
RANCANG BANGUN ROBOT SOCCER BERBASIS ESP32 DAN ALGORITMA YOLO UNTUK DETEKSI OBJEK

Dimas Wira Yuda¹, Wendhi Yuniarto², Medi Yuwono Tharam³, Yunita⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknologi Rekayasa Sistem Elektronika, Politeknik Negeri Pontianak

Jl. Jendral Ahmad Yani – Pontianak 78124, Kalimantan Barat

¹dimaswira49@gmail.com, ²tepelongkeng@gmail.com, ³mediyuwonotharam@polnep.ac.id,
⁴yunita@polnep.ac.id

Abstract

This research designs an autonomous wheeled soccer robot based on the ESP32 microcontroller to overcome the limitations of computer vision systems on low-power devices. The integration of the YOLO algorithm on the ESP32-CAM module is implemented for real-time ball and goal detection, supported by an HC-SR04 ultrasonic sensor for navigation and a TCS3200 sensor for field boundary detection. Test results show the robot is capable of stable movement with an average speed of 33.89 cm/second. The YOLO model successfully detected objects with a confidence score of 0.27–0.75, despite a processing latency of 1.53–4.93 seconds due to device memory constraints. The obstacle avoidance algorithm achieved an 80% success rate, while the kicking mechanism requires further torque optimization. The main contribution of this research is the successful implementation of deep learning algorithms on a power-efficient embedded platform, providing a foundation for developing compact autonomous robots with integrated vision systems.

Keywords: Computer Vision, ESP32, Autonomous, Soccer Robot, YOLO.

Abstrak

Penelitian ini merancang robot *soccer* beroda otonom berbasis mikrokontroler ESP32 untuk mengatasi keterbatasan sistem visi komputer pada perangkat berdaya rendah. Integrasi algoritma YOLO pada modul ESP32-CAM diimplementasikan untuk deteksi objek bola dan gawang secara *real-time*, didukung sensor ultrasonik HC-SR04 untuk navigasi dan sensor TCS3200 untuk deteksi batas lapangan. Hasil pengujian menunjukkan robot mampu bergerak stabil dengan kecepatan rata-rata 33,89 cm/detik. Model YOLO berhasil mendeteksi objek dengan *confidence score* 0,27–0,75, meskipun terdapat latensi pemrosesan sebesar 1,53–4,93 detik akibat keterbatasan memori perangkat. Algoritma penghindaran rintangan mencapai tingkat keberhasilan 80%, sementara mekanisme penendang masih memerlukan optimalisasi torsi. Kontribusi utama penelitian ini adalah keberhasilan implementasi algoritma *deep learning* pada platform *embedded* hemat daya, yang memberikan landasan bagi pengembangan robot otonom ringkas dengan sistem visi terintegrasi.

Kata kunci: Computer Vision, ESP32, Otonom, Robot Soccer, YOLO.

1. PENDAHULUAN

Sepak bola merupakan salah satu olahraga yang paling populer di dunia, dengan jutaan penggemar dan pemain yang terlibat di dalamnya. Permainan ini tidak hanya mengandalkan keterampilan fisik, tetapi juga strategi dan teknik yang kompleks. Dalam beberapa tahun terakhir, perkembangan

teknologi telah berkontribusi signifikan terhadap berbagai aspek dalam olahraga, termasuk dalam pengembangan robot yang dapat berpartisipasi dalam permainan sepak bola.

Salah satu inovasi menarik dalam dunia robotika adalah teknologi robot soccer. Di Indonesia, antusiasme ini diwadahi oleh

Kemenristekdikti melalui Kontes Robot Sepak Bola Indonesia Beroda (KRSBI-B). Perlombaan ini merupakan kompetisi robot yang bermain bola layaknya manusia, namun robot yang digunakan merupakan robot yang bergerak atau bermanuver menggunakan roda dan melakukan permainan secara otomatis tanpa adanya campur tangan manusia [1]. Berbeda dengan robot humanoid, robot soccer beroda memiliki keunggulan dalam kecepatan mobilitas, namun hal ini menuntut sistem kendali yang lebih responsif untuk mendeteksi objek dan berinteraksi dengan lingkungan sekitarnya.

Meskipun pengembangan robot soccer beroda sudah masif, permasalahan utama yang sering dihadapi adalah keterbatasan teknologi sensor visi pada perangkat kendali. Dalam penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Suryawan [2], diungkapkan bahwa penggunaan sensor visi, seperti kamera, sangat penting dalam meningkatkan kemampuan robot soccer. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa robot yang dilengkapi dengan kamera memiliki kemampuan lebih unggul dalam mendeteksi bola dan gawang. Namun, penggunaan smartphone Android sebagai sensor visi memiliki tantangan tersendiri dalam hal integrasi sistem dan efisiensi daya pada robot beroda yang ringkas.

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, diperlukan integrasi metode kecerdasan buatan yang lebih efisien pada perangkat embedded. Integrasi kamera dengan algoritma Computer Vision seperti YOLO (You Only Look Once) terbukti dapat meningkatkan akurasi deteksi objek dibandingkan dengan sensor konvensional. Penerapan algoritma ini memungkinkan robot untuk merespons perubahan di lapangan dengan lebih cepat [3]. Hal ini sejalan dengan penelitian terkait implementasi Computer Vision di mana algoritma deep learning dari keluarga YOLO terbukti memiliki akurasi yang sangat tinggi sekaligus tingkat efisiensi yang mumpuni untuk mengeksekusi tugas deteksi area secara cepat dan presisi pada kondisi lingkungan yang dinamis[4]. Penerapan algoritma kecerdasan buatan untuk pemrosesan citra, seperti Convolutional Neural Network (CNN), telah terbukti andal dalam mengklasifikasikan berbagai objek fisik secara presisi pada sistem otomasi [5]. Dengan kemampuan deteksi real-time yang akurat, robot beroda dapat bermanuver mengejar bola dan mencari gawang secara lebih efektif.

