skenario bencana, serta penerapan protokol pengujian keamanan sistem informasi secara berkala guna menjamin keandalan data dan kecepatan akses informasi dalam kondisi darurat.

Kesiapan Sumber Daya Manusia TNI dalam Pengoperasian AIMS 2024

Kesiapan sumber daya manusia (SDM) merupakan faktor penentu dalam keberhasilan adopsi dan optimalisasi Artificial Intelligence Military System (AIMS) 2024 di lingkungan TNI. Temuan penelitian menunjukkan adanya kesenjangan kompetensi yang signifikan, ditandai dengan hanya sekitar 6% personel yang telah memiliki sertifikasi AIMS 2024. Kondisi ini secara langsung mengonfirmasi relevansi Institutional Readiness Theory dari Weiner (2009), yang menegaskan bahwa keberhasilan implementasi teknologi baru tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan

sistem, tetapi juga oleh kesiapan organisasi yang mencakup aspek struktural, psikologis, dan budaya.

Hasil wawancara dengan perwira staf Pusdalops TNI menunjukkan bahwa sebagian besar operator AIMS memiliki latar belakang teknis dasar dan mampu mengoperasikan tampilan Common Operational Picture (COP). Namun demikian, mereka belum dibekali secara memadai dengan pelatihan terkait AI-based Decision Support System. Salah satu narasumber menyatakan bahwa sebagian besar personel “telah memahami visualisasi COP, tetapi belum menguasai logika pemrosesan algoritma prediktif dan manajemen simulasi berbasis AI.” Temuan ini mengindikasikan bahwa literasi AI di kalangan personel masih terbatas pada aspek visualisasi data, belum mencapai kemampuan interpretasi dan pemanfaatan predictive insights berbasis machine learning.

Implikasi dari keterbatasan tersebut adalah terhambatnya kemampuan TNI dalam memanfaatkan rekomendasi otomatis dan analisis prediktif yang dihasilkan oleh AIMS 2024. Akibatnya, proses pengambilan keputusan masih cenderung bersifat manual dan berpotensi menimbulkan decision lag, yang sangat krusial dalam konteks penanggulangan bencana. Kondisi ini sejalan dengan Institutional Readiness Theory (Weiner, 2009) yang menekankan bahwa kesiapan individu dan budaya organisasi merupakan faktor utama dalam keberhasilan adopsi teknologi.

Dari aspek struktural, meskipun TNI telah mulai menyusun program pelatihan berbasis transformasi digital di bidang infolahta dan komunikasi elektronik (komlek), program tersebut masih bersifat umum dan belum secara spesifik diarahkan pada operasionalisasi sistem C4ISR berbasis AI. Dokumentasi dari Pusinfolahta TNI menunjukkan bahwa modul pelatihan khusus terkait AI-Siskodal masih berada dalam tahap perumusan kurikulum. Hal ini memperkuat temuan adanya kesenjangan antara kebutuhan operasional AIMS 2024 dan kesiapan pelatihan yang tersedia.

Ketidakseimbangan antara kesiapan struktural organisasi dan kompetensi individu ini berdampak pada pemanfaatan AIMS 2024 yang belum optimal dan masih bersifat semi-manual. Hal ini menegaskan bahwa transformasi teknologi harus diiringi dengan pengelolaan perubahan organisasi (change management) yang sistematis, khususnya dalam pengembangan kompetensi SDM.

Berdasarkan temuan tersebut, penguatan SDM menjadi agenda strategis yang harus dilaksanakan secara simultan dengan pengembangan teknologi. Rekomendasi yang dapat diajukan meliputi: (1) penyusunan kurikulum pelatihan AI yang terstruktur bagi operator teknis dan perwira pengambil keputusan, (2) penguatan kerja sama pendidikan antara institusi militer dan sivitas akademika di bidang AI dan data analytics, serta (3) percepatan pelaksanaan sertifikasi kompetensi operator AIMS dengan pendekatan lintas matra.

Integrasi Sistem AIMS 2024 Antarmatra dan dengan Instansi Sipil

Implementasi integrasi sistem AIMS 2024 antarmatra TNI dan dengan instansi sipil terkait masih menunjukkan capaian yang bersifat parsial. Meskipun koordinasi fungsional telah berjalan, interoperabilitas teknis dan kelembagaan belum sepenuhnya terwujud. Kondisi ini dianalisis melalui perpaduan Collaborative Governance Model (Ansell & Gash, 2007) dan Data Governance Framework (Khatri & Brown, 2010).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi antarmatra TNI (Darat, Laut, dan Udara) melalui Operational Command and Control System (OCCS) telah berjalan pada tingkat dasar, terutama dalam hal konektivitas teknis dan interoperabilitas COP.

