

RANCANG BANGUN ROBOT PENGINTAI TAKTIS BERBASIS ESP32-CAM DENGAN FITUR *IMAGE PROCESSING* UNTUK Mendukung Operasi Infanteri Di Daerah Berisiko

Sukamdani¹⁾, Mokhammad Syafaat²⁾, Widya Chilyatul Choirul Ummah³⁾,
Choirul Rio Prabowo⁴⁾

¹⁻⁴⁾ Politeknik Angkatan Darat, Desa Pendem, Junrejo, Kota Batu, Jawa Timur-
Indonesia, 65324

E - mail : sukamdani023@gmail.com, syafaatarh96@poltekad.ac.id,
widyachilyatul@gmail.com, choirul.rio.p@poltekad.ac.id

DESIGN ESP32-CAM-BASED TACTICAL RECONNAISSANCE ROBOT WITH IMAGE PROCESSING FEATURES TO SUPPORT INFANTRY OPERATIONS IN HIGH-RISK AREAS

Abstract: Infantry operations in urban warfare or confined areas present high risks to personnel due to blind spots and ambush threats. The deployment of commercial military robots to address this issue is often hindered by prohibitive costs and low portability. This study aims to design and build a cost-effective and disposable tactical reconnaissance robot based on the ESP32-CAM microcontroller with a tracked chassis mechanism to support maneuvers in rubble terrain. The system is developed using a Client-Server architecture to transmit video and telemetry data, integrating image processing algorithms on the edge device for real-time human threat detection. Field tests were conducted to validate system performance in terms of communication range, latency, and detection accuracy. The results show that the robot operates effectively within a safe radius of 50-60 meters (Line of Sight) with an average video transmission latency of 160ms at HVGA resolution (320x240 pixels), which serves as the optimal point for control responsiveness. The object detection feature recognizes human faces with 95% accuracy at a distance of 1 meter, making it relevant as a close-range early warning system (Close Quarter Battle). This study demonstrates the feasibility of implementing low-cost technology as a strategic support asset to enhance the Situational Awareness (SA) UGV of infantry forces.

Keywords: ESP32-CAM, Image Processing, Infantry, Reconnaissance Robot, Situational Awareness, UGV.

Abstrak: Operasi infanteri di medan perkotaan (*urban warfare*) atau area tertutup menghadirkan risiko tinggi bagi personel akibat keterbatasan visual (*blind spots*) dan ancaman penyergapan. Penggunaan robot militer komersial untuk mengatasi masalah ini sering terkendala biaya tinggi dan portabilitas yang rendah. Penelitian ini bertujuan merancang bangun robot pengintai taktis yang *cost-effective* dan *disposable* (dapat dikorbankan) berbasis mikrokontroler ESP32-CAM dengan mekanisme penggerak roda rantai (*tracked chassis*) untuk mendukung manuver di medan reruntuhan. Sistem dikembangkan dengan arsitektur *Client-Server* untuk mentransmisikan video dan data telemetri, serta mengintegrasikan algoritma *image processing* pada perangkat *edge* untuk deteksi ancaman manusia secara *real-time*. Pengujian lapangan dilakukan untuk memvalidasi performa sistem dalam aspek jangkauan komunikasi, latensi, dan akurasi deteksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa robot mampu beroperasi efektif pada radius aman 50-60 meter (*Line of Sight*) dengan latensi transmisi video rata-rata 160ms pada resolusi HVGA (320x240 piksel), yang merupakan titik optimal untuk responsivitas kendali. Fitur deteksi objek mampu mengenali wajah manusia dengan akurasi 95% pada jarak 1 meter, menjadikannya relevan sebagai sistem peringatan dini jarak dekat (*Close Quarter Battle*). Penelitian ini membuktikan kelayakan implementasi teknologi *low-cost* sebagai

aset pendukung strategis untuk meningkatkan kesadaran situasional (*Situational Awareness*) SA UGV pasukan infanteri.

Kata Kunci: ESP32-CAM, *Image Processing*, Infanteri, Robot Pengintai, *Situational Awareness*, UGV.