Berdasarkan tantangan dan peluang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun robot soccer otonom beroda berbasis algoritma YOLO. Robot

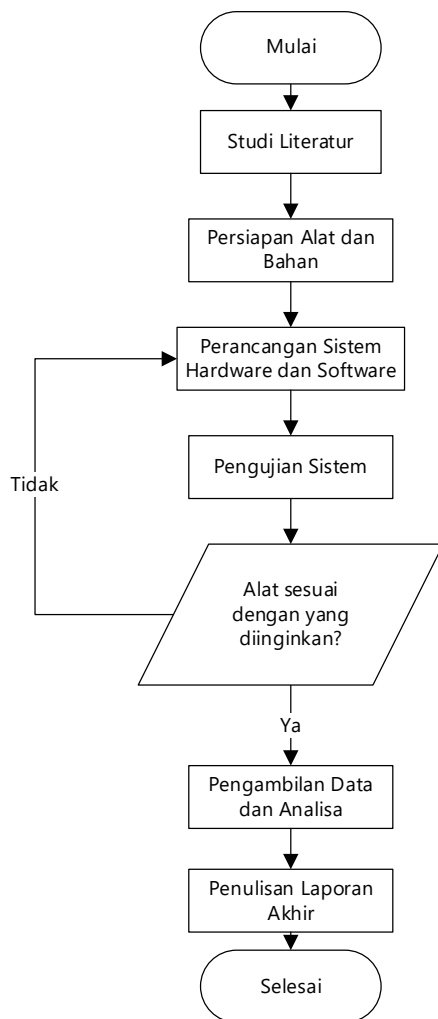
ini dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32-CAM yang mengintegrasikan kamera dan kendali dalam satu modul, sehingga lebih efisien untuk platform robot beroda. Dengan menggunakan Algoritma YOLO sebagai pusat pengolahan data, diharapkan robot ini dapat mengatasi keterbatasan deteksi objek yang ada dan meningkatkan responsivitas robot dalam permainan sepak bola.

Untuk menjawab tantangan tersebut, penelitian ini mengusulkan rancang bangun robot soccer beroda otonom yang dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32 dan ESP32-CAM. Guna mengatasi kendala akurasi deteksi visual, algoritma kecerdasan buatan YOLO diimplementasikan untuk mengenali bola dan gawang secara real-time. Terintegrasi dengan sensor ultrasonik untuk penghindaran rintangan dan aktuator penendang mekanik, sistem ini bertujuan menghasilkan purwarupa robot yang mampu mendeteksi target, bermanuver, serta mengambil keputusan secara mandiri di lapangan.

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam penelitian ini difokuskan pada bagaimana mengoptimalkan performa algoritma visi komputer pada perangkat *embedded* berdaya rendah guna mencapai akurasi deteksi objek yang tinggi dengan latensi minimal. Sejalan dengan permasalahan tersebut, tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk merancang integrasi sistem mekanik dan elektronik robot *soccer* berbasis ESP32, mengimplementasikan algoritma YOLO untuk pendeteksian bola dan gawang secara *real-time*, serta membangun sistem navigasi mandiri yang mampu menghindari rintangan di lapangan permainan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Skema Alur Penelitian



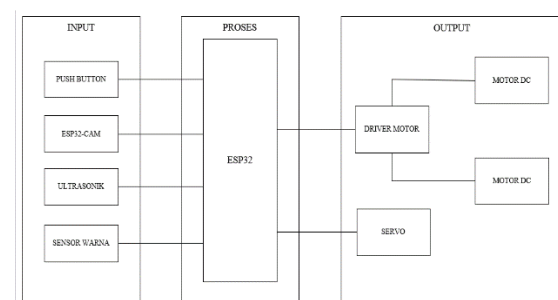
Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Penelitian ini diawali dengan tahap persiapan yang meliputi studi literatur untuk penguatan landasan teori serta identifikasi alat guna menentukan spesifikasi perangkat keras dan lunak yang dibutuhkan. Selanjutnya, proses memasuki tahap inti yaitu perancangan sistem, di mana algoritma, pemodelan, dan desain arsitektur disusun, yang kemudian diimplementasikan melalui perakitan hardware dan software. Keberhasilan sistem diuji secara berulang; jika sistem belum bekerja sesuai rancangan, maka dilakukan evaluasi kembali ke tahap perancangan untuk perbaikan. Setelah sistem dinyatakan berfungsi dengan baik, dilakukan analisis dan evaluasi data secara mendalam untuk mengukur kinerja perangkat sebelum akhirnya seluruh rangkaian penelitian didokumentasikan dalam bentuk laporan akhir.

Pusat kendali logika robot ini menggunakan mikrokontroler ESP32 yang memiliki keunggulan integrasi modul Wi-Fi dan Bluetooth, serta dukungan antarmuka input/output yang luas untuk mengendalikan berbagai aktuator

secara responsif [6]. Penggunaan mikrokontroler ESP32 dalam sistem otomatisasi telah terbukti andal karena selain konsumsi dayanya yang rendah, perangkat ini mampu mengintegrasikan pembacaan sensor dan kendali aktuator sekaligus mengirimkan data secara real-time melalui protokol komunikasi nirkabel [7]. Secara terpisah, untuk kebutuhan visi komputer, digunakan modul ESP32-CAM yang difokuskan khusus untuk pengambilan citra lapangan guna mendukung pemrosesan data visual [6].

