

# Prototipe Robot Taktis Jihandak Berbasis *Artificial Intelligence* dan Mikrokontroler Untuk Keamanan Sipil dan Militer

<sup>1</sup>Rizzal Pratama, <sup>2</sup>Johan Indra Prima Satya, <sup>3</sup>Niko Dwi Mardani, <sup>4</sup>Yudisthyra Wichaksono, <sup>5</sup>M.Syafaat

Program Studi D4 Teknik Elektronika Sistem Senjata Poltekad Kodiklatad, Jalan Raya Anggrek Desa Pendem Kecamatan Junrejo  
Batu Jurusan Elektro

[rizzaladamashraf@gmail.com](mailto:rizzaladamashraf@gmail.com), [johanindra57@gmail.com](mailto:johanindra57@gmail.com), [Ndmardani22@gmail.com](mailto:Ndmardani22@gmail.com), [Yudisthyrawichaksono@gmail.com](mailto:Yudisthyrawichaksono@gmail.com),  
[syafaatarh96@gmail.com](mailto:syafaatarh96@gmail.com)

**Abstract** – The increasing complexity of explosive threats demands the development of effective solutions to minimize risks to explosive ordnance disposal (EOD) personnel. The objective of this research is to design, build, and test the validity of a low-cost tactical EOD robot prototype integrated with artificial intelligence (AI) to improve operational safety and efficiency. The research method used is the Development Life Cycle Waterfall, which includes design, assembly, and experimental testing. The AI implementation focuses on an object detection model based on a Convolutional Neural Network (CNN) embedded in an ESP-32 Cam microcontroller for autonomous detection capabilities. The research results demonstrate the prototype's highly valid and reliable performance. The AI model successfully detected target objects with 91% accuracy and 92% recall. Functionally, the prototype has a stable wireless control range of up to 19 meters, high mobility in outdoor terrain with a success rate of 97%, and metal detection capabilities up to a distance of 2 meters. These results confirm that this robot prototype has strategic potential as a support system for both civilian and military needs.

**Keywords** – Cost, ESP32 Cam, AI, Explosives, CNN

**Abstrak** – Ancaman bahan peledak yang semakin kompleks menuntut pengembangan solusi efektif untuk meminimalkan risiko terhadap personel penjinak bahan peledak (jihandak). Tujuan penelitian ini adalah merancang, membangun, dan menguji validitas prototipe robot taktis jihandak berbiaya rendah yang terintegrasi dengan artificial intelligence (AI) untuk meningkatkan keamanan dan efisiensi operasional. Metode penelitian yang digunakan adalah Development Life Cycle Waterfall yang mencakup perancangan, perakitan, dan pengujian eksperimental. Implementasi AI difokuskan pada model deteksi objek berbasis Convolutional Neural Network (CNN) yang ditanamkan pada mikrokontroler ESP-32 Cam untuk kemampuan deteksi otonom. Hasil penelitian menunjukkan kinerja prototipe yang sangat valid dan andal. Model AI berhasil mendeteksi objek target dengan tingkat akurasi 91% dan recall 92%. Secara fungsional, prototipe ini memiliki jangkauan kendali nirkabel yang stabil hingga 19 meter, mobilitas tinggi di medan luar ruangan dengan tingkat keberhasilan 97%, serta kemampuan deteksi logam hingga jarak 2 meter. Hasil ini mengonfirmasi bahwa prototipe robot ini berpotensi strategis sebagai alutsista pendukung untuk kebutuhan sipil dan militer.

**Kata Kunci**–Biaya; ESP32 Cam; AI; Jihandak; CNN

## I. PENDAHULUAN

Dengan teknologi yang semakin berkembang dan sudah memasuki era *society* 5.0 bahaya ancaman keamanan sipil dan militer di generasi modern semakin kompleks, dengan maraknya penggunaan bahan peledak oleh kelompok bersenjata non-kombatan dalam konflik asimetris maupun aksi terorisme. Teknologi robotika menjadi solusi yang strategis dalam meminimalisir risiko kerugian personel sipil maupun militer dalam menangani bahan peledak seperti penjinakan bom (*bomb disposal operation*), baik di medan tempur maupun dalam penanganan ancaman di kawasan sipil. Dengan demikian, pendekatan yang menjanjikan dalam pengembangan prototipe robot taktis jihandak adalah integrasi antara sistem mikrokontroler seperti ESP-32 Cam dengan algoritma kecerdasan buatan (AI), yang dapat meningkatkan otonomi, efisiensi, dan ketepatan keputusan robot dalam situasi berisiko tinggi [1].