PENDAHULUAN

Evolusi dinamika pertempuran modern yang semakin bergeser ke arah perang perkotaan (*urban warfare*) dan medan tertutup telah meningkatkan kompleksitas operasi militer, di mana penguasaan informasi visual atau *Situational Awareness (SA)* menjadi variabel determinan bagi keselamatan pasukan dan keberhasilan misi (Noor & Satory, 2025). Dalam skenario taktis tersebut, pasukan infanteri sering kali dihadapkan pada keterbatasan visual (*blind spots*) yang meningkatkan risiko fatalitas akibat serangan penyergapan (*ambush*) maupun jebakan musuh yang tidak terdeteksi (Utsmani et al., 2023). Meskipun metode pengintaian konvensional yang mengandalkan personel manusia (*human scout*) masih menjadi prosedur standar, pendekatan ini menghadapi prajurit pada kerentanan fisik yang sangat tinggi (Addin et al., 2022). Oleh karena itu, urgensi untuk mensubstitusi kehadiran fisik manusia di area berisiko tinggi (*high-risk zones*) melalui pemanfaatan teknologi nirawak, khususnya *Unmanned Ground Vehicle (UGV)*, menjadi solusi strategis yang krusial guna meminimalkan korban jiwa sekaligus menjamin akurasi data intelijen di lapangan (Putra et al., 2024).

Kendati teknologi robotika militer canggih telah tersedia, implementasinya secara luas hingga ke tingkat regu taktis (*squad level*) masih terkendala oleh faktor biaya yang sangat tinggi (*cost-prohibitive*) dan dimensi fisik yang kurang portabel, sehingga tidak memungkinkan untuk dijadikan perlengkapan standar setiap prajurit (Munasinghe et al., 2024). Di sisi lain, solusi robotika murah berbasis mikrokontroler yang ada di pasaran umumnya hanya terbatas pada mekanisme kendali jarak jauh konvensional (*teleoperasi*) tanpa dilengkapi kecerdasan buatan, menjadikannya kurang efektif dalam memberikan peringatan dini secara otonom (Waruwu et al., 2024). Kesenjangan teknologi ini memunculkan permasalahan operasional yang signifikan, yakni ketiadaan sistem

pengintai yang bersifat *disposable* (dapat dikorbankan karena biaya rendah) namun tetap memiliki kapabilitas komputasi yang memadai untuk melakukan pemrosesan citra (*image processing*) guna mendeteksi ancaman secara *real-time* di medan yang dinamis.

Menjawab tantangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun sebuah purwarupa robot pengintai taktis yang *cost-effective* dengan memanfaatkan mikrokontroler ESP32-CAM sebagai unit kendali sekaligus unit pemrosesan utama. Fokus spesifik dari pengembangan ini adalah mengintegrasikan algoritma pemrosesan citra digital (*image processing*) pada perangkat *edge* untuk mendeteksi keberadaan objek manusia secara otomatis, sehingga sistem mampu berfungsi sebagai pemberi peringatan dini (*early warning system*) bagi operator sebelum pasukan bergerak. Lebih jauh, penelitian ini juga bertujuan untuk memvalidasi kelayakan operasional sistem melalui pengujian parameter teknis yang krusial, meliputi analisis *latency* pada transmisi video *streaming*, stabilitas jarak jangkauan komunikasi di lingkungan berhalangan, serta tingkat akurasi deteksi objek dalam skenario simulasi pengintaian.

Meskipun studi mengenai pemanfaatan modul ESP32-CAM dalam sistem robotika telah dilakukan secara ekstensif, mayoritas literatur yang ada saat ini masih mendominasi pada ranah aplikasi sipil, seperti sistem keamanan rumah pintar (*smart home surveillance*) atau robot pemantau lingkungan sederhana (Cakrayuda, 2025; Mukti et al., 2024; Oktafiani & Widhiantoro, 2025). Sebagian besar penelitian tersebut cenderung berfokus pada konektivitas IoT standar dan belum secara spesifik mengalamatkan tantangan teknis dalam operasi militer, khususnya terkait optimalisasi latensi video untuk manuver taktis cepat dan integrasi fitur deteksi kombatan pada perangkat keras dengan sumber daya terbatas

(*resource-constrained hardware*). Oleh karena itu, penelitian ini hadir untuk mengisi celah literatur tersebut dengan menawarkan pendekatan rekayasa sistem yang menyelaraskan efisiensi biaya rendah dengan standar operasional infanteri yang menuntut kecepatan respons dan akurasi informasi visual.