Perancangan sistem elektronika pada robot ini mencakup disposisi komponen dan konektivitas yang dibagi menjadi tiga bagian utama: input, proses, dan output sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



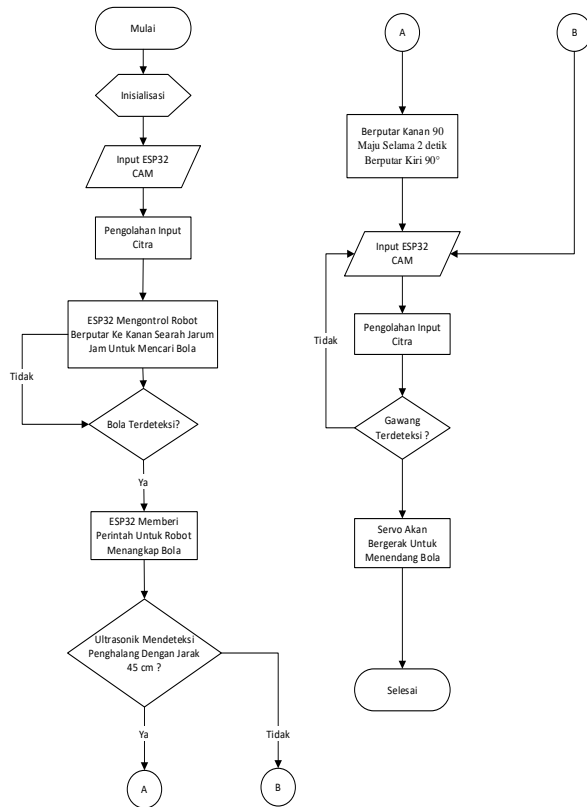
Gambar 2. Blok Diagram

Bagian input terdiri dari push button sebagai pemicu sistem, modul ESP32-CAM sebagai sensor visi, sensor ultrasonik HC-SR04 untuk deteksi jarak, serta sensor warna TCS3200. Seluruh data masukan tersebut diproses oleh mikrokontroler ESP32 sebagai unit kendali pusat. Pada bagian output, ESP32 mengirimkan instruksi ke driver motor L298N untuk menggerakkan dua buah motor DC sebagai penggerak roda, serta mengontrol sebuah motor servo untuk mekanisme tendangan bola. Kebutuhan daya sistem dihitung untuk memastikan stabilitas operasional menggunakan persamaan daya listrik. Berikut adalah rumus untuk perhitungan supply menggunakan persamaan daya listrik berdasarkan [8]:

$$P = V \times I \quad (1)$$

Berdasarkan spesifikasi komponen, sistem ini mengonsumsi arus total sebesar 1,0964 Ampere dengan total daya 5,3507 Watt. Hal ini menjadi dasar dalam pemilihan kapasitas baterai agar robot dapat beroperasi dalam durasi yang ditentukan.

Berikut ini adalah *flowchart* yang menjelaskan tahapan proses secara terperinci mengenaigambaran lebih jelas alur kerja system.



Gambar 3. Diagram Alur Sistem

Sistem dimulai dengan tahap inisialisasi dan pengambilan input citra melalui ESP32-CAM, yang kemudian diolah untuk mendeteksi keberadaan bola; jika bola tidak terdeteksi, robot akan terus berputar ke kanan searah jarum jam untuk melakukan pencarian. Proses pendeteksian objek bola dan gawang diimplementasikan menggunakan algoritma Deep Learning YOLOv8. Penerapan metode ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang membuktikan keandalannya dalam mendeteksi dan melacak dua objek berbeda secara simultan, yang dalam konteks sistem ini adalah pengenalan bola dan gawang secara *real-time* [9]. Arsitektur ini dipilih karena bobot komputasinya yang ringan dan dirancang menggunakan model bebas jangkar (*anchor-free*), sehingga memiliki efisiensi yang sangat baik untuk mengeksekusi tugas visi komputer secara real-time pada sistem robotika [10]. Pada tahap pelatihan, parameter ukuran citra diatur pada 320x320 piksel untuk meminimalkan beban komputasi saat inferensi. Selanjutnya, pelatihan dilakukan dengan menetapkan jumlah epoch sebanyak 100 dan batch size 16. Parameter ini dipilih sebagai konfigurasi optimal untuk menyeimbangkan

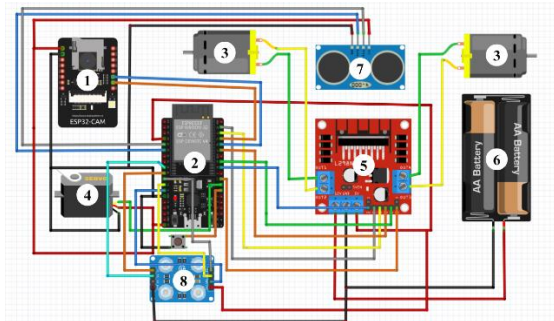
antara kecepatan pelatihan dan pencapaian tingkat akurasi (mAP) yang memadai bagi sistem. Dataset dalam penelitian ini terdiri dari 404 citra yang memuat objek bola dan gawang. Jumlah dataset ini dipilih berdasarkan pertimbangan keterwakilan variasi kondisi lapangan, seperti perbedaan intensitas cahaya, sudut pandang kamera (angle), dan jarak objek. Selain itu, kuantitas dataset ini dinilai cukup representatif untuk mencapai tingkat konvergensi (convergence) pada saat pelatihan model tanpa memicu kondisi overfitting, terutama setelah dipadukan dengan teknik augmentasi data. Begitu bola terdeteksi, ESP32 memberikan perintah kepada robot untuk menangkap bola, dibarengi dengan pemantauan sensor ultrasonik untuk mendeteksi penghalang dalam jarak 45 cm. Jika terdapat penghalang, robot akan melakukan manuver menghindari dengan berputar kanan 90°, maju selama 2 detik, lalu berputar kiri 90° sebelum kembali memproses input citra untuk mencari gawang. Namun, jika tidak ada penghalang, robot langsung beralih ke tahap pencarian gawang melalui pengolahan citra hingga target ditemukan. Alur kerja ini diakhiri dengan aktivasi servo untuk menendang bola ke arah gawang setelah target terkonfirmasi, menandakan selesainya siklus tugas robot.