Dalam konteks pertahanan modern, kebutuhan alat untuk penjinakan bahan peledak yang efisien dan aman menjadi semakin mendesak seiring meningkatnya ancaman terorisme dan penggunaan bahan peledak ilegal. Saat ini, Corps Zeni TNI AD bertanggung jawab menangani ancaman Nubika, bom rakitan, ranjau, dan bahan peledak ilegal lainnya yang berpotensi membahayakan personel serta infrastruktur strategis [2]. Meskipun telah dilengkapi dengan

kendaraan tempur berlapis baja, *Arm Robot Vehicle* (ROV), dan baju pelindung anti ledak, metode yang digunakan masih memiliki keterbatasan karena sebagian besar operasi dilakukan secara langsung oleh personel atau operator alutsista, sehingga risiko keselamatan tetap tinggi. Selain itu, kemampuan respons TNI AD masih terbatas karena satuan Zeni hanya tersedia satu di setiap Kotama (Kodam), sehingga penanganan di wilayah tanpa satuan Zeni menjadi tidak optimal. Jarak penjinakan yang sering berada dalam zona berbahaya juga menambah risiko bagi personel di lapangan [3].

Perkembangan teknologi pada penelitian Implementasi Deteksi Objek Boneka Korban pada Kontes Robot SAR Indonesia Menggunakan ESP32-cam, menuntut kemampuan robot untuk membedakan antara boneka dummy dan boneka korban dalam situasi darurat. Data pelatihan diperoleh dari gambar boneka dummy dan boneka korban dalam berbagai sudut, kondisi pencahayaan, dan latar belakang menggunakan kamera dari ESP32-cam. Hasil confusion matrix, menunjukkan tingkat keberhasilan model dalam mendeteksi objek secara akurat, yang selanjutnya disebut sebagai F1 Score dari proses training model mencapai nilai 100% [4].

Penelitian yang berjudul "AI for Explosive Ordnance Detection in Clearance Operations" oleh Kischelewski et al. (2025) mengenai penerapan kecerdasan buatan (AI) dalam mendeteksi bahan peledak sisa (explosive ordnance/EO) pada operasi pembersihan. Dengan metode sistematik literatur review, pencarian dan penyaringan ketat terhadap 1.558 publikasi dari tujuh basis data utama, hingga terpilih 100 studi empiris yang menggunakan data nyata dan algoritma machine learning (ML). Hasil analisis mengidentifikasi peluang riset ke depan seperti peningkatan penggunaan AI untuk prediksi risiko, integrasi berbagai sistem AI dan data, serta pendekatan baru berbasis pola grid untuk meningkatkan akurasi [5].

Teknologi yang dikembangkan oleh Canaza Ccari et al. (2024) "JVC-02 Teleoperated Robot: Design, Implementation, and Validation for Assistance in Real Explosive Ordnance Disposal Missions" mengusulkan desain prototipe robot EOD (Explosive Ordnance Disposal) yang terjangkau dan modular, bernama JVC-02, untuk mendukung tugas penjinakan bahan peledak dalam skenario nyata. Metode penelitian menggabungkan pendekatan Quality Function Deployment (QFD) untuk mengidentifikasi kebutuhan pengguna dari satuan UDEX Peru dan standar kapabilitas Rescue Robot dari RoboCup sebagai acuan desain. Hasil menunjukkan JVC-02 memenuhi kebutuhan fungsional utama dengan biaya konstruksi sekitar USD 14,000 jauh lebih rendah dibandingkan robot komersial sejenis dan memiliki performa yang andal untuk misi lapangan, sekaligus memberikan kemudahan perawatan dan pengoperasian [6].

Prof. Dr. Kaushika Patel et al. (2025) dalam penelitiannya yang berjudul "Surveillance Robo Car Using ESP32 CAM Module" mengembangkan sistem robotik mobile untuk pengawasan keamanan dengan memanfaatkan modul ESP32 CAM yang dapat melakukan streaming video real-time melalui Wi-Fi dan dikendalikan dari jarak jauh via antarmuka web. Metode penelitian mengintegrasikan komponen hardware seperti modul ESP32 CAM, driver motor L293D, motor servo SG-90, sensor inframerah, serta perangkat lunak yang mengelola pengendalian motor, streaming video, dan jaringan nirkabel untuk menyediakan kontrol dan monitoring yang responsif. Uji coba menunjukkan kemampuan robot ini untuk melakukan navigasi dengan deteksi rintangan, transmisi video berkualitas dengan latensi rendah, dan kemudahan kontrol remote, meski terdapat tantangan seperti keterbatasan kapasitas pemrosesan ESP32, durasi baterai, dan isu keamanan jaringan yang diatasi dengan solusi optimasi perangkat lunak dan protokol keamanan [7].

