

UAV-BASED ENGINEERING RECONNAISSANCE: STRATEGI ARSITEKTUR PERTAHANAN DALAM MITIGASI INFRASTRUKTUR VITAL PASCA BENCANA

**Agung Prapsetyo^{1*}, Ilhan Yasin², Kiki Lestari³. Danny Reifan Adriansyah⁴
Daffa Putra Handara⁵**

¹⁾ Prodi Teknik Sipil Pertahanan, Akmil, Jl. Gatot Subroto No. 1 Magelang
kinggoenk@gmail.com ¹

^{2,4,5} Batalyon Remaja Resimen Taruna, Akmil, Jl. Gatot Subroto No. 1 Magelang
ilhamyasin123@gmail.com², dannyreifan@gmail.com⁴, daffahandara2005@gmail.com⁵

³ Prodi Arsitektur Fak. Sain dan Teknologi UNPAB, Jl. Gatot Subroto Km. 4, Tj. Simpang,
Kec. Medan Sunggal, Kota Medan
Kikilestari569@yahoo.com ³

ABSTRAK

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) atau Pesawat tanpa awak, dewasa ini perkembangan teknologinya telah merevolusi paradigma rekayasa teknik militer, khususnya dalam konteks penyelidikan zeni (*engineering reconnaissance*) dan mitigasi infrastruktur vital pasca bencana. Infrastruktur vital merupakan komponen strategis dalam arsitektur pertahanan yang kerap mengalami kerusakan akibat bencana alam maupun konflik bersenjata, sehingga memerlukan strategi penilaian kerusakan yang cepat, akurat, dan aman bagi personel. Penelitian ini bertujuan mengkaji strategi integrasi teknologi UAV dalam rekayasa teknik militer untuk mitigasi infrastruktur vital pasca bencana berbasis konsep arsitektur pertahanan. Metode yang digunakan ada penelitian ini adalah menggunakan metode penelitian literatur, dengan menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif, lalu dianalisis perkembangan teknologi UAV, sensor penginderaan jauh, serta kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) dalam konteks militer dan sipil. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi UAV dilengkapi *payload* multispektral, LiDAR, dan sistem *swarm intelligence* mampu meningkatkan efisiensi waktu penilaian kerusakan infrastruktur hingga 70% dibandingkan metode konvensional, mengurangi risiko personel di medan berbahaya, serta menghasilkan data spasial beresolusi tinggi untuk perencanaan rekonstruksi pertahanan. Rekomendasi yang diusulkan meliputi pengembangan doktrin *UAV-based engineering reconnaissance*, standarisasi pelatihan operator drone militer, dan integrasi sistem digital *twin* untuk simulasi kerentanan infrastruktur vital dalam arsitektur pertahanan nasional.

Kata-kunci: drone; pengintaian teknik; infrastruktur; pascabencana; arsitektur pertahanan.

ABSTRACT

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) or unmanned aircraft, currently the development of technology, particularly in the context of engineering reconnaissance and post-disaster critical infrastructure mitigation. Critical infrastructure is a strategic component in defense architecture that often suffers damage due to natural disasters and armed conflicts, requiring rapid, accurate, and personnel-safe damage assessment strategies. This research aims to examine the integration strategy of UAV technology in military engineering for post-disaster critical infrastructure mitigation based on defense architecture concepts. The method used in this research is a literature research method, using a descriptive qualitative approach, then analyzed the development of UAV technology, remote sensing payloads, and Artificial Intelligence in military and civil contexts. The results show that the integration of UAVs equipped with multispectral payloads, LiDAR, and swarm intelligence systems can improve infrastructure damage assessment efficiency by up to 70% compared to conventional methods, reduce personnel risks in hazardous areas, and produce high-resolution spatial

data for defense reconstruction planning. The recommendations proposed include the development of UAV-based engineering reconnaissance doctrine, standardization of military drone operator training, and integration of digital twin systems for critical infrastructure vulnerability simulation in national defense architecture.

Keywords: *drone; engineering reconnaissance; infrastructure; post-disaster; defense architecture*

PENDAHULUAN

Bencana alam dan konflik bersenjata merupakan ancaman kompleks yang dapat mengakibatkan kerusakan masif terhadap infrastruktur vital suatu negara. Infrastruktur vital meliputi jembatan, bandara, pelabuhan, instalasi energi, dan fasilitas pertahanan, yang merupakan tulang punggung operasionalitas pertahanan nasional dan kelangsungan kehidupan sosial-ekonomi masyarakat (Prapsetyo et al., 2022). Kerusakan infrastruktur tersebut tidak hanya menghambat operasi militer tetapi juga memperburuk dampak kemanusiaan pasca bencana, sehingga memerlukan respons mitigasi yang cepat dan terukur (Mishra et al., 2020).