2.2 Rancangan Hardware

Sistem penggerak utama robot menggunakan Motor DC yang berfungsi mengubah energi listrik menjadi energi kinetik berupa putaran roda [11]. Sementara itu, mekanisme aktuator penendang menggunakan Motor Servo yang dikendalikan melalui pengaturan siklus kerja (duty cycle) dari sinyal Pulse Width Modulation (PWM) untuk mengatur sudut dan arah gerakannya secara presisi [12].

Sebagai sistem navigasi dasar, robot dilengkapi sensor ultrasonik HC-SR04 yang bekerja dengan mengemisikan gelombang ultrasonik pada frekuensi 40 KHz untuk mendeteksi dan mengukur jarak rintangan [13]. Selain itu, untuk menjaga agar robot tidak keluar dari area permainan, digunakan sensor warna TCS3200. Sensor ini mampu mengenali warna RGB suatu objek dengan tingkat akurasi mencapai 99,96% melalui proses konversi cahaya yang diterima menjadi frekuensi sinyal digital untuk diproses oleh mikrokontroler [14]. Integrasi antara sensor warna TCS3200 dan sensor ultrasonik HC-SR04 telah terbukti efektif diimplementasikan pada purwarupa robot otonom untuk keperluan deteksi objek

spesifik sekaligus navigasi rintangan, sehingga sangat relevan untuk sistem pengenalan lapangan permainan pada penelitian ini [15].



Gambar 4. Wiring Sistem

Wiring sistem pada robot ini mengintegrasikan berbagai komponen yang dapat diuraikan secara berurutan. Sebagai pusat pengolahan visual, ESP32-CAM (1) berfungsi khusus untuk pemrosesan citra. Sementara itu, mikrokontroler utama, yaitu ESP32 DevKit (2), bertugas menangani keseluruhan logika pergerakan dan pembacaan sensor. Sebagai aktuator penggerak roda, robot menggunakan dua buah Motor DC (3). Selain itu, untuk manipulasi fisik, sebuah Motor Servo (4) dihubungkan ke pin 18 ESP32 guna menggerakkan mekanisme penendang bola. Agar arah putaran dan kecepatan Motor DC dapat diatur oleh mikrokontroler, sistem dihubungkan melalui Driver Motor L298N (5). Seluruh rangkaian kelistrikan ini disuplai oleh Baterai (6) sebagai sumber daya utama, di mana tegangannya didistribusikan melalui regulator pada driver motor untuk menjaga kestabilan daya tiap modul. Terakhir, sebagai penyedia data lingkungan, sistem dilengkapi dengan Sensor Ultrasonik (7) untuk mendeteksi halangan serta Sensor Warna (8) untuk memastikan robot tetap berada di dalam area lapangan, di mana kedua sensor tersebut mengirimkan sinyal masukan ke pin digital ESP32.

2.3 Sumber Data

Analisis sumber data dalam penelitian ini dilakukan dengan menerapkan metode 5W1H untuk menguraikan objek penelitian secara terukur, di mana subjek utamanya adalah data visual berupa citra digital serta data telemetri dari sensor ultrasonik dan warna. Data tersebut dikumpulkan dan

diproses secara mandiri oleh mikrokontroler ESP32-CAM dan ESP32 DevKit untuk memberikan kemampuan otonom kepada robot dalam mengenali target dan menghindari rintangan. Pengambilan data dilakukan secara real-time pada lingkungan lapangan robot soccer di laboratorium Politeknik Negeri Pontianak yang memiliki karakteristik pencahayaan khusus. Proses analisis dilakukan melalui integrasi algoritma pengolahan citra untuk deteksi objek serta konversi sinyal analog dari sensor menjadi instruksi digital, yang kemudian digunakan untuk menggerakkan motor DC dan servo sebagai respons mekanik robot terhadap lingkungannya.

2.4 Pengumpulan Data

Data kontrol robot soccer diperoleh menggunakan metode sebagai berikut:

1. Observasi dilakukan dengan mengamati secara langsung proses kerja dari sistem kendali robot selama tahap implementasi dan pengujian. Peneliti mencatat respon data visual dari ESP32-CAM dalam mendeteksi bola serta akurasi pembacaan jarak dari sensor ultrasonik dan deteksi garis dari sensor warna. Hal ini membantu peneliti dalam memahami efektivitas algoritma pergerakan robot terhadap kondisi lingkungan lapangan secara aktual.
2. Studi dokumentasi dilakukan untuk memperoleh datasheet modul ESP32-CAM, ESP32 DevKit V4, driver motor L298N, sensor ultrasonik, dan sensor warna. Selain itu, dilakukan pengumpulan referensi kode program serta pustaka pendukung untuk pengolahan citra dan kendali motor yang digunakan sebagai data primer guna memperkuat analisa penelitian dengan sumber data yang terpercaya dan aktual.

2.5 Analisa Data

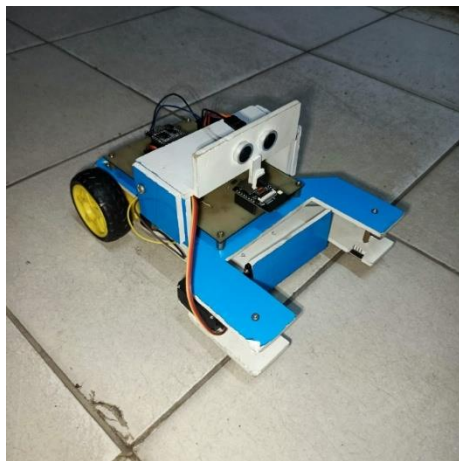
Analisa data dalam penelitian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif dan kuantitatif, yaitu dengan mendeskripsikan hasil percobaan sistem kontrol robot soccer berdasarkan observasi langsung dan pengujian fungsional selama tahap implementasi. Adapun analisa yang mencakup 3 bagian utama adalah sebagai berikut:

1. Akurasi Deteksi Objek dianalisa dengan mengamati kemampuan ESP32-CAM dalam mengenali bola dan gawang menggunakan algoritma YOLO. Analisa dilakukan dengan membandingkan hasil deteksi pada frame

- kamera terhadap kondisi objek asli di lapangan pada berbagai intensitas cahaya.
2. Kinerja Perangkat Keras dianalisa dengan mengamati respon pergerakan motor DC melalui driver L298N dan pergerakan servo penendang. Analisa ini mencakup keberhasilan robot dalam mengeksekusi instruksi berbelok, maju, dan menendang bola sesuai dengan logika rule-base yang telah diprogram pada ESP32.
 3. Responsivitas Sistem diukur dari kemampuan sensor ultrasonik dalam mendeteksi penghalang dalam jarak 45 cm dan kemampuan sensor warna dalam mendeteksi garis batas lapangan. Kecepatan sistem dalam mengambil keputusan (seperti manuver menghindari) dianalisa berdasarkan ketepatan waktu respon perangkat mekanik setelah sensor menerima input.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Realisasi fisik dari rancangan bangun robot soccer ditampilkan pada Gambar 5. Proses fabrikasi alat ini meliputi pembuatan kerangka mekanik (chassis) dan perakitan sistem elektronik. Kerangka robot dibuat menggunakan bahan PVC Foam yang dipotong sesuai dengan desain dimensi yang telah dirancang. Bentuk chassis bagian depan didesain menyerupai huruf "U" yang berfungsi sebagai mekanisme penangkap bola.



Gambar 5. Hasil Rancang Bangun Robot

3.1. Pengujian Kecepatan Gerak Robot

Pengujian ini dilakukan untuk mengukur performa motor DC dalam memindahkan robot dari satu titik ke titik lain pada lintasan lurus. Pengukuran waktu dilakukan menggunakan stopwatch dengan jarak tempuh yang tetap, yaitu 180 cm. Data

ini penting untuk mengetahui kecepatan rata-rata robot dalam mengejar bola.

TABEL I. DATA PENGUJIAN KECEPATAN

No	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Kecepatan (cm/detik)
1	180	5.42	33.21
2	180	5.44	33.08
3	180	5.97	30.15
4	180	5.31	33.89
5	180	5.79	31.08
6	180	5.88	30.61
7	180	6.20	29.03
8	180	6.66	27.02
9	180	6.50	27.69
10	180	5.93	30.35

Berdasarkan data pengujian pada Tabel 1 robot menunjukkan kemampuan gerak yang stabil pada lintasan sejauh 180 cm dengan variasi waktu tempuh antara 5 hingga 6 detik. Hasil pengukuran memperlihatkan kecepatan tertinggi mencapai 33,89 cm/detik, sedangkan penurunan kecepatan yang terjadi pada percobaan nomor 8 hingga menyentuh 27,02 cm/detik disebabkan oleh penurunan tegangan baterai akibat beban kerja motor yang terus-menerus, jalan robot yang tidak lurus sempurna, dan medan atau lantai yang tidak rata.

3.2. Pengujian Deteksi Objek

Pengujian ini bertujuan untuk memvalidasi kemampuan algoritma YOLO dalam mengenali objek bola dan gawang. Data diambil berdasarkan log inferensi sistem untuk melihat confidence score (tingkat keyakinan) dan waktu yang dibutuhkan untuk mendeteksi objek.



Gambar 6. Pengujian Deteksi Bola



Gambar 7. Pengujian Deteksi Gawang

Adapun hasil rekapitulasi data dari seluruh percobaan deteksi objek dengan variasi jarak serta performa waktu inferensinya disajikan pada Tabel 2 berikut:

TABEL II. DATA PENGUJIAN DETEKSI OBJEK

No	Objek	Jarak (cm)	Confidence Score	Waktu (detik)
1	Bola	15	0.75	3.01
2	Bola	30	0.48	4.93
3	Bola	45	0.52	3.48
4	Bola	60	0.32	2.27
5	Bola	75	0.4	4.61
6	Gawang	20	0.68	2
7	Gawang	40	0.58	2.11
8	Gawang	60	0.54	1.53
9	Gawang	80	0.31	3.39
10	Gawang	100	0.27	2.85

Berdasarkan data pada Tabel 2, sistem mampu mengenali objek bola dan gawang dengan rentang confidence score antara 0,27 hingga 0,75. Namun, pengujian mencatat bahwa waktu yang dibutuhkan kamera untuk mendeteksi objek cukup lama, bervariasi antara 1,53 detik hingga 4,93 detik. Tingginya durasi ini dikarenakan adanya kendala latensi komunikasi data yang signifikan antara mikrokontroler dan perangkat komputasi eksternal. Latensi ini terjadi sebagai akibat dari penggunaan arsitektur komputasi off-board, di mana video streaming harus ditransmisikan secara terus-menerus dari modul ESP32-CAM ke laptop melalui jaringan Wi-Fi. Keterbatasan bandwidth serta kemampuan pemrosesan modul Wi-Fi internal ESP32 dalam mengirimkan frame gambar menyebabkan terjadinya penumpukan data (bottleneck), sehingga visual yang diterima mikrokontroler mengalami keterlambatan dibandingkan kondisi real-time. Akibatnya,

proses pendeteksian objek sering kali terputus-putus atau tidak stabil, terutama saat objek bergerak. Ketidakefektifan ini tidak hanya disebabkan oleh keterbatasan perangkat keras, tetapi juga dipengaruhi oleh jumlah dataset pelatihan yang masih sedikit, sehingga model membutuhkan waktu lebih lama untuk memverifikasi objek sebelum menampilkannya sebagai hasil deteksi.