Penelitian dengan judul "Smart Robot Object Detection Menggunakan ESP-32 CAM" yang dikembangkan oleh Nurdiansyah Deni et al. (2024) mengkaji sistem deteksi objek real-time pada robot beroda menggunakan modul ESP-32 Cam yang terintegrasi dengan model YOLOv5 yang telah dikonversi ke TensorFlow Lite untuk pengolahan ringan dan efisien. Metode yang digunakan meliputi pengumpulan 1710 dataset gambar dari 27 kelas objek berbeda, proses pelabelan dan anotasi data menggunakan platform Roboflow, pembagian data menjadi 70% untuk pelatihan, 20% validasi, dan 10% pengujian, serta implementasi coding dengan Arduino IDE untuk mengendalikan perangkat keras berupa motor DC, servo motor, dan modul ESP-32 Cam yang berfungsi sebagai pengirim sinyal dan pengolah gambar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model deteksi objek YOLOv5 yang diintegrasikan ke ESP-32 Cam mampu mencapai performa tinggi dengan nilai mean Average Precision (mAP) 95%, presisi 97%, dan recall 100%, sekaligus berhasil mengklasifikasikan berbagai objek di lingkungan sekitar robot secara akurat. [8].

Mikrokontroler ESP32-Cam menjadi solusi alternatif yang banyak digunakan pada platform robot taktis berskala prototipe karena sifatnya yang terbuka (open-source), kompatibel dengan berbagai sensor dan aktuator, yang dapat

terkoneksi dengan WiFi serta biaya implementasi yang relatif rendah [9]. Dalam konteks aktuasi, servo MG996R menawarkan torsi yang tinggi dan akurasi sudut yang memadai untuk mengoperasikan lengan robot taktis penjinak bahan peledak, sementara sistem penggerak berbasis roda tank memberikan keunggulan mobilitas di medan kasar, yang umumnya ditemui pada operasi lapangan [10]. Dari sisi komunikasi, media nirkabel baik menggunakan WiFi atau bluetooth HC-05 yang merupakan modul transmisi jarak pendek yang banyak digunakan pada robot skala kecil karena kestabilannya, kemudahan konfigurasi, dan integrasi langsung dengan mikrokontroler. Penggunaan aplikasi berbasis MIT App Inventor memudahkan operator dalam mengontrol robot melalui antarmuka yang intuitif, tanpa memerlukan perangkat keras tambahan berbiaya tinggi [11].

Dalam operasi penjinakan bom, sensor deteksi menjadi komponen kritis. Penelitian terbaru mengindikasikan bahwa kombinasi sensor visual, sensor logam (metal detector), dan sensor gas dapat meningkatkan akurasi identifikasi bahan peledak [12]. Pada tingkat prototipe, integrasi sensor LDR juga bermanfaat untuk mengoptimalkan pencahayaan otomatis pada kondisi minim cahaya, sehingga meningkatkan visibilitas kamera atau sensor lainnya [13]. Sistem peringatan dini berbasis buzzer telah terbukti efektif sebagai *alert mechanism* sederhana yang langsung memberikan umpan balik akustik kepada operator saat potensi ancaman terdeteksi [14]. Aspek anti-jamming semakin mendapat perhatian seiring meningkatnya penggunaan sistem nirkabel dalam operasi taktis. Penelitian oleh [15] menunjukkan bahwa Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) dan jalur komunikasi redundan dapat meningkatkan ketahanan sinyal terhadap gangguan. Meskipun metode tersebut umum pada sistem militer berbiaya tinggi, penerapan konsep serupa pada platform Arduino masih jarang dibahas di literatur. Pendekatan alternatif, seperti pengalihan kanal otomatis berbasis kekuatan sinyal (RSSI), penggunaan kanal komunikasi cadangan (misalnya modul RF nRF24L01), serta enkripsi data sederhana (AES-128), berpotensi memberikan perlindungan komunikasi tanpa menambah biaya signifikan [16] [17] [18].

Didasarkan dari permasalahan dan literatur di atas, peneliti berusaha untuk mengatasi permasalahan di atas dengan berinovasi yang dimulai dari merancang dan membangun prototipe robot taktis jihandak berbasis artificial intelligence dan mikrokontroler yang diintegrasikan dengan pemanfaatan sumber energi yang dapat mengisi baterai dari gerakan roda robot (motor DC), yang dapat dioperasikan pada konteks keamanan sipil dan militer menggunakan biaya yang terjangkau dengan hasil optimal. Dalam hal ini, pendekatan multidisiplin yang menggabungkan elektronika, pemrograman, dan sistem kendali cerdas, diharapkan prototipe ini dapat memberikan kontribusi nyata dalam peningkatan kapabilitas pertahanan nasional. Prototipe ini dikonsepsikan agar bersifat mobile, mudah dipindahkan, dan memudahkan dalam monitoring pengendalian jarak jauh menggunakan perangkat Android. Dengan pendekatan teknologi ini, robot taktis jihandak ini diharapkan dapat meningkatkan efektivitas dan efisiensi proses penjinakan bahan peledak, serta meminimalkan risiko bagi personel yang terlibat. Inovasi ini juga diharapkan dapat mendukung tugas pokok TNI AD dalam menjaga keamanan nasional dan merespons berbagai ancaman dengan lebih cepat dan aman.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Metode