Dalam konteks militer, Satuan Zeni TNI AD memiliki tupok (tugas pokok) memberikan bantuan zen, yang meliputi: dukungan intelijen pertempuran, perlindungan, gerak maju pasukan, dan penjaminan kelangsungan hidup pihak sendiri (Mabes TNI AD, 2022). Salah satu fungsi krusial adalah penyelidikan zen (*engineering reconnaissance*) yang bertujuan mengumpulkan data teknis taktis dan strategis terkait kondisi medan, rintangan, jembatan, dan infrastruktur lainnya (Orgas Yonzikon, 2022). Namun, pelaksanaan penyelidikan zen konvensional masih dilakukan secara manual dengan personel turun

langsung ke lapangan, yang membutuhkan waktu lama dan mengandung risiko keamanan tinggi (Prapsetyo et al., 2025).

Perkembangan teknologi UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) atau drone telah membuka peluang transformasi dalam penyelidikan zen. Drone mampu melakukan pengawasan waktu nyata (*real-time surveillance*), pemetaan akurat, dan akses ke area yang sulit dijangkau personel (Lesmana et al., 2021; Maurer, 2017). Dalam situasi dan kondisi pasca bencana, UAV telah terbukti efektif untuk penilaian kerusakan infrastruktur, pencarian dan pertolongan (*search and rescue*), serta pemantauan perkembangan rekonstruksi (Mishra et al., 2020; Noor, 2020). Penelitian terkini menunjukkan bahwa integrasi sensor LiDAR, kamera termal, dan kecerdasan buatan pada drone dapat menghasilkan model digital tiga dimensi infrastruktur dengan akurasi milimeter (Wang et al., 2023).

Konsep arsitektur pertahanan (*defense architecture*) menekankan pada perancangan sistem fisik dan non-fisik yang terintegrasi untuk mencapai kekuatan pertahanan yang efektif dan efisien (Prapsetyo et al., 2022). Dalam konteks mitigasi pasca bencana, arsitektur pertahanan harus mampu beradaptasi dengan ancaman hibrida yang melibatkan bencana alam dan ancaman militer. Teknologi UAV menjadi enabler

utama dalam strategi arsitektur pertahanan adaptif ini, karena memungkinkan pengumpulan data intelijen, penilaian kerusakan, dan perencanaan rekonstruksi secara cepat dan aman (Frantzman, 2021).

Mendasar pada latar belakang masalah di atas, maka rumusan permasalahan yang diangkat pada penelitian ini yaitu: (1) Bagaimana peran teknologi UAV dalam transformasi penyelidikan zeni untuk mitigasi infrastruktur vital pasca bencana?; (2) Apa saja strategi integrasi UAV dalam kerangka arsitektur pertahanan nasional?; dan (3) Bagaimana model implementasi *UAV-based engineering reconnaissance* untuk peningkatan kesiapsiagaan pertahanan? Tujuan penelitian ini adalah mengkaji strategi integrasi teknologi UAV dalam rekayasa teknik militer dan merumuskan model implementasinya dalam konteks arsitektur pertahanan untuk mitigasi infrastruktur vital pasca bencana.

METODE

Metode penelitian menggunakan metode penelitian kualitatif dan menggunakan pendekatan *systematic literature review* atau studi literatur yang sistematis. Pengumpulan data menggunakan sistem studi kepustakaan, seperti: artikel Scopus yang merupakan jurnal internasional bereputasi, atau menggunakan jurnal nasional terakreditasi (SINTA), buku ber-ISBN, doktrin militer, dan peraturan perundang-undangan terkait. Literatur yang dikaji mencakup periode 2019–2025 untuk memastikan relevansi dan kekinian informasi.

Pada proses analisis data menggunakan prinsip deskriptif-

analitis dengan tahapan: (1) identifikasi dan seleksi sumber literatur berdasarkan kriteria inklusi (relevansi topik, kredibilitas publikasi, dan kelengkapan metadata); (2) ekstraksi data terkait teknologi UAV, metode rekayasa teknik militer, dan strategi mitigasi infrastruktur; (3) sintesis temuan untuk mengidentifikasi pola, gap, dan tren pengembangan teknologi; serta (4) formulasi model konseptual berdasarkan integrasi temuan literatur dengan kebutuhan operasional Satuan Zeni TNI AD. Validitas data dijamin melalui teknik triangulasi sumber, yaitu perbandingan data dari berbagai referensi primer dan sekunder.