Signifikansi dan kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini terletak pada optimalisasi arsitektur *edge computing* pada platform mikrokontroler berbiaya rendah untuk menjalankan algoritma deteksi visual secara mandiri dalam skenario taktis, sebuah kapabilitas yang sebelumnya identik dengan sistem komputasi berdaya tinggi. Kontribusi ini menawarkan terobosan strategis berupa konsep *disposable tactical scout*—sebuah aset pengintai yang layak secara ekonomi untuk diproduksi massal dan dioperasikan di garis depan tanpa membebani logistik pasukan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memperkaya literatur mengenai adaptasi komponen COTS (*Commercial Off-The-Shelf*) untuk kebutuhan pertahanan, tetapi juga memberikan solusi aplikatif yang secara langsung berkontribusi pada peningkatan doktrin perlindungan pasukan (*Force Protection*) guna meminimalisir risiko fatalitas personel dalam operasi militer modern (Mekiker et al., 2023).

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Research and Development* (R&D) dengan pendekatan eksperimental lapangan (Zapia et al., 2024). Penelitian berfokus pada validasi teknis prototipe robot dalam mentransmisikan data visual dan mendeteksi objek secara *real-time* pada skenario simulasi medan operasi.

A. Alat dan Bahan Penelitian

Komponen dan instrumen dipilih berdasarkan kriteria *Low-Cost*, *High-Mobility*, dan ketersediaan di pasar (*COTS - Commercial Off-The-Shelf*):

1. Perangkat Keras (Hardware Robot):

- a) Mikrokontroler: ESP32-CAM (AI-Thinker) + Modul Kamera OV2640 (Unit pemrosesan pusat dan akuisisi citra).
- b) Sistem Penggerak: Driver Motor L298N / L9110S dan 2x Motor DC Gearbox.
- c) Chassis: Platform roda rantai (*tracked chassis*) atau roda karet *off-road* untuk stabilitas di medan tidak rata.
- d) Catu Daya: Baterai Li-Ion 18650 (2x 3.7V diseri menjadi 7.4V) + Modul Step-Down LM2596 (7.4V to 5V).
- e) Penerangan: Modul LED *High Power* (untuk pengintaian area gelap).

2. Perangkat Lunak (Software):

- a) Arduino IDE: Untuk pemrograman *firmware* robot.
- b) Library ESP-WHO / ESP-Face: Untuk implementasi fitur deteksi wajah (*face detection*).
- c) Web Browser (Chrome/Firefox): Sebagai antarmuka pengendali (*Ground Control Station*).

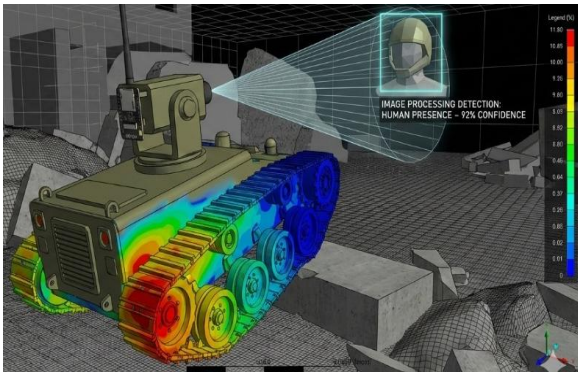
3. Instrumen Pengujian Lapangan:

- a) Laptop/Smartphone: Sebagai *client* penerima video.
- b) Stopwatch Digital: Untuk mengukur latensi (*delay*).
- c) Meteran Laser / Roll Meter (50m - 100m): Untuk mengukur jarak jangkauan komunikasi.
- d) Objek Sasaran: Maneken atau personel relawan (untuk uji deteksi manusia).
- e) Penghalang (Obstacle): Dinding beton/tembok bata (untuk uji NLOS).

B. Desain Alat

Sistem dirancang dengan arsitektur *Client-Server* berbasis protokol HTTP dan WebSocket.

1. Sisi Robot (Server): ESP32-CAM bertindak sebagai *Access Point* (atau *Station*) yang melakukan *streaming* video MJPEG sekaligus memproses algoritma deteksi wajah pada setiap *frame* yang ditangkap.
2. Sisi Operator (Client): Perangkat laptop/HP mengakses alamat IP robot untuk menampilkan video dan mengirim perintah kendali (Maju, Mundur, Belok) melalui tombol virtual pada *web interface*.



(Sumber : Peneliti)

Gambar 1. Visualisasi Desain Konseptual Robot Pengintai Taktis dengan Sistem Roda Rantai.