Penelitian ini menggunakan metode *Development Life Cycle Waterfall*, atau bisa disebut eksperimen dengan diagram alir *flowchart* disertai dengan blok diagram sistem, proses penelitian yang bertujuan untuk merancang dan menguji sistem robot taktis jihandak berbasis *artificial intelligence* dan mikrokontroler dengan tahap yang berurutan, dimulai dari kajian permasalahan hingga pengujian perangkat/alat. Penelitian dilaksanakan di laboratorium elektronika Poltekad Kodiklatad selama periode akhir Juni hingga awal Agustus 2025. Adapun tahapan dalam metode ini meliputi:

#### 1. Kajian Permasalahan

Kajian ini proses mempelajari permasalahan yang sedang terjadi, melalui kajian ini dapat menyimpulkan teknologi apa yang harus dibuat sehingga membantu menyelesaikan permasalahan dengan memperhatikan tingkat keamanan dan efisiensi. Permasalahan yang terjadi pada kasus ancaman terorisme dengan bom bunuh diri maupun meletakan bom pada tempat objek vital dan yang sudah terjadi pada beberapa waktu di tempat ibadah sangat menjadi perhatian kita semua dimana sistem keamanan harus lebih siap dimanapun berada. Dengan teknologi yang semakin

berkembang, tidak menutup kemungkinan ancaman yang mengandung bahan peledak akan semakin kecil bentuknya sehingga kita semua harus selalu waspada. Dalam penanganan penjinakan bahan peledak, satuan TNI AD Corps Zeni bidang Nubika memiliki robot ROV untuk penanganan ancaman bahan peledak dalam hal ini jihandak, namun alat tersebut sangat besar sehingga memiliki keterbatasan dalam respon mengingat setiap kota hanya terdapat 1(satu) satuan Zeni bidang Nubika yang memiliki robot ROV dengan mobilitas harus diangkut menggunakan kendaraan truk.

## 2. Tinjauan Pustaka

Sebagai proses awal tahapan ini mencari data dan teori yang dijadikan referensi untuk memperkuat teori-teori yang diperlukan dengan bersumber dari penelitian terdahulu, sehingga membantu menyelesaikan pembuatan alat dalam perancangan dan pembangunan “Prototipe Robot Taktis Jihandak Berbasis Artificial Intelligence dan Mikrokontroler Untuk Keamanan Sipil dan Militer”. Penelitian sebelumnya tentang Robot dengan pengendalian jarak jauh dan robot pendeteksi bahan peledak masih mempunyai kekurangan, sehingga perlu adanya penyempurnaan untuk memastikan robot ini berfungsi dengan baik. Berikut ini adalah beberapa peneliti terdahulu yang berkaitan dengan alat ini :

a. Perkembangan teknologi yang berjudul “Implementasi Deteksi Objek Boneka Korban pada Kontes Robot SAR Indonesia Menggunakan ESP32-cam”, pada saat melakukan pengujian terdapat tantangan seperti variasi posisi dan kondisi lingkungan sehingga peneliti menggunakan algoritma tambahan dengan melakukan counter pada objek korban yang dideteksi untuk meningkatkan akurasi deteksi [4].

b. Teknologi yang dikembangkan oleh Canaza Ccari et al. (2024) "JVC-02 Teleoperated Robot: Design, Implementation, and Validation for Assistance in Real Explosive Ordnance Disposal Missions" mengusulkan desain prototipe robot EOD (Explosive Ordnance Disposal) yang terjangkau dan modular, bernama JVC-02, untuk mendukung tugas penjinakan bahan peledak dalam skenario nyata. Hasil menunjukkan JVC-02 memenuhi kebutuhan fungsional utama dengan biaya konstruksi sekitar USD 14,000 jauh lebih rendah dibandingkan robot komersial sejenis dan memiliki performa yang andal untuk misi lapangan, sekaligus memudahkan perawatan dan pengoperasian [6].

c. Prof. Dr. Kaushika Patel et al. (2025) dalam penelitiannya yang berjudul "Surveillance Robo Car Using ESP32 CAM Module" mengembangkan sistem robotik mobile untuk pengawasan keamanan dengan memanfaatkan modul ESP32 CAM, penelitian ini masih terdapat tantangan seperti keterbatasan kapasitas pemrosesan ESP32, durasi baterai, dan isu keamanan jaringan yang diatasi dengan solusi optimasi perangkat lunak dan protokol keamanan. [7].