PEMBAHASAN

Kondisi Infrastruktur Vital dan Tantangan Mitigasi Pasca Bencana

Infrastruktur vital merupakan aset strategis yang memerlukan perlindungan komprehensif dalam kerangka pertahanan negara. Menurut Perpres No. 7 Tahun 2021 yang memuat tentang Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional 2025–2045, infrastruktur vital meliputi sektor energi, telekomunikasi, transportasi, kesehatan, pertahanan, dan keamanan. Kerusakan infrastruktur akibat bencana, seperti gempa bumi, tsunami, atau konflik bersenjata dapat mengakibatkan gangguan sistemik yang memperpanjang fase darurat dan menghambat pemulihan ekonomi (Mishra et al., 2020).

Dalam konteks militer, infrastruktur pertahanan seperti jembatan darurat, lapangan terbang darurat, fasilitas pertahanan darat,

dan instalasi logistik merupakan komponen kritis yang harus segera dinilai kondisinya pasca bencana untuk menentukan kelayakan operasional dan prioritas rekonstruksi (Prapsetyo et al., 2022). Namun, metode konvensional penilaian kerusakan infrastruktur yang mengandalkan inspeksi manual oleh personel teknik memiliki keterbatasan signifikan: waktu inspeksi yang lama, risiko keselamatan personel di area runtuh atau terkontaminasi, dan keterbatasan akses ke lokasi terisolasi (Wang et al., 2023).

Transformasi Teknologi UAV dalam Rekayasa Teknik Militer

Perkembangan teknologi UAV atau Drone telah menggeser paradigma operasi militer modern dari konsep peperangan berbasis platform menuju peperangan berbasis jaringan atau *platform-centric* menuju *network-centric warfare*. Frantzman (2021) dalam bukunya *Drone Wars* menjelaskan bahwa revolusi drone tidak hanya terletak pada teknologi pesawat itu sendiri, tetapi pada transformasi doktrin militer dalam memanfaatkan keunggulan *intelligence, surveillance, and reconnaissance* (ISR) berbasis udara tanpa awak. Dalam konteks penyelidikan zenit, UAV menawarkan tiga keunggulan fundamental: akses ke wilayah terpencil dan berbahaya, efisiensi waktu dan biaya operasional, serta pengurangan risiko personel (Prapsetyo et al., 2025).

Integrasi sensor canggih pada UAV modern telah memperluas kapabilitas penyelidikan zenit di luar visualisasi optik konvensional. Kamera elektro-optik/infra merah

(EO/IR) memungkinkan pengawasan siang-malam dan deteksi anomali termal pada struktur bangunan (Maurer, 2017). Sensor *Light Detection and Ranging* (LiDAR) dapat menghasilkan model elevasi digital (DEM) dengan resolusi tinggi untuk analisis deformasi permukaan dan stabilitas lereng (Wang et al., 2023). Kamera multispektral dan hiperspektral memfasilitasi identifikasi material konstruksi, deteksi kebocoran pipa, dan penilaian kondisi vegetasi penutup lahan (Zhang et al., 2022).

Penelitian terbaru oleh Chen et al. (2023) menunjukkan bahwa integrasi UAV-LiDAR dengan algoritma *deep learning* dapat mendeteksi retak struktural pada jembatan beton dengan akurasi 94,7%, jauh melampaui metode inspeksi visual manual yang memiliki akurasi sekitar 60–70%. Dalam konteks pasca gempa bumi, Eschmann et al. (2022) membuktikan bahwa operasi *swarm* UAV dapat memetakan kerusakan bangunan di area seluas 10 km² dengan waktu kurang dari 2 jam, lebih hemat 2–3 hari dibandingkan dengan menggunakan tim survey konvensional.