Meskipun model YOLO berhasil diimplementasikan, latensi inferensi yang berkisar antara 1,53 hingga 4,93 detik menunjukkan adanya *bottleneck* komputasi pada arsitektur perangkat keras. Secara teoretis, mikrokontroler ESP32-CAM tidak dilengkapi dengan *Neural Processing Unit* (NPU) khusus seperti yang umumnya terdapat pada *Single Board Computer* (SBC). Akibatnya, seluruh beban operasi matriks dari algoritma *deep learning* ditanggung oleh prosesor utama dan keterbatasan SRAM. Kondisi ini sejalan dengan penelitian [2] yang menegaskan bahwa penerapan Computer Vision pada perangkat *Ultra-Low Power* (ULP) akan selalu menghadapi *trade-off* antara kecepatan *frame rate* dan efisiensi daya. Namun, pencapaian *confidence score* hingga 0,75 membuktikan bahwa pemampatan model ke mikrokontroler ini sudah sangat optimal untuk mengenali objek dasar tanpa harus bergantung pada *cloud computing*.

3.3. Pengujian Respon Menghindar Rintangan

Pengujian responsivitas sensor ultrasonik dilakukan dengan menempatkan penghalang yang berukuran 24 cm x 19 cm di depan robot. Tujuannya adalah memastikan robot mampu mengambil keputusan untuk menghindari ketika jarak objek berada di bawah 45 cm.

TABEL III. DATA MENGHINDAR RINTANGAN

No	Waktu (detik)	Status	Keterangan
1	4.25	Berhasil	Robot berputar ke kanan melebihi 90°
2	4.01	Berhasil	Robot berputar ke kanan kelebihan sedikit dari 90°
3	3.34	Berhasil	Robot berputar ke kanan melebihi 90°
4	3.57	Gagal	Robot menabrak objek setelah menjalankan algoritma penghindaran

5	3.04	Berhasil	Robot berputar ke kanan kelebihan sedikit dari 90°
6	2.72	Gagal	Robot berputar ke kiri melebihi 90°,kemudian robot menabrak objek
7	3.46	Berhasil	Robot berputar ke kanan melebihi 90°
8	2.73	Berhasil	Robot berhasil melewati rintangan sesuai algoritma
9	3.35	Berhasil	Saat robot berputar ke kiri tidak sampai 90°
10	3.28	Berhasil	Robot berputar ke kanan melebihi 90°

Berdasarkan data pengujian pada Tabel 3, robot berhasil melakukan manuver penghindaran rintangan sebesar 80% dari total 10 percobaan dengan waktu respon berkisar antara 2,73 detik hingga 4,25 detik. Secara algoritma, robot diprogram untuk merespons halangan dengan urutan logika gerak: berputar ke kanan, maju sesaat untuk melewati celah, kemudian berputar kembali ke kiri untuk kembali ke jalur semula. Namun, eksekusi manuver ini sepenuhnya dikendalikan menggunakan fungsi jeda waktu (delay) tanpa adanya umpan balik (feedback) dari sensor posisi. Kelemahan metode berbasis delay ini menyebabkan sudut putar robot menjadi tidak konsisten, di mana hasil putaran sangat bergantung pada kondisi tegangan baterai dan gesekan roda terhadap lantai. Akibatnya, seperti terlihat pada keterangan tabel, robot sering kali berputar berlebihan (melebihi 90°) atau justru kurang dari target, yang menjadi penyebab utama kegagalan pada percobaan ke-4 dan ke-6 di mana robot menabrak objek karena orientasi arah yang tidak presisi.

3.4. Pengujian Mekanisme Penendang

Pengujian ini dilakukan untuk melihat efektivitas motor servo dalam mengeksekusi tendangan. Robot diposisikan pada jarak tertentu dari gawang, kemudian sistem penendang diaktifkan untuk melihat apakah bola berhasil masuk ke gawang atau meleset.

TABEL IV. DATA AKURASI TENDANGAN

No	Jarak Tendangan (cm)	Status
1	3.3	Gagal

2	4.3	Gagal
3	3.8	Gagal
4	2.9	Gagal
5	4.1	Gagal
6	3.5	Gagal
7	2.5	Gagal
8	3.2	Gagal
9	3.9	Gagal
10	3.6	Gagal

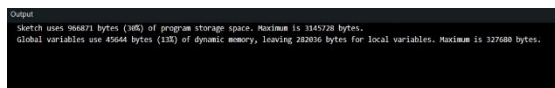
Berdasarkan data hasil pengujian pada Tabel 4, mekanisme penendang robot menunjukkan performa yang tidak optimal dalam mengeksekusi tendangan ke arah gawang. Dari 10 kali percobaan yang dilakukan, robot gagal mencetak gol sama sekali dengan jarak lontaran bola yang sangat pendek, berkisar antara 2,5 cm hingga 4,3 cm dari posisi awal. Kegagalan ini disebabkan oleh keterbatasan kecepatan motor servo yang digunakan. Meskipun servo telah diprogram untuk bergerak pada kecepatan maksimumnya, momentum yang dihasilkan lengan penendang tidak cukup besar untuk memberikan gaya dorong yang kuat pada bola. Akibatnya, bola hanya bergeser sedikit dan tidak memiliki tenaga yang cukup untuk meluncur masuk ke dalam gawang.

Terkait belum optimalnya mekanisme penendang, hal ini secara mekanis berkaitan erat dengan karakteristik aktuator yang diaplikasikan. Motor servo 360 derajat yang digunakan pada sistem ini memiliki keterbatasan dalam menghasilkan hentakan torsi seketika. Keterbatasan ini sejalan dengan temuan penelitian [1] yang juga mengimplementasikan aktuator motor servo pada purwarupa robot sepak bola beroda, di mana gaya impuls yang dihasilkan terbukti tidak mampu melontarkan bola lebih dari jarak 1,5 meter. Dalam teori mekanika robotika kompetitif, mekanisme penendang yang efektif umumnya membutuhkan akumulasi energi potensial seperti sistem aktuator solenoid atau pegas terkompresi untuk menghasilkan gaya dorong yang besar. Fakta ini mengonfirmasi bahwa penggunaan aktuator *direct drive* putar memerlukan rasio roda gigi tambahan atau pembaruan arsitektur mekanis agar daya tendang dapat memenuhi standar kompetisi.