## 3. Perencanaan

Tujuan dari tahapan ini adalah merencanakan desain mekanik dan elektronik robot, termasuk pemilihan komponen seperti mikrokontroler ESP-32 Cam, motor DC, servo MG996, dan sensor sesuai kebutuhan untuk rancang bangun robot taktis jihandak berbasis *artificial intelligence* dan mikrokontroler yang dijadikan sebagai penentu dalam pembuatan alat ini.

## 4. Perancangan dan Perakitan

Tahap ini merupakan bagian penting pada proses pembuatan rancang bangun robot taktis jihandak berbasis *artificial intelligence* dan mikrokontroler sesuai dengan tahap perencanaan, mencakup perakitan sasis, lengan robot (ARM), dan integrasi sistem kontrol.

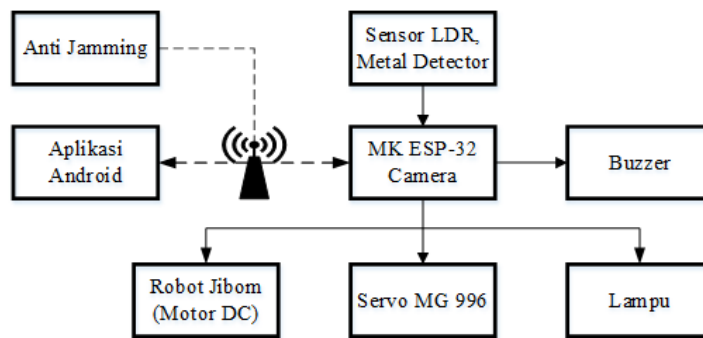
## 5. Pengujian Perangkat/Alat

Tahapan yang sangat penting dalam melaksanakan penelitian, dengan melakukan pengujian untuk mengevaluasi kinerja semua perangkat yang digunakan baik hardware maupun software. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan apakah alat yang dibuat dapat dioperasikan dengan baik atau mengalami *trouble*/permasalahan. Adapun tahapan dalam pelaksanaan pengujian melalui beberapa simulasi sebagai berikut:

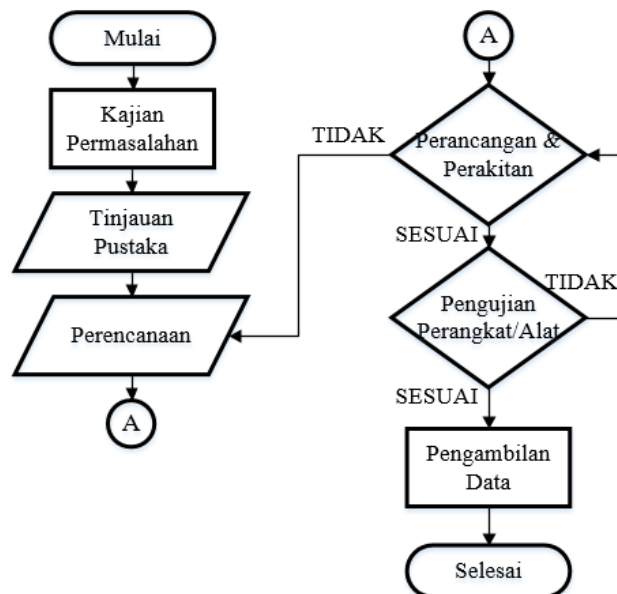
- **Pengujian Deteksi Objek** : Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui jangkauan efektif sensor metal detector dalam mendeteksi target. Simulasi pengujian dilakukan pada medan yang sebenarnya menggunakan alat uji langsung bahan peledak mini yang terdiri dari campuran propelan dengan sistem magnetik roket. Proses pengujian deteksi objek (bom) dengan parameter jarak deteksi, sensitivitas sensor, dan respon buzzer dilakukan untuk mengetahui apakah prototipe robot dapat berfungsi dengan benar dan mengetahui fungsinya.

- **Pengujian Jangkauan Kontrol** : Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui jarak maksimal konektivitas WiFi maupun Bluetooth HC-05 dan perangkat kontrol Android. Pengujian dilakukan pada ruang terbuka dengan jarak yang bertahap dari 1 meter hingga koneksi terputus.
- **Pengujian Pergerakan Robot** : Dengan menguji mobilitas robot pada kondisi medan lingkungan yang berbeda seperti dalam ruangan dan luar ruangan untuk mengevaluasi kinerja sistem penggerak roda rantai.
- **Pengujian Lengan Robot (ARM) dan Integrasi AI**: Menguji fungsionalitas setiap sendi lengan robot atau DOF secara manual maupun autonomous. Pada mode autonomous, diimplementasikan model deteksi objek berbasis *Convolutional Neural Network* (CNN) yang melalui proses *embedded system* pada ESP-32 Cam. Model melakukan *training* atau dilatih untuk mengenali objek simulasi bahan peledak seperti bom, yang kemudian mentrigger gerakan ARM secara otomatis untuk melakukan pengamanan.
- **Pengujian Model AI (CNN)**: Melakukan pengumpulan data mengenai handak termasuk bom khususnya di lingkungan TNI AD kemudian melakukan pengujian model AI (CNN) menggunakan metode evaluasi *Confusion Matrix* dengan 100 gambar uji untuk mengukur metrik performa seperti akurasi, presisi, dan recall.