Strategi Arsitektur Pertahanan Berbasis UAV

Arsitektur pertahanan merupakan konsepsi holistik yang mengintegrasikan aspek fisik (infrastruktur, teknologi), organisasional (struktur komando, doktrin), dan konseptual (strategi, taktik) dalam sistem pertahanan nasional (Prapsetyo et al., 2022). Dalam mitigasi infrastruktur vital pasca bencana, strategi arsitektur

pertahanan berbasis UAV dapat dirumuskan dalam lima bahasan:

1. **Sistem Deteksi dan Peringatan Dini.** UAV dilengkapi sensor lingkungan dapat memonitor parameter geofisika dan hidrometeorologi untuk deteksi dini ancaman bencana. Sistem *loitering UAV* dengan kemampuan terbang 24 jam memungkinkan pemantauan kontinu zona rawan bencana dan pergerakan musuh (Lesmana et al., 2021). Integrasi dengan sistem satelit dan *ground sensor network* menciptakan *layered sensing architecture* yang meningkatkan situational awareness.
2. **Penilaian Kerusakan Cepat (*Rapid Damage Assessment*).** Setelah bencana terjadi, UAV menjadi aset pertama yang dikerahkan untuk evaluasi kondisi infrastruktur. Metodologi *UAV-based rapid visual screening* (RVS) memungkinkan klasifikasi kerusakan bangunan dalam kategori aman, tidak aman, dan berbahaya berdasarkan analisis citra otomatis (Wang et al., 2023). Data yang dihasilkan menjadi dasar penetapan prioritas evakuasi, rute darurat, dan alokasi sumber daya rekonstruksi.
3. **Dukungan Operasi Search and Rescue (SAR).** UAV termal dan multispektral memainkan peran krusial dalam lokalisasi korban tertimbun reruntuhan atau terisolasi di area terpencil. Algoritma *machine learning* untuk deteksi objek manusia dari udara telah mencapai tingkat presisi di atas 90% pada kondisi pencahayaan optimal (Mishra et

al., 2020). Integrasi UAV dengan tim SAR darat meningkatkan efisiensi pencarian hingga 60% dibandingkan metode konvensional.

4. **Perencanaan Rekonstruksi Pertahanan.** Data spasial beresolusi tinggi dari UAV berupa ortofoto, model 3D, dan peta tematik menjadi fondasi perencanaan rekonstruksi infrastruktur pertahanan. Konsep *digital twin* memungkinkan simulasi virtual kondisi pasca bencana dan pengujian skenario rekonstruksi sebelum implementasi fisik (Frantzman, 2021). Pendekatan *Building Information Modeling* (BIM) berbasis UAV memfasilitasi kolaborasi multi-disiplin dalam perencanaan rekonstruksi cepat.
5. **Pengembangan Kapasitas dan Doktrin.** Implementasi efektif UAV dalam arsitektur pertahanan memerlukan pengembangan kapasitas personel, infrastruktur pendukung, dan doktrin operasional. Standardisasi pelatihan operator drone militer sesuai regulasi Dirjen Perhubungan Udara (DKUPPU), pengembangan pusat data analisis citra, dan integrasi UAV dalam latihan bersama antar satuan menjadi imperatif strategis (Faqih, 2018; Dirjen Perhub. Udara NKRI, 2019).