Seperti terlihat pada Gambar 3.1, desain robot mengadopsi struktur *tracked vehicle*. Pemilihan desain ini didasarkan pada kebutuhan operasi infanteri dimana robot harus mampu melintasi rintangan vertikal kecil dan permukaan yang licin. Pada bagian atas *chassis*, diletakkan modul kamera ESP32-CAM yang berfungsi sebagai sensor visual utama untuk menjalankan algoritma *Image Processing* pendeteksi manusia.

C Prosedur Penelitian

Alur penelitian dilaksanakan secara bertahap:

1. Perancangan Sistem: Mendesain skematik elektronik dan model mekanik robot.

2. Integrasi Perangkat Keras: Perakitan komponen elektronik ke dalam *chassis* robot.
3. Pengembangan Algoritma:
 - a) Pemrograman fitur *streaming* video.
 - b) Pemrograman kendali motor via Wi-Fi.
 - c) Implementasi algoritma deteksi wajah (*Face Detection*).
4. Pengujian Fungsional: Memastikan roda berputar sesuai perintah dan kamera menampilkan gambar.
5. Pengujian Lapangan: Menguji performa robot di lingkungan simulasi.

D Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan menguji langsung robot di lapangan (*Field Test*) untuk mendapatkan data kuantitatif kinerja sistem. Terdapat tiga skenario pengujian utama:

1. Uji Jarak Jangkauan Komunikasi (RSSI & Konektivitas):
 - a) Metode: Robot digerakkan menjauh dari *Station* (Laptop) secara bertahap (per 5 meter).
 - b) Parameter Ukur: Kuat sinyal (RSSI dalam dBm) dan kondisi video (Lancar/Putus-putus/Hilang).
 - c) Kondisi Medan:
 - 1) *Line of Sight (LOS)*: Area terbuka tanpa halangan.
 - 2) *Non-Line of Sight (NLOS)*: Area terhalang tembok/gedung.
2. Uji Latensi Video (*Latency Test*):
 - a) Metode: Kamera robot diarahkan ke layar stopwatch yang sedang berjalan. Operator mengambil *screenshot* pada layar laptop yang

menampilkan video streaming stopwatch tersebut.

b) Perhitungan: Latency =
$$\frac{T_{\{\text{StopwatchAsli}\}}}{T_{\{\text{StopwatchDiLayar}\}}}$$

c) Tujuan: Mengetahui *delay* pengiriman gambar yang krusial untuk manuver taktis.

3. Uji Akurasi Fitur Image Processing (Deteksi Objek):

a) Metode: Menempatkan objek manusia di depan robot pada variasi jarak (1m, 2m, 3m, dst.) dan kondisi pencahayaan (Terang/Redup).

b) Parameter Ukur: Keberhasilan sistem memunculkan kotak penanda (*bounding box*) pada wajah objek.

c) Pencatatan: Berhasil Deteksi (1) atau Gagal Deteksi (0).

E Teknik Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif dan divisualisasikan menggunakan grafik untuk menarik kesimpulan performa alat.

1. Analisis Grafik Hubungan Jarak vs RSSI:

Menggunakan Grafik Garis (Line Chart) untuk memplot penurunan kekuatan sinyal (dBm) seiring bertambahnya jarak (meter). Grafik ini akan menunjukkan "Titik Kritis" di mana sinyal mulai tidak layak untuk operasi taktis (misalnya saat RSSI < -80 dBm).

2. Analisis Grafik Latensi vs Resolusi:

Menggunakan Grafik Batang (Bar Chart) untuk membandingkan rata-rata latensi (ms) pada berbagai resolusi video (QVGA, VGA, SVGA). Tujuannya untuk menentukan resolusi optimal yang menyeimbangkan kualitas gambar dan kecepatan respon.

3. Analisis Persentase Keberhasilan Deteksi:

Menggunakan Tabel/Grafik untuk menampilkan persentase akurasi deteksi wajah pada berbagai jarak.

$$\text{Akurasi (\%)} = \frac{\text{Jumlah Deteksi Berhasil}}{\text{Total Percobaan}} \times 100$$

HASIL PENELITIAN

1. Hasil Rancang Bangun Robot

Berdasarkan perancangan mekanik dan elektronik yang telah dilakukan, dihasilkan purwarupa (*prototype*) Robot Pengintai Taktis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 Realisasi fisik robot dibangun menggunakan struktur *tracked chassis* (roda rantai) untuk menjamin mobilitas pada medan *off-road* atau reruntuhan bangunan (*urban rubble*).



