



## **PROPOSAL**

# **OPTIMASI GERAKAN ROBOT SEPAK BOLA MENGUNAKAN KALMAN FILTER PADA DETEKSI BOLA BERBASIS YOLO**

Oleh:

**FIKRI RIVANDI**  
2207112583

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA S1  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS RIAU  
2025**

## DAFTAR ISI

<b>COVER .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>v</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	4
1.3. Tujuan Penelitian .....	4
1.4. Batasan Masalah.....	5
1.5. Manfaat Penelitian .....	5
1.6. Sistematika Penulisan .....	6
<b>BAB II LANDASAN TEORI .....</b>	<b>7</b>
2.1. Penelitian Terdahulu .....	7
2.2. Kompetisi Robot Sepak Bola Beroda Indonesia.....	14
2.3. Robot Sepak Bola Beroda .....	14
2.4. Bola dan Gawang .....	15
2.5. OpenCV .....	15
2.6. <i>Machine Learning</i> .....	16
2.7. <i>You Only Look Once (YOLO)</i> .....	16
3.9.1. <i>Original YOLO</i> .....	18
3.9.2. <i>YOLO-v2/9000</i> .....	18
3.9.3. <i>YOLO-v3</i> .....	19

3.9.4.	YOLO-v4 .....	19
3.9.5.	YOLO-v5 .....	19
3.9.6.	YOLO-v6 .....	20
3.9.7.	YOLO-v7 .....	20
3.9.8.	YOLO-v8 .....	20
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>22</b>
3.1.	Kerangka Pikiran.....	22
3.2.	Studi Literatur .....	22
3.3.	Identifikasi Masalah .....	23
3.4.	Pengumpulan Data Objek Bola dan Gawang.....	23
3.5.	<i>Preprocessing</i> Data .....	24
3.6.	Pelatihan.....	25
3.7.	Pengujian Data Uji .....	25
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>27</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.6. Arsitektur sederhana YOLO (Carolina & Lina, 2023).....	17
Gambar 2.7. Arsitektur YOLOv1 (Hussain, 2023) .....	18
Gambar 2.8. Perbandingan YOLO-v8 (Hussain, 2023).....	21
Gambar 3.1. Kerangka Pikiran Penelitian.....	22
Gambar 3.3. Contoh gambar gawang menggunakan kamera <i>omnidirectional</i> .....	24
Gambar 3.4. Proses <i>labelling</i> menggunakan <i>labellmg</i> .....	25

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Penelitian terdahulu.....	11
Tabel 3.1 <i>Confusion Matrix</i> .....	26

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Perkembangan teknologi di era modern telah memberikan dampak signifikan pada berbagai aspek kehidupan manusia. Salah satu bidang yang mengalami kemajuan pesat adalah teknologi kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/AI*) dan pembelajaran mesin (*machine learning*). Teknologi ini memungkinkan sistem komputer tidak hanya melakukan perhitungan, tetapi juga belajar dari data, mengenali pola, serta mengambil keputusan secara mandiri.

Salah satu cabang dari AI yang banyak dimanfaatkan adalah *computer vision*, yaitu teknologi yang memungkinkan komputer menangkap gambar, memahami dan menginterpretasikan informasi visual dari dunia nyata. Perkembangan *deep learning*, khususnya melalui *Convolutional Neural Network* (CNN), telah meningkatkan kemampuan sistem dalam melakukan deteksi objek secara akurat, bahkan dalam kondisi lingkungan yang kompleks.

Kemajuan teknologi ini membuka peluang besar dalam pengembangan robotika, yang merupakan bidang ilmu interdisipliner melibatkan elektronika, mekanika, dan ilmu komputer. Robotika modern tidak lagi terbatas pada sekadar otomasi sederhana, melainkan sudah mampu mengambil keputusan berbasis data visual melalui integrasi AI. Salah satu implementasi nyata robotika yang mendapat perhatian khusus adalah robot sepak bola, khususnya dalam Kontes Robot Sepak Bola Indonesia (KRSBI) Beroda.

Universitas Riau memiliki klub robotika bernama *Electrical Robotic Club* (ERC) yang berfokus pada pengembangan robot KRSBI Beroda. Pada tahun 2021 dan 2022, tim ERC UNRI berhasil mencapai tingkat nasional, yang menjadi pencapaian signifikan dalam sejarah keikutsertaannya di KRSBI Beroda. Sejak berpartisipasi pertama kali pada tahun 2019, ERC UNRI telah mengalami berbagai perkembangan signifikan, baik dalam aspek perangkat keras maupun perangkat lunak. Namun, perubahan regulasi sejak tahun 2023 membuat tim harus melakukan penyesuaian ulang agar robot tetap kompetitif dan relevan.

Dalam pertandingan KRSBI Beroda, kemampuan deteksi bola dan gawang menjadi faktor yang sangat krusial. Awalnya, metode deteksi objek berbasis HSV (*Hue, Saturation, Value*) digunakan karena ringan dan dapat berjalan *real-time*. Namun, kelemahan utama metode ini adalah ketergantungannya pada kondisi pencahayaan, sehingga akurasi deteksi menjadi tidak stabil dalam situasi lapangan yang dinamis.

Seiring perkembangan teknologi, metode *deep learning*, khususnya YOLO (*You Only Look Once*), mulai diterapkan untuk meningkatkan akurasi deteksi objek. YOLO menggunakan *single neural network* yang dapat mendeteksi beberapa objek yang terdapat pada suatu gambar secara *real-time*, YOLO secara langsung membagi gambar ke dalam grid dan memprediksi lokasi serta kelas objek dalam satu proses komputasi (F. B. Saputra et al., 2023). Hal ini membuat YOLO mampu mendeteksi objek secara *real-time* dengan akurasi tinggi.

Namun, meskipun akurat dan cepat dalam teori, penerapan YOLO pada perangkat dengan keterbatasan sumber daya, seperti robot KRSBI Beroda, menghadapi tantangan tersendiri. Model YOLO, seperti YOLOv8, membutuhkan kapasitas komputasi yang cukup tinggi untuk dapat berjalan optimal. Hal ini mencakup kebutuhan prosesor yang kuat, memori yang besar, dan sering kali dukungan GPU agar proses inferensi bisa berjalan lancar.

Keterbatasan perangkat keras pada robot menyebabkan YOLO terkadang tidak dapat bekerja pada *frame rate* yang stabil. Penurunan performa ini berdampak pada keterlambatan informasi posisi bola yang diterima robot. Dengan kata lain, meskipun YOLO sangat efektif dalam menghasilkan deteksi yang akurat, efisiensinya menjadi kurang optimal pada perangkat dengan daya komputasi terbatas, sehingga menimbulkan masalah baru berupa pergerakan robot yang terlambat atau tidak stabil saat mengikuti posisi bola.

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa metode YOLO adalah salah satu cara efektif dalam *object detection*, tapi tidak cukup efisien untuk sumber daya perangkat keras yang digunakan, karena membutuhkan kapasitas komputasi yang mumpuni