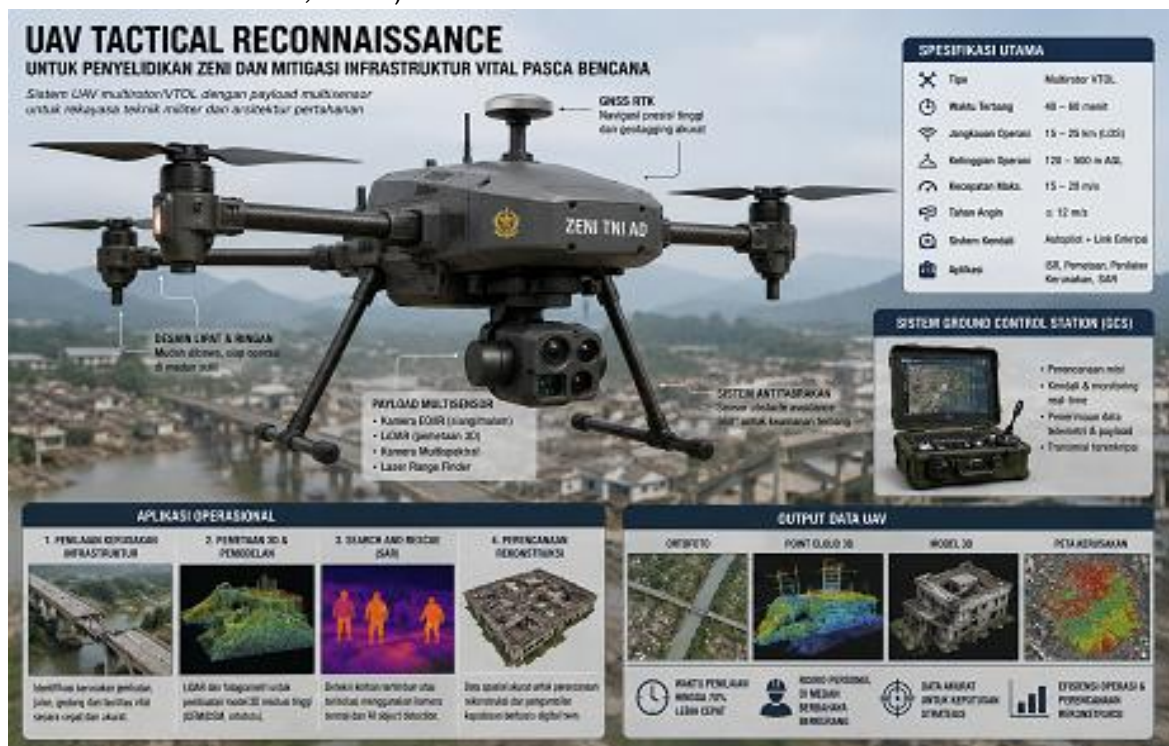
Tantangan dan Rekomendasi Implementasi

Meskipun potensi teknologi UAV sangat besar, implementasinya dalam konteks pertahanan nasional menghadapi beberapa tantangan. Aspek keamanan siber menjadi krusial mengingat kerentanan sistem

UAV terhadap serangan *jamming*, *spoofing*, dan *hijacking* (Frantzman, 2021). Keterbatasan operasional akibat cuaca buruk, terutama hujan lebat, kabut tebal, dan kecepatan angin tinggi masih menjadi kendala teknis yang perlu diatasi melalui pengembangan platform *all-weather UAV* (Prapsetyo et al., 2025).

Aspek regulasi dan sertifikasi juga menuntut perhatian serius. Sesuai dengan regulasi penerbangan sipil, pengoperasian UAV dalam ruang udara nasional memerlukan izin dan sertifikasi yang ketat. Untuk keperluan militer, diperlukan harmonisasi regulasi antara otoritas sipil dan militer agar operasi UAV penyelidikan zenit dapat dilaksanakan secara legal dan aman (Dirjen Perhub. Udara NKRI, 2019).

Rekomendasi implementasi strategi arsitektur pertahanan berbasis UAV meliputi: (1) pengembangan doktrin *UAV-based engineering reconnaissance* yang mengintegrasikan aspek teknis, taktis, dan prosedural operasi UAV dalam penyelidikan zenit; (2) investasi pada platform UAV taktis dengan kemampuan VOTL (*vertical take-off and landing*) yang digunakan pada operasi dengan medan sulit; (3) pengembangan pusat analisis data geospasial militer dengan infrastruktur komputasi awan (*cloud-based geoprocessing*); dan (4) kolaborasi riset dan pengembangan dengan perguruan tinggi dan industri dalam negeri untuk memproduksi UAV militer berstandar internasional



Gambar 1 Model UAV Tactical Reconnaissance, Drone untuk penyedilidikan Zeni dan Mitigasi Infrastruktur Pasca Bencana

(Dibuat Penulis dengan AI, ChatGPT, 22 19.44 Juni 2026)

KESIMPULAN

Integrasi teknologi UAV dalam rekayasa teknik militer merepresen-

tasikan transformasi paradigmatis dalam penyelidikan zenit dan mitigasi infrastruktur vital pasca bencana.