B. Gambar dan Tabel



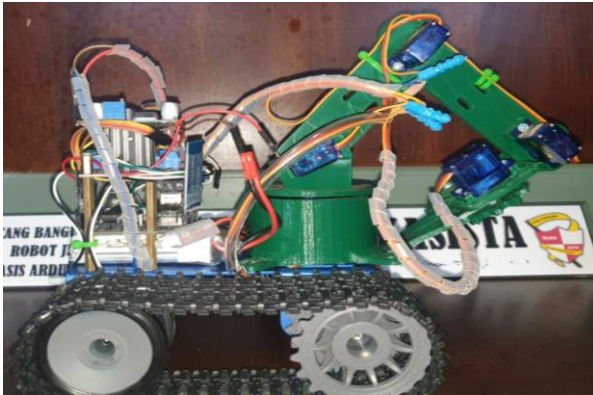
Gambar 1. Blok Diagram Sistem Wairing Hardware



Gambar 2. Flowchart Proses Penelitian

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perancangan dan perakitan ini merupakan bagian dari wujud rancang bangun prototipe robot taktis jihandak sesuai dengan tahap perencanaan. Prototipe ini menggunakan sasis roda rantai untuk mobilitas tinggi, dikendalikan oleh mikrokontroler ESP-32 Cam yang dilengkapi dengan lengan robot (ARM) yang digerakan oleh servo MG996 untuk torsi yang sesuai kebutuhan. Bentuk fisik perancangan robot dan perakitan dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Perancangan dan Perakitan Robot



Gambar 4. Bentuk Fisik Robot Taktis Jihandak

#### 1. Pengujian Jarak Pendeteksian Bom

Pengujian fungsionalitas sensor metal detector menunjukkan kemampuan deteksi yang efektif pada jarak dekat. Simulasi dan hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 5 dan Tabel 1.



Gambar 5. Simulasi Pendeteksian Bom

Tabel 1. Data Pengujian Jarak Pendeteksian Bom

No	Jarak Pendeteksian	Waktu Sensitivitas (s)	Respons Buzzer
1	50 cm	1,5	On
2	2 m	2,1	On
3	3 m	2,6	Off
4	5 m	-	Off

Pada Tabel 1, hasil pengujian sensor mampu mendeteksi objek logam secara konsisten hingga jarak 2 meter dengan buzzer on sebagai indikator. Pada jarak 3 meter, sensor gagal memberikan respons sehingga terjadi batas efektif jangkauan.

## 2. Pengujian Jangkauan Kontrol

Pengujian fungsi jangkauan kontrol dilakukan untuk mengetahui batas konektivitas nirkabel antara robot dengan perangkat kontrol Android dengan tujuan mendapatkan posisi operasional yang aman.

Tabel 2. Data Pengujian Jangkauan Kontrol

No	Jangkauan Kontrol	Status Konektivitas	Pairing Time (s)
1	1 m	Terhubung	1,55
2	5 m	Terhubung	2,40
3	10 m	Terhubung	8.50
4	15 m	Terhubung	11.05
5	18 m	Terhubung	17.35
6	19 m	Terhubung	18.00
7	20 m	Terputus	19.20

Dari hasil data Tabel 2 menunjukkan robot dapat dikendalikan secara manual dan autonomus dengan stabil hingga jarak 19 meter dengan waktu bervariasi dalam satuan detik. Saat jarak melebihi 19 meter maka koneksi terputus yang ditandai dengan notifikasi error pada aplikasi Android. Namun, jangkauan ini sudah lebih dari cukup untuk menjaga jarak aman personel dari potensi ledakan.

## 3. Pengujian Pergerakan Robot

Mobilitas robot diuji pada medan lingkungan luar dan dalam ruangan untuk menguji desain roda rantai sekaligus untuk mengetahui setaktis apa robot dalam bergerak.

Tabel 3. Data Pengujian Pergerakan Robot

No	Pergerakan Robot	Keberhasilan (%)	Kegagalan (%)
1	Dalam Ruangan	85	5
2	Luar Ruangan	97	3

Dari data Tabel 3 tersebut, menunjukkan tingkat keberhasilan pergerakan yang sangat tinggi, terutama pergerakan diluar ruangan hingga 97 %. Dalam hal ini, penggunaan roda rantai sangat efektif dan taktis pada pergerakan robot dalam berbagai medan.