Namun, integrasi tersebut masih bersifat sektoral dan belum mencapai penyatuan prosedur komando lintas matra dalam satu sistem pengambilan keputusan otomatis berbasis AI. Kondisi ini berpotensi menimbulkan information silos yang dapat memperlambat koordinasi dan mengurangi efektivitas pengerahan kekuatan dalam operasi penanggulangan bencana.

Dalam konteks integrasi dengan instansi sipil, tantangan yang dihadapi lebih kompleks. Wawancara dengan narasumber dari BMKG dan BNPP mengungkapkan adanya perbedaan protokol data, keterbatasan bandwidth, serta belum tersedianya mekanisme sinkronisasi data secara real-time. Kendala tersebut secara langsung menghambat pembentukan single source of truth data kebencanaan, yang merupakan prinsip utama dalam Data Governance Framework (Khatri & Brown, 2010). Narasi dari DisinfoLahtaal juga menguatkan temuan ini dengan menyatakan bahwa hingga saat ini belum terdapat node terpadu yang mampu menggabungkan COP TNI dengan sistem visualisasi InaTEWS maupun SARMap.

Meskipun telah terdapat forum koordinasi seperti Rakornis Kodalops dan mandat integrasi melalui ST Panglima TNI Nomor ST/362/2024, pada tataran teknis AIMS 2024 masih berjalan terpisah dari platform informasi BNPB dan BMKG. Sistem InaRISK milik BNPB, misalnya, belum dapat diintegrasikan secara otomatis ke dalam COP AIMS. Temuan ini konsisten dengan studi UNDRR (2023) yang menyoroti tantangan integrasi data lintas sektor dalam manajemen risiko bencana di kawasan Asia Tenggara.

Dalam perspektif Collaborative Governance (Ansell & Gash, 2007), kondisi tersebut menunjukkan bahwa prasyarat kolaborasi digital—seperti tujuan bersama, proses interaktif, dan kesepakatan protokol—belum sepenuhnya terpenuhi. Sementara itu, dari sudut pandang Data Governance, belum optimalnya standarisasi format data, kepemilikan data, dan keamanan informasi masih menjadi hambatan utama interoperabilitas sistem.

Berdasarkan analisis tersebut, dapat disimpulkan bahwa integrasi AIMS 2024 telah menunjukkan kemajuan awal, namun masih menghadapi hambatan sistemik dan kelembagaan yang signifikan. Upaya percepatan integrasi dapat dilakukan melalui: (1) penyusunan SOP bersama lintas instansi, (2) penugasan unit integrator teknis gabungan TNI–BNPB–BMKG–BNPP, dan (3) pengembangan platform cloud bersama yang mendukung pengambilan keputusan cepat dan berbasis data real-time dalam kondisi darurat.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kebocoran data (data leakage) tidak hanya disebabkan oleh kelemahan teknis pada sistem informasi, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh faktor manusia (human error). Penelitian ini menunjukkan bahwa bentuk human error yang paling sering berkontribusi terhadap kebocoran data meliputi penggunaan kata sandi yang lemah, kesalahan dalam pengiriman data, kerentanan terhadap serangan phishing, serta kesalahan konfigurasi hak akses.

Hasil penelitian juga mengungkapkan bahwa keberadaan kontrol keamanan teknis saja belum cukup untuk mencegah terjadinya kebocoran data. Tanpa didukung oleh kesadaran keamanan pengguna dan penerapan prosedur yang jelas, sistem informasi tetap rentan terhadap eksploitasi yang berasal dari kesalahan manusia. Oleh karena itu, pendekatan keamanan yang komprehensif dengan mengintegrasikan aspek manusia,

proses, dan teknologi menjadi kebutuhan yang sangat penting dalam upaya perlindungan data organisasi.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, disarankan agar organisasi meningkatkan kesadaran keamanan informasi bagi seluruh pengguna sistem melalui pelatihan dan edukasi keamanan secara berkala. Selain itu, organisasi perlu menetapkan dan menerapkan prosedur operasional standar yang jelas terkait pengelolaan data dan akses sistem guna meminimalkan potensi kesalahan manusia.

Disarankan pula untuk memperkuat kontrol teknis dengan menerapkan manajemen akses berbasis prinsip least privilege, autentikasi berlapis, serta sistem pencegahan kebocoran data (Data Loss Prevention). Penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengkaji secara empiris efektivitas kombinasi strategi mitigasi tersebut pada berbagai jenis organisasi dan lingkungan sistem informasi yang berbeda, sehingga diperoleh model mitigasi kebocoran data yang lebih optimal dan aplikatif.