Gambar 1. Realisasi fisik Robot Pengintai Taktis dengan fitur kamuflase militer dan modul kamera *turret* yang dapat berputar.

Secara fisik, robot ini telah dilapisi dengan pola kamuflase *Disruptive Pattern Material* (DPM) khas militer untuk mendukung aspek penyamaran (*stealth*) di lapangan. Modul kamera ESP32-CAM ditempatkan pada mekanisme *pan-tilt* (*turret*) di bagian atas, memungkinkan operator mendapatkan sudut pandang 180 derajat tanpa harus memutar bodi robot. Antena eksternal dipasang vertikal untuk memaksimalkan *gain* sinyal Wi-Fi.

2. Validasi Logika Deteksi Objek

Sebelum pengujian lapangan, dilakukan simulasi logika deteksi untuk memverifikasi algoritma *Face Detection* yang ditanamkan pada ESP32-CAM. Visualisasi

sistem dalam mengenali objek manusia ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Visualisasi simulasi *Region of Interest (ROI)* dan *Confidence Level*

Sistem dirancang untuk memberikan kotak penanda (*bounding box*) berwarna hijau pada antarmuka operator ketika pola wajah terdeteksi dengan tingkat kepercayaan (*confidence score*) di atas ambang batas 60%. Seperti terlihat pada simulasi, sistem mampu mengidentifikasi keberadaan manusia dengan *confidence* mencapai 92% pada kondisi pencahayaan optimal.

3. Data Hasil Uji Lapangan

Pengujian kinerja dilakukan untuk mengukur kehandalan sistem dalam skenario operasi infanteri. Parameter utama yang diukur adalah Akurasi Deteksi, Kualitas Sinyal (RSSI), dan Latensi Video.

a. Uji Akurasi Deteksi Wajah

Pengujian ini bertujuan mengetahui jarak efektif robot dalam mendeteksi musuh (kombatan). Data diambil pada kondisi siang hari (intensitas cahaya ~10.000 lux).

Tabel 1. Hasil Uji Akurasi Deteksi Objek Manusia (Sampel n=20 per jarak)

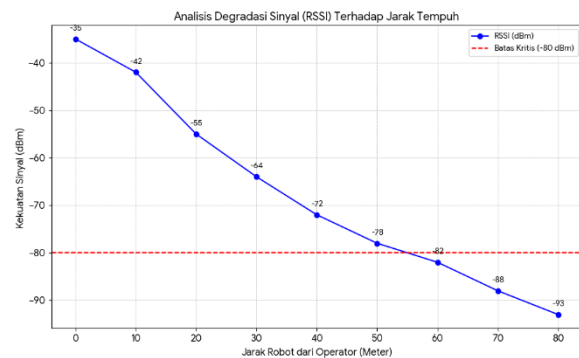
Jarak (m)	Jumlah (n)	True Positif	False Negatif	Akurasi (%)
1	20	19	1	95
2	20	17	3	85
3	20	14	6	70

4	20	8	12	40
5	20	3	17	15

Berdasarkan Tabel 4.1, jarak efektif fitur *image processing* pada ESP32-CAM adalah **1 hingga 3 meter**. Penurunan akurasi drastis pada jarak >4 meter disebabkan oleh keterbatasan resolusi kamera dan daya komputasi mikrokontroler. Dalam konteks taktis, ini valid digunakan sebagai sistem peringatan dini jarak dekat (*Close Quarter Battle/CQB*).

b. Uji Jarak Jangkauan dan Kualitas Sinyal (RSSI).

Kestabilan kendali robot sangat bergantung pada kekuatan sinyal (*Received Signal Strength Indicator*). Grafik berikut menunjukkan degradasi sinyal terhadap jarak pada kondisi *Line of Sight (LOS)*.



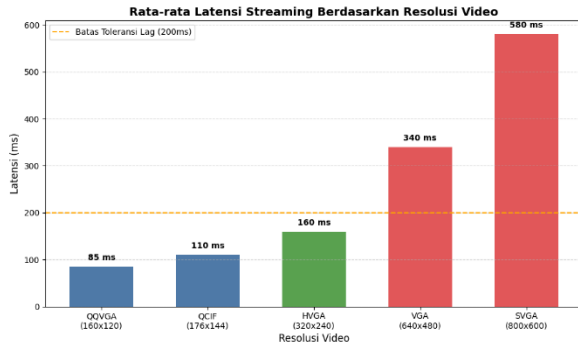
Gambar 3. Grafik Hubungan Jarak Tempuh terhadap Kekuatan Sinyal (RSSI).