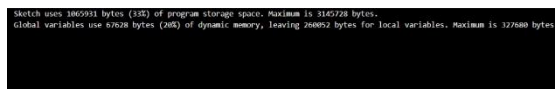
3.5. Penggunaan Memori

Pengujian ini membandingkan konsumsi memori perangkat yang digunakan pada tiga

skenario program yang berbeda. Data penggunaan memori untuk ESP32 dan ESP32-CAM diperoleh melalui compiler output pada perangkat lunak Arduino IDE, yang menunjukkan alokasi memori yang terpakai. Sementara itu, data konsumsi memori algoritma YOLO diperoleh melalui pemantauan sistem memori perangkat laptop saat proses inferensi deteksi objek sedang berlangsung. Data ini digunakan untuk mengevaluasi ketersediaan memori serta memvalidasi alasan penggunaan arsitektur off-board processing.



Gambar 8. Penggunaan Memori EPS32



Gambar 9. Penggunaan Memori ESP32-CAM



Gambar 10. Penggunaan Memori Laptop

Berdasarkan tangkapan layar hasil pengukuran pada Gambar 8, Gambar 9, dan Gambar 10 di atas, rekapitulasi data perbandingan konsumsi memori dari ketiga skenario program pada masing-masing perangkat disajikan secara rinci pada Tabel 5 berikut:

TABEL V. DATA PENGGUNAAN MEMORI

No	Program	Perangkat	Kapasitas Memori	Memori Yang Terpakai
1	Program Sistem	ESP32	327680 bytes	45644 bytes
2	Streaming Kamera	ESP32 CAM	327680 bytes	67628 bytes
3	Algoritma YOLO	Laptop	8GB	336.85 MB

Berdasarkan data pada Tabel 5, terdapat perbedaan yang sangat timpang antara ketersediaan memori mikrokontroler dengan kebutuhan memori algoritma kecerdasan buatan. Program sistem kendali pada ESP32 hanya menggunakan memori sebesar 45.644 bytes, dan program streaming kamera pada ESP32-CAM memakan 67.628 bytes. Sebaliknya, algoritma YOLOv8 menuntut alokasi memori memori yang masif, yakni mencapai 336,85 MB. Informasi pada tabel ini secara teknis membuktikan bahwa mikrokontroler ESP32-CAM sama sekali tidak memiliki sumber daya komputasi yang memadai untuk memuat dan menjalankan model Deep Learning secara on-board. Kebutuhan memori YOLO yang mencapai ribuan kali lipat lebih besar dari kapasitas mikrokontroler ini menjadi alasan mutlak mengapa pemrosesan visi harus dieksekusi pada perangkat eksternal.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan alat, serta pengujian dan analisis data yang telah dilakukan terhadap robot soccer beroda, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Telah berhasil dirancang dan dibangun sistem mekanik serta elektronik robot soccer beroda yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32. Hasil pengujian gerak pada lintasan lurus menunjukkan bahwa robot memiliki performa mobilitas yang stabil dengan kecepatan rata-rata mencapai 30,35 cm/detik hingga 33,89 cm/detik. Walaupun adanya penurunan performa kecepatan, namun secara umum sistem penggerak (motor DC) mampu membawa robot bermanuver di lapangan.
2. Implementasi algoritma YOLO (You Only Look Once) mampu mengenali objek target berupa bola dan gawang. Berdasarkan data pengujian deteksi, model mampu memberikan confidence score dengan rentang 0.27 hingga 0.75. Namun, implementasi pada perangkat ESP32-CAM menghadapi kendala latensi, di mana waktu yang dibutuhkan untuk kamera mendeteksi objek antara 1.53 detik hingga 4.93

detik, yang mempengaruhi responsivitas sistem dalam kondisi real-time.

3. Algoritma kendali gerak otonom telah dirancang untuk mengolah data masukan dari sensor ultrasonik dan kamera. Logika menghindari rintangan berhasil menghindari halangan dengan tingkat keberhasilan 80%, meskipun konsistensi sudut putar masih terkendala oleh penggunaan metode delay tanpa umpan balik. Mekanisme penendang bola menggunakan motor servo dinyatakan gagal mencetak gol. Kecepatan sudut servo yang terbatas hanya mampu melontarkan bola sejauh 2,5 cm hingga 4,3 cm, sehingga tidak memiliki momentum yang cukup untuk memasukkan bola ke gawang. Respons robot dalam mengejar bola mengalami keterlambatan signifikan akibat lag pada pemrosesan kamera, yang menyebabkan pergerakan robot menjadi terputus-putus melewati objek sebelum diberi perintah.

Berdasarkan hasil pengujian dan kendala yang dihadapi selama proses penelitian, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan bagi peneliti selanjutnya yang ingin mengembangkan robot soccer otonom ini agar performanya lebih optimal:

1. Mengingat kapasitas memori ESP32-CAM sangat terbatas dan terbukti tidak memadai untuk memuat model Deep Learning seperti YOLO secara on-board, disarankan bagi penelitian selanjutnya untuk mengganti otak pemrosesan visual menggunakan Single Board Computer (SBC). Penggunaan SBC seperti Raspberry Pi 4 atau NVIDIA Jetson Nano direkomendasikan karena perangkat tersebut memiliki kapasitas memori RAM yang besar (mulai dari 2 GB hingga 8 GB) serta mampu menjalankan sistem operasi secara mandiri. Hal ini mutlak diperlukan untuk mengeksekusi komputasi algoritma YOLO secara langsung di dalam robot, sehingga masalah latensi akibat streaming via Wi-Fi dapat dihilangkan dan deteksi objek real-time dapat tercapai.
2. Motor servo standar terbukti tidak efektif untuk menendang bola.