Daftar Pustaka

- Alberts, D. S., & Hayes, R. E. (2006). *Understanding Command and Control*. CCRP.
- Alberts, D. S., Garstka, J. J., & Stein, F. P. (1999). *Network Centric Warfare: Developing and Leveraging Information Superiority*. CCRP.
- Armstrong, M. (2014). *Armstrong's Handbook of Human Resource Management Practice* (13th ed.). Kogan Page.
- Akhyar, A., Nugraha, A. L., Yaqin, A., & Isnaini, M. (2024). Deep artificial intelligence applications for natural disaster management: A methodological review. *Environmental Modelling & Software*, 178, 106086. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2024.106086>
- Ansell, C., & Gash, A. (2007). Collaborative governance in theory and practice. *Public Administration Review*, 68(3), 544–558. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6210.2007.00703.x>
- Amrulloh, M. H., Purwanto, S., Hutajulu, B., & Siagian, F. (2025). Strategi Kodam XVII/Cenderawasih dalam Pemenuhan Personel guna Mendukung Kesiapan Operasi di Papua. *Sparta Multidisciplinary Journal*, 1(1), 16-32.
- Amalia, F. S., Mahroza, J., Halkis, M., Priyanto, P., Purwanto, S., Gunawan, R., ... & David, L. (2024). DIPLOMASI PERTAHANAN INDONESIA-AUSTRALIA UNTUK HUMANITARIAN ASSISTANCE AND DISASTER RELIEF (HADR).
- Alam, S., Sutanto, R., & Purwanto, S. (2025). Analisis Efektifitas Kerjasama TNI-Polri untuk Menangani Destructive Fishing Guna Mendukung Ekonomi Biru dalam Rangka Pembangunan Nasional. *Jurnal Pendidikan Indonesia*, 6(11).
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). (n.d.). Indonesia Tsunami Early Warning System (InaTEWS) [Portal]. <https://inatews.bmkg.go.id/eng>
- BMKG. (n.d.). Daftar 200 Gempabumi Realtime Terakhir – InaTEWS [Dasbor]. <https://inatews.bmkg.go.id/web/realtime>
- BMKG. (2025). Catatan Iklim dan Kualitas Udara Indonesia 2024. BMKG. (rilis Maret 2025).
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB). (2016, 10 November). BNPB luncurkan InaRISK: Risiko bencana Indonesia teridentifikasi [Siaran pers]. <https://bnpb.go.id/index.php/berita/bnpb-luncurkan-inarisk-risiko-bencana-indonesia-teridentifikasi>
- BNPB. (n.d.). InaRISK – Indeks Risiko Bencana Indonesia [Portal]. <https://inarisk.bnpb.go.id/>
- BNPB. (n.d.). DIBI – Data dan Informasi Bencana Indonesia [Dasbor]. <https://dibi.bnpb.go.id/>

- BNPB. (2025, 23 Juli). Peran InaRISK dalam peningkatan kapasitas kesiapsiagaan masyarakat [Artikel]. <https://bnpb.go.id/berita/peran-inarisk-dalam-peningkatan-kapasitas-kesiapsiagaan-masyarakat>
- Becker, G. S. (1993). *Human Capital: A Theoretical and Empirical Analysis, with Special Reference to Education* (3rd ed.). University of Chicago Press.
- Bryson, J. M. (2011). *Strategic Planning for Public and Nonprofit Organizations* (4th ed.). Jossey-Bass.
- Bungin, B. (2017). *Metodologi Penelitian Kualitatif* (ed. revisi). Kencana.
- Bowen, G. A. (2009). Document analysis as a qualitative research method. *Qualitative Research Journal*, 9(2), 27–40. <https://doi.org/10.3316/QRJ0902027>
- Coryn, C. L. S., Noakes, L. A., Westine, C. D., & Schröter, D. C. (2011). A systematic review of theory-driven evaluation practice. *American Journal of Evaluation*, 32(2), 199–226. <https://doi.org/10.1177/1098214010389321>
- Creswell, J. W. (2014). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (4th ed.). SAGE.
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319–340. <https://doi.org/10.2307/249008>
- Heeks, R. (2017). *Information and Communication Technology for Development* (2nd ed.). Routledge.
- Jain, H., Nanduri, R., & Patel, H. (2023). Leveraging machine learning algorithms for improved weather forecasting and natural catastrophe predictions. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1194918. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1194918>
- Kotter, J. P. (1996). *Leading Change*. Harvard Business School Press.
- Khatvi, V., & Brown, C. V. (2010). Designing data governance. *Communications of the ACM*, 53(1), 148–152. <https://doi.org/10.1145/1629175.1629210>
- Lin, S., Wang, Y., Zhang, Q., & Zhou, X. (2025). Application of machine learning in early warning systems for geotechnical disasters: A review. *Artificial Intelligence Review*. <https://doi.org/10.1007/s10462-025-11175-0>
- Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). *Naturalistic Inquiry*. SAGE.
- Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2014). *Qualitative Data Analysis: A Methods Sourcebook* (3rd ed.). SAGE.
- Moleong, L. J. (2018). *Metodologi Penelitian Kualitatif* (ed. revisi). PT Remaja Rosdakarya.
- Neuman, W. L. (2014). *Social Research Methods: Qualitative and Quantitative Approaches* (7th ed.). Pearson.
- Patton, M. Q. (2002). *Qualitative Research & Evaluation Methods* (3rd ed.). SAGE.
- Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 66 Tahun 2019 tentang Susunan Organisasi Tentara Nasional Indonesia.
- Permana, D. R., Taufik, R. M., & Purwanto, S. (2025). STRATEGI PEMBINAAN TERITORIAL KODIM 1603/SIKKA DALAM MEWUJUDKAN KETAHANAN WILAYAH MENGHADAPI ERUPSI GUNUNG LEWOTOBI LAKI-LAKI Al-Ihtiram: *Multidisciplinary Journal of Counseling and Social Research*, 4(2), 653–660.
- Purwanto, S., & Ilhamsyah, I. (2025). Army Human Resources Development Strategy through Human Capital Approach. *Indonesian Journal of Social Science and Education (IJOSSE)*, 1(1), 1–22.
- Purwanto, S., & Siagian, F. (2025). Strategic human resources management in the global era: Navigating opportunities and challenges. *Centurion MSPD Journal*, 1(1).
- Purwanto, S., Purnomo, M. R., & Budiman, H. (2025). POWER DYNAMICS IN DECISION MAKING: A QUALITATIVE ANALYSIS. *POWER*, 2(1), 80–86.
- Purwanto, S., Supangat, S., Esterina, M., Souhoka, S., Chandra, F., & Hariputra, A. & Arianto, T. (2024). *Manajemen Sumber Daya Manusia*. Yayasan Tri Edukasi Ilmiah.
- Purwanto, S., Basalamah, S., Mallongi, S., & Sukmawati, S. (2020). Effects of

- Recruitment, Leadership, and Local Culture on Discipline and Performance of Garuda Contingent Soldiers in Lebanon. *International Journal of Multicultural and Multireligious Understanding*, 7(5), 606-618.
- Prasetiawan, H. P., AR, D. D., & Purwanto, S. (2025). THE STRATEGY TO IMPROVE THE CHARACTER OF MILITARY ACADEMY CADETS THROUGH THE ROLE OF MENTORS IN SHAPING PROFESSIONAL OFFICERS TO SUPPORT THE MAIN DUTIES OF THE INDONESIAN ARMY: STRATEGI PENINGKATAN KARAKTER TARUNA AKMIL MELALUI PERAN PENGASUH DALAM PEMBENTUKAN PERWIRA PROFESIONAL GUNA MENDUKUNG TUGAS POKOK TNI AD. *Santhet (Jurnal Sejarah Pendidikan Dan Humaniora)*, 9(6), 2184-2191.
- RAND Corporation. (2025, August 27). How AI is changing our approach to disasters. <https://www.rand.org/pubs/commentary/2025/08/how-ai-is-changing-our-approach-to-disasters.html>
- Somani, E., Chan, H., & Kallus, N. (2025). Strengthening emergency preparedness and response plans for AI loss-of-control scenarios (Research Report RRA3847-1). RAND Corporation. https://www.rand.org/pubs/research_reports/RRA3847-1.html
- Smith, E. A. (2003). *Effects-Based Operations: Applying Network-Centric Warfare in Peace, Crisis, and War*. CCRP.
- Spencer, L. M., & Spencer, S. M. (1993). *Competence at Work: Models for Superior Performance*. John Wiley & Sons.
- Stallings, W. (2017). *Data and Computer Communications* (11th ed.). Pearson.
- Sugiyono. (2013). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D* (ed. revisi). Alfabeta.
- Sugiyono. (2020). *Metode Penelitian Kualitatif* (cet. terbaru). Alfabeta.
- Telegram Panglima TNI Nomor ST/362/2024 tentang Penguatan Interoperabilitas Sistem Komando dan Pengendalian.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR), & GFDRR. (2023, March). Digital public goods for disaster risk reduction in a changing climate [Briefing note]. UNDRR. <https://www.undrr.org/publication/digital-public-goods-disaster-risk-reduction-changing-climate>
- Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 3 Tahun 2002 tentang Pertahanan Negara.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 34 Tahun 2004 tentang Tentara Nasional Indonesia.
- Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly*, 27(3), 425–478. <https://doi.org/10.2307/30036540>
- Weiner, B. J. (2009). A theory of organizational readiness for change. *Implementation Science*, 4, 67. <https://doi.org/10.1186/1748-5908-4-67>
- World Bank. (2023). Digital public goods for disaster risk reduction in a changing climate [Policy note]. World Bank Open Knowledge Repository.