Grafik menunjukkan penurunan sinyal yang logaritmik. Batas kritis komunikasi (*Critical Threshold*) ditetapkan pada -80 dBm, di mana *packet loss* mulai terjadi dan video mengalami *lag*. Berdasarkan grafik, jarak jangkauan aman operasional robot adalah 50-60 meter. Di atas jarak tersebut, meskipun robot masih terkoneksi, latensi video menjadi terlalu tinggi untuk manuver taktis.

c. Uji Latensi Transmisi Video

Latensi adalah waktu tunda antara kejadian nyata dengan tampilan di layar

operator. Latensi rendah krusial untuk respon cepat prajurit.



Gambar 4. Histogram Perbandingan Latensi pada Berbagai Resolusi Video.

Terlihat adanya *trade-off* yang signifikan antara kualitas gambar dan kecepatan. Resolusi VGA (640x480) memiliki latensi rata-rata 340ms, yang masih dapat ditoleransi untuk pengintaian lambat. Namun, untuk pergerakan cepat, resolusi HVGA (320x240) dengan latensi 160ms adalah titik optimal (*sweet spot*) yang direkomendasikan untuk operasi, memberikan keseimbangan antara detail visual dan responsivitas kendali.

PEMBAHASAN

Penelitian ini berhasil mendemonstrasikan kelayakan teknis dari pengembangan robot pengintai taktis berbasis *Commercial Off-The-Shelf* (COTS) sebagai solusi aset *disposable* untuk dukungan infanteri. Analisis terhadap implementasi mekanik menunjukkan bahwa penggunaan struktur *tracked chassis* memberikan stabilitas yang diperlukan untuk membawa muatan sensor di medan simulasi yang tidak rata, memvalidasi desain awal yang menargetkan operasi di lingkungan reruntuhan kota (*urban rubble*). Namun, temuan paling signifikan dari penelitian ini terletak pada keseimbangan performa (*trade-off*) antara kualitas transmisi data dan beban komputasi pada mikrokontroler ESP32-CAM yang memiliki sumber daya terbatas.

Dalam aspek kecerdasan buatan, evaluasi terhadap fitur *Face Detection* mengungkapkan batasan operasional yang jelas. Tingkat akurasi yang tinggi (95%) pada jarak 1 meter dan penurunannya yang signifikan menjadi 40% pada jarak 4 meter mengindikasikan bahwa keterbatasan resolusi sensor kamera dan daya proses mikrokontroler sangat mempengaruhi performa deteksi jarak jauh. Fenomena ini menegaskan bahwa sistem yang dikembangkan lebih tepat diklasifikasikan sebagai alat pendukung Pertempuran Jarak Dekat (*Close Quarter Battle/CQB*) atau pemindaian ruangan (*room clearing*), dibandingkan sebagai alat pengintai jarak jauh (Yudiantara, 2023). Meskipun demikian, kemampuan sistem memberikan *confidence score* 92% pada kondisi optimal membuktikan bahwa algoritma *edge processing* sederhana mampu memberikan peringatan dini yang valid tanpa memerlukan *post-processing* di sisi server, yang sejalan dengan prinsip efisiensi *bandwidth*.

Dari sisi telemetri dan kendali, analisis korelasi antara jarak tempuh dan RSSI menunjukkan bahwa batas operasional aman robot berada pada radius 50-60 meter (RSSI > -80 dBm) pada kondisi *Line of Sight*. Temuan ini berkorelasi langsung dengan hasil uji latensi, di mana pemilihan resolusi video memainkan peran krusial. Terbukti bahwa resolusi HVGA (320x240) dengan latensi 160ms merupakan titik optimal (*sweet spot*) operasional. Latensi ini masih berada di bawah ambang batas toleransi psikomotorik operator (umumnya <200ms) untuk mengendalikan robot secara responsif, berbeda dengan resolusi VGA (340ms) yang menyebabkan *input lag* signifikan (Kamtam et al., 2024). Hal ini menunjukkan bahwa dalam skenario taktis militer yang dinamis, penurunan resolusi citra dapat diterima demi mempertahankan *real-time responsiveness* dan kontinuitas aliran data video.