## 4. Pengujian Pergerakan Robot

Pengujian gerak ARM lengan robot dengan sudut awal atau titik nol yang sudah di setting pada program, kemudian ARM dapat dikontrol manual dan otomatis (autonomous) dengan pengaplikasian artificial intelligence, gambar dan tabel dapat dilihat pada gambar 6 dan tabel 4 di bawah ini:



Gambar 6. Pengujian Gerak ARM Lengan  
 Tabel 4. Data Pengujian Pergerakan ARM

No	Pergerakan ARM	Sudut Program (°)	Buka Tutup (%)	Naik Turun (%)	Kanan Kiri (%)
1	Gripper	170	100	-	-
2	Wrist Pitch	60	-	95	-
3	Elbow	10	-	87	-
4	Shoulder	0	-	83	-
5	Waist	50	-	-	100

Dari data Tabel 6 pengujian ARM tersebut bahwa untuk gripper/capit 100%, Wrist Pitch/DOF lengan 1 95%, Elbow/lengan 2 87%, Shoulder/lengan 3 83% terkadang terjadi trouble saat mengangkat beban berat diatas 3 kg, Waist/DOF alas 100%.

### 5. Pengujian Model AI (CNN)

Pada pengujian ini dalam mengukur performa model *Convolution Neural Network* (CNN) saat mendeteksi objek seperti dalam simulasi menggunakan bom, dilakukan pengujian menggunakan data *training* 100 gambar yang terdiri dari 60 target positif dan 40 gambar target negative dan melakukan pengujian lanjutan dengan metrik.

Tabel 5. Hasil Pengujian Metrik Performa Model CNN

No	Metrik	Rumus	Hasil Perhitungan (%)
1	Akurasi	$(TP+TN) / (TP+TN+FP+FN)$	91
2	Presisi	$TP / (TP+FP)$	90.2
3	Recall	$TP / (TP+FN)$	92
4	F1-Score	$2*(Presisi*Recall) / (Presisi+Recall)$	91.1

Berdasarkan Tabel 5, model AI menunjukkan akurasi sebesar 91%, yang menandakan kemampuan klasifikasi yang sangat baik. Nilai recall sebesar 92% menjadi sorotan utama, karena ini menunjukkan bahwa model sangat handal dalam menemukan sebagian besar target bom yang ada, meminimalisir risiko kegagalan deteksi. Meskipun terdapat 5 kasus False Positive (robot salah mengira objek lain sebagai bom), nilai presisi 90.2% masih tergolong tinggi. F1-Score sebesar 91.1% mengonfirmasi bahwa performa model seimbang dan kuat untuk implementasi di lapangan.

## IV. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian karya ilmiah ini, inovasi mengembangkan teknologi dengan membuat sebuah prototipe robot taktis jhandaak berbiaya rendah, hal ini menunjukkan peluang yang strategis dalam meningkatkan keamanan dan keselamatan personel dengan efisiensi operasional. Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian, integrasi *artificial intelligence* (AI) yang diimplementasikan sebagai model deteksi objek berbasis *Convolution Neural Network* (CNN), telah berhasil mengoptimalkan kemampuan robot dalam mendeteksi target secara manual maupun autonomous. Hal ini menunjukan pembuktian performa model sangat baik dengan tingkat akurasi 91% dan recall 92% yang mana mengkonfirmasi kemampuan robot dapat mengenali ancaman. Prototipe robot

ini berhasil memvalidasi fungsi dalam melakukan tugasnya dengan jangkauan deteksi logam hingga 2 meter dan kontrol nirkabel yang stabil hingga jarak 19 meter, yang memenuhi SOP jarak aman. Meskipun demikian, terdapat tantangan terkait sistem anti-jamming pada frekuensi 900 MHz hingga 2,4 GHz yang belum optimal dalam security system kontrol dan peningkatan kapasitas pengangkatan beban yang saat ini mampu pada beban 3 kg karena ARM yang digunakan terbuat dari 3D printing serta casing yang kurang berbobot. Dengan demikian, robot ini secara langsung dapat mengurangi kerugian personel dan materil yang dapat beresiko cedera, kerusakan hingga kematian, sehingga alat ini sangat mendukung untuk kemajuan alutsista TNI AD dan dapat dimanfaatkan oleh berbagai unit militer non-Zeni.