Disarankan untuk mengganti aktuator penendang menggunakan Solenoid atau motor DC high-torque dengan mekanisme pegas/tuas untuk menghasilkan gaya dorong yang jauh lebih kuat dan instan.

3. Untuk meningkatkan confidence score dan akurasi deteksi pada berbagai kondisi lapangan, disarankan untuk memperbanyak jumlah dataset dengan variasi pencahayaan (terang dan redup) serta sudut pengambilan gambar yang lebih beragam.
4. Penelitian selanjutnya dapat menambahkan mekanisme pendribel bola agar penguasaan bola lebih baik saat robot bergerak, serta mengembangkan sistem komunikasi antar-robot untuk mendukung strategi permainan tim (multi-agent system) yang tidak dicakup dalam penelitian ini.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penyelesaian penyusunan penelitian ini tidak lepas dari peran serta berbagai pihak yang telah memberikan bantuan teknis maupun dorongan moril. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa syukur dan terima kasih yang mendalam kepada ayah dan ibu atas segala doa, semangat, dan dukungan tiada henti hingga karya tulis ini rampung. Apresiasi setinggi-tingginya juga ditujukan kepada almamater tercinta, Politeknik Negeri Pontianak, atas penyediaan fasilitas dan iklim akademis yang sangat kondusif. Penulis turut berterima kasih kepada jajaran dosen pembimbing dan penguji atas segala bimbingan, kritik membangun, dan saran yang sangat bernilai demi kesempurnaan riset ini. Akhir kata, ucapan terima kasih disampaikan kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi secara langsung maupun tidak langsung. Penulis berdoa agar segala kebaikan yang telah diberikan mendapat ganjaran setimpal dari Tuhan Yang Maha Esa.

Daftar pustaka

- [1] J. Afridho, A. Riyanto, Satriyo, M. R. Sufandi, and W. I. Rahayu, "Rancang Bangun Robot Sepak Bola Beroda Menggunakan Kamera Huskylens," 2024, doi: 10.58466/entries.

- [2] D. Suryawan, "RANCANG BANGUN ROBOT SEPAK BOLA BERBASIS ANDROID," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 9, no. 1, p. 57, Jul. 2020, doi: 10.22441/jtm.v9i1.7992.
- [3] F. Dzil, Agus Khumaidi, Mohammad Basuki Rahmat, Joko Endrasmono⁴, Mat Syai'in, and Dimas Pristovani Riananda, "Deteksi Objek di Lapangan pada Robot Sepakbola Beroda Menggunakan Metode YOLOV5," *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, vol. 11, no. 2, pp. 604–611, Jul. 2024, doi: 10.33795/elkolind.v11i2.5235.
- [4] Y. Galahartlambang, T. Khotiah, Z. Fanani, M. Bastian, and D. Rahmat, "PENGENALAN PLAT NOMOR KENDARAAN REAL-TIME PADA KONDISI GELAP DAN HUJAN MENGGUNAKAN DEEP LEARNING," 2025. [Online]. Available: <http://e-journal.stmiklombok.ac.id/index.php/jire> eISSN.2620-6900
- [5] Muslihati, S. Sahibu, and I. Taufik, "Implementasi Algoritma Convolutional Neural Network untuk Klasifikasi Jenis Sampah Organik dan Non Organik," vol. 4, no. 3, pp. 840–852, 2024, doi: 10.57152/malcom.v7i2.1346.
- [6] A. Yudistira and N. Rusyda Saufa, "RANCANG BANGUN MONITORING DAN KEAMANAN SMARTHOME BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT)," 2025, doi: 10.58466/entries.
- [7] M. A. Sobri and H. Suhendi, "SISTEM FEEDER DAN MONITORING IKAN HIAS BERBASIS IOT MENGGUNAKAN ESP32." [Online]. Available: <http://e-journal.stmiklombok.ac.id/index.php/jire>
- [8] Mohamad Ramdhani, *Rangkaian Listrik*. Jakarta: Erlangga, 2008.
- [9] W. Muldayani *et al.*, "IMPLEMENTASI SISTEM OBJECT TRACKING UNTUK MENDETEKSI DUA OBJEK BERBASIS DEEP LEARNING," *Jurnal SIMETRIS*, vol. 14, no. 1, 2023.
- [10] J. Terven, D. M. Córdoba-Esparza, and J. A. Romero-González, "A Comprehensive Review of YOLO Architectures in Computer Vision: From YOLOv1 to YOLOv8 and YOLO-NAS," Dec. 01, 2023, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/make5040083.
- [11] S. T. Aprilyani, I. Irianto, and E. Sunarno, "Desain dan Komparasi Kontrol Kecepatan Motor DC," *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)*, vol. 7, no. 2, pp. 127–134, Oct. 2020, doi: 10.33019/jurnalecotipe.v7i2.1886.
- [12] I. P. Nasution, U. A. Ahmad, and W. P. Tresna, "Karakterisasi Putaran Motor Servo Jangkauan Setengah Bola Untuk Mendukung Pelontar peluru Berbasis Pneumatic," 2023.
- [13] F. Anggoro, K. Rohadi, E. Merita Indrawati, K. Rahayu Tri Prasetyo Sari, and A. Suwardono, "ALAT PEMOTONG BAWANG MERAH OTOMATIS YANG BERBASIS ARDUINO UNO DAN SENSOR ULTRASONIK," *Jurnal Nusantara Of Engineering*, vol. 7, no. 2, 2024, [Online]. Available: <https://ojs.unpkediri.ac.id/index.php/noe>
- [14] Y. Andrian, "ROBOT PENYORTIR BENDA BERDASARKAN WARNA MENGGUNAKAN SENSOR WARNA TCS3200."
- [15] D. Juliansyah and D. Yohannes Dewanto, "Prototype Robot Pensortir Kemasan Obat Berdasarkan Warna RGB Pada Warna Kemasan Obat Menggunakan Sensor TCS-3200 Dan HC-SR04."