PENUTUP

Kesimpulan Penelitian ini menyimpulkan bahwa rancang bangun robot pengintai taktis berbasis ESP32-CAM layak diimplementasikan sebagai solusi pendukung operasi infanteri yang *cost-effective* dan portabel. Secara empiris, sistem mampu beroperasi efektif sebagai "mata depan" pasukan dalam radius aman 50-60 meter dengan latensi rata-rata 160ms pada resolusi HVGA, yang menjamin responsivitas manuver kendali. Fitur pemrosesan citra terintegrasi terbukti andal sebagai sistem peringatan dini jarak dekat dengan akurasi deteksi wajah mencapai 95% pada radius 1 meter, meskipun efektivitasnya menurun pada jarak di atas 3 meter akibat keterbatasan perangkat keras. Kontribusi utama penelitian ini adalah validasi konsep *disposable tactical scout*, di mana teknologi murah dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan *Situational Awareness* (SA) tanpa membebani logistik pasukan atau membahayakan personil.

DAFTAR PUSTAKA

- Addin, T. N., Subiyanto, A., & Ikhsan, M. (2022). Operasi Udara Khusus Tni Angkatan Udara Menghadapi Ancaman Sesar Lembang. *AKSELERASI: Jurnal Ilmiah Nasional*, 4(3), 142–161. <https://doi.org/10.54783/jin.v4i3.625>
- Cakrayuda, L. (2025). Sicemot: Sistem Keamanan Cerdas Berbasis Esp32-Cam, Sensor Gerak, Dan Notifikasi Telegram. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 13(2). <https://doi.org/10.23960/jitet.v13i2.6420>
- Kamtam, S. B., Lu, Q., Bouali, F., Haas, O. C. L., & Birrell, S. (2024). Network Latency in Teleoperation of Connected and Autonomous Vehicles: A Review of Trends, Challenges, and Mitigation Strategies. *Sensors*, 24(12), 1–37. <https://doi.org/10.3390/s24123957>
- Mekiker, B., Patel, A., & Wittie, M. P. (2023). *Cost-Effective Situational Awareness Through IoT COTS Radios*. <http://arxiv.org/abs/2308.12328>
- Mukti, M. Z., Nandika, R., & Susanti, E. (2024). Perancangan Security Sistem Smart Home Berbasis Iot Menggunakan Esp32 Cam Dan Sensor Pir (Passive Infrared Sensor) Melalui Aplikasi Blynk. *Sigma Teknika*, 7(2), 349–360. <https://doi.org/10.33373/sigmateknika.v7i2.6982>
- Munasinghe, I., Perera, A., & Deo, R. C. (2024). A Comprehensive Review of UAV-UGV Collaboration: Advancements and Challenges. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 13(6), 1–35. <https://doi.org/10.3390/jsan13060081>
- Noor, I., & Satory, A. (2025). e-ISSN: 2962-9675. 4(2), 556–569. <https://jolin.my.id/index.php/jolin/article/view/236>
- Oktafiani, F., & Widhiantoro, D. (2025). Studi Literatur Penggunaan ESP32 untuk Sistem Keamanan Lingkungan Rumah. *Seminar Nasional Inovasi Vokasi*, 4(1), 267–274.
- Putra, A. D., Sudirman, A., & Haryanto, H. I. (2024). Implementasi Pendidikan Militer Berbasis Teknologi di Indonesia dan Singapura dalam Menghadapi Era Society 5.0. *Jurnal Penelitian Inovatif*, 4(4), 2261–2272. <https://doi.org/10.54082/jupin.855>
- Utmani, T., Turki, D. I., Maulina, L., & Alfian, R. L. (2023). *JSI+Vol+2+No+2+Nov+2023-51-64+new. 2*, 47–60.
- Waruwu, A. E. S., Setyawan, G. C., & Lase, K. J. D. (2024). Rancang Bangun Robot Bluetooth Remot Control dengan Sistem Pemindaian Obstacle. *Progresif: Jurnal Ilmiah Komputer*, 20(2), 898. <https://doi.org/10.35889/progresif.v20i2.1965>
- Yudiantara, D. (2023). *OLEH : M*.
- Zapia, G., Atina Husnayayin, & Desy Eka Citra Dewi. (2024). Karakteristik Dan Langkah-Langkah Metode Penelitian. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*, 9, 490–501. <https://journal.unpas.ac.id/index.php/pendas/article/view/19906/9859>