## V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. S. Dr. Widodo, S.I.P., S.Sos., *Memimpin Tentara Di Era Society 5.0; Sebuah Gagasan Strategis Tentang Kepemimpinan Militer Berbasis Algoritmik Leadership*. Nas Media Pustaka., 1st ed. Makassar: PT. NAS MEDIA INDONESIA, 2025. [Online].
- [2] A. Josias and S. Runturambi, "Strategi Pencegahan Serangan Teroris Di Indonesiamenggunakan Weapons Mass Destruction (Wmd) Oleh Polri,Bnpt, Bapeten, Tni, Bnpb Dan Kemenperin," *J. Terror. Stud.*, vol. 2, no. 1, 2020, doi: 10.7454/jts.v2i1.1020.
- [3] H. Sidiq, "LAPORAN MAGANG KERJA PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN Produksi Robot ROV Jihandak di PT Cakra Vimana Diinamycx".
- [4] A. Taupiq, Y. Pratama, and M. I. Bustami, "Deteksi Objek Boneka Korban pada Kontes Robot SAR Indonesia Menggunakan ESP32-cam," *Build. Informatics, Technol. Sci.*, vol. 6, no. 3, pp. 2073–2084, 2024, doi: 10.47065/bits.v6i3.5979.
- [5] A. I. For, E. Ordnance, D. Operations, and T. H. E. State, "AI FOR EXPLOSIVE ORDNANCE DETECTION IN CLEARANCE OPERATIONS :," vol. 1997, 2025.
- [6] L. F. Canaza Ccari *et al.*, "JVC-02 Teleoperated Robot: Design, Implementation, and Validation for Assistance in Real Explosive Ordnance Disposal Missions," *Actuators*, vol. 13, no. 7, 2024, doi: 10.3390/act13070254.
- [7] K. Patel, M. Gadaria, and K. Kansagra, "' Surveillance Car Bot Using Esp32 Cam Module '," vol. 23, no. 05, pp. 368–377, 2024.
- [8] D. Nurdiansyah and A. Sobri, "Smart Robot Object Detection Menggunakan Esp-32 Cam," *J. TEKINKOM*, vol. 7, no. 1, pp. 272–280, 2024, doi: 10.37600/tekinkom.v7i1.1296.
- [9] B. D. Cahyono, N. Nurdayanti, N. Azzahra, D. Hardelia, and M. Muhani, "Simulation of Robot Arm Control System by Bluetooth Using Arduino," *Sci. J. Sci. Technol.*, vol. 3, no. 1, pp. 13–21, 2024, doi: 10.55849/scientechno.v3i1.607.
- [10] M. Z. H. Bhuiyan and S. A. Sabina, "Multipurpose Surveillance Robot using Arduino Mega 2560 and Bluetooth Module HC-05," *MATEC Web Conf.*, vol. 393, p. 04001, 2024, doi: 10.1051/mateconf/202439304001.
- [11] E. Detection and T. U. Iot, "Explosive detection and disposable robot - vlc technology using iot".
- [12] C. Kaul *et al.*, "AI-Enabled Sensor Fusion of Time-of-Flight Imaging and mmWave for Concealed Metal Detection," *Sensors*, vol. 24, no. 18, 2024, doi: 10.3390/s24185865.
- [13] A. I. Rahmansyah, S. Masluha, A. Haris, and A. T. Mauliddiansari, "Implementation of Energy-Saving Lamp With Automatic System Using LDR SENSOR (Light Dependent Resistor) Combination at Village Guard Posts and Mosques in Probolinggo," *Empower. Soc.*, vol. 6, no. 2, pp. 85–92, 2023, doi: 10.30741/eps.v6i2.1082.
- [14] S. P. Collins *et al.*, "No Title 濟無No Title No Title No Title," no. April, 2021.
- [15] Y. Shi, X. Lu, K. An, Y. Li, and G. Zheng, "Efficient Index-Modulation-Based FHSS: A Unified Anti-Jamming Perspective," *IEEE Internet Things J.*, vol. 11, no. 2, pp. 3458–3472, 2024, doi: 10.1109/JIOT.2023.3296605.
- [16] C. Wang, Y. Chen, Z. Lin, Q. Chen, and L. Xiao, "Reinforcement Learning Based Jamming Detection for Reliable Wireless Communications," *IEEE Veh. Technol. Conf.*, 2024, doi: 10.1109/VTC2024-

- Spring62846.2024.10683073.
- [17] I. Radhakrishnan, S. Jadon, and P. B. Honnavalli, "Efficiency and Security Evaluation of Lightweight Cryptographic Algorithms for Resource-Constrained IoT Devices," *Sensors*, vol. 24, no. 12, 2024, doi: 10.3390/s24124008.
  - [18] R. P. Shete, "Lightweight Cryptographic and Scalable IoT Systems for Encryption across GSM-MQTT Architectures in Resource-Constrained Aquaculture Environment," vol. 15, no. 4, pp. 25133–25139, 2025.