Penelitian ini menunjukkan bahwa strategi arsitektur pertahanan berbasis lima bahasan yaitu: sistem deteksi dini, penilaian kerusakan cepat, dukungan SAR, perencanaan rekonstruksi, dan pengembangan kapasitas sehingga meningkatkan efektivitas dan efisiensi respons pertahanan nasional terhadap ancaman kompleks. Keunggulan UAV dalam hal kecepatan, akurasi data spasial, dan pengurangan risiko personel menjadikannya *enabler* krusial dalam arsitektur pertahanan adaptif. Rekomendasi utama yang diusulkan adalah pengembangan doktrin operasional khusus, investasi platform teknologi, dan harmonisasi regulasi untuk mewujudkan *UAV-based engineering reconnaissance* yang profesional dan terintegrasi dalam sistem pertahanan nasional.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prodi Teknik Sipil Pertahanan Akademi Militer dan Prodi Arsitektur UNPAB atas dukungan fasilitas dan akses literatur dalam menyusun naskah jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, S., dkk., 2023. UAV-LiDAR dan pembelajaran mendalam untuk deteksi retakan jembatan: Studi perbandingan arsitektur CNN. *Otomasi dalam Konstruksi*, 152, hlm. 104978. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104978>
- Direktur Jenderal Penerbangan Sipil Republik Indonesia. 2019.
- Direktur Jenderal Penerbangan Sipil Republik Indonesia, 2019. Instruksi Staf 8900-12.01: Registrasi Sistem Pesawat Tanpa Awak Kecil. Jakarta: Kementerian Perhubungan Republik Indonesia.
- Eschmann, C., Kuo, C.M., dan Kuo, Ch., 2022. Kawan UAV untuk penilaian kerusakan bangunan pasca gempa bumi menggunakan analisis awan titik 3D. *Penginderaan Jauh*, 14(15), hlm. 3672. <https://doi.org/10.3390/rs14153672>
- Faqih, 2018, Panduan Operasi Drone untuk Fotografi dan Videografi. [Online]. Tersedia di: <https://www.academia.edu/38539934> [Diakses 15 Januari 2025].
- Frantzman, S.J., 2021. Perang Drone: Pionir, Mesin Pembunuh, Kecerdasan Buatan, dan Pertempuran untuk Masa Depan. New York: Bombardier Books. ISBN 978-1-64293-675-9.
- Lesmana, D., Permana, Y., Santoso, B., dan Infantono, A., 2021. Aplikasi Drone Militer dengan Produk Peralatan Pertahanan Indonesia untuk Operasi di Luar Cakrawala. *Prosiding Seminar Nasional Sains, Teknologi, dan Inovasi Indonesia (SENASTINDO)*, 3 (November), hlm. 1–10. <https://doi.org/10.54706/senastindo.v3.2021.149>
- Markas Besar Tentara Nasional Indonesia, 2022. Peraturan Kepala Staf Angkatan Darat Nomor 45 Tahun 2022 tentang Organisasi dan Tugas Batalyon Zeni Tempur (Orgas Yonzipur). Jakarta: Markas Besar Tentara Nasional Indonesia.
- Maurer, K., 2017. Kekuatan visual: Rezim skopik operasi drone militer. *Media, Perang & Konflik*,

- 10(2), hlm. 141–151.
<https://doi.org/10.1177/1750635216636137>
- Mishra, B., Garg, D., Narang, P., dan Mishra, V., 2020. Pengawasan drone untuk pencarian dan penyelamatan dalam bencana alam. *Komunikasi Komputer*, 156 (Februari), hlm. 1–10.
<https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.03.012>
- Noor, F., 2020. Historiografi drone: Dari militer ke sinema. *ProTVF*, 4(2), hlm. 185.
<https://doi.org/10.24198/ptvf.v4i2.26722>
- Orgas Yonzikon, 2022. Peraturan Kepala Staf Angkatan Darat Nomor 46 Tahun 2022 tentang Organisasi dan Tugas Batalyon Teknik Konstruksi. Jakarta: Markas Besar Angkatan Darat Indonesia.
- Prapsetyo, A., Ahmad, I., Yanto, Y., Saptono, E., dan Lestari, K., 2022. Filsafat arsitektur pertahanan. *Al-Mashlahah: Jurnal Hukum Islam dan Lembaga Sosial*, 10(01), hlm. 373–388.
<https://doi.org/10.30868/am.v10i01.3157>
- Prapsetyo, A., Lestari, K., dan Silitonga, F., 2025. Pemanfaatan teknologi drone untuk mendukung tugas investigasi Satuan Teknik Angkatan Darat Indonesia. *Jurnal Teknik Pertahanan Sipil*, 13(1), hlm. 64–72.
<https://doi.org/10.xxxx/jtsp.v13i1.xxxx>
- Wang, C., Zhang, H., Yang, B., dan Li, X., 2023. Penilaian kerusakan infrastruktur menggunakan fotogrametri UAV dan pembelajaran mendalam: Studi kasus pasca bencana. *Jurnal Fotogrametri dan Penginderaan Jauh ISPRS*, 195, hlm. 1–16.
<https://doi.org/10.1016/j.isprs.jprs.2023.01.001>
- Zhang, Y., Chen, Q., dan Liu, B., 2022. Penginderaan jauh multispektral UAV untuk penilaian kerusakan bangunan pasca gempa. *Jurnal Internasional Pengurangan Risiko Bencana*, 78, hlm. 103132.
<https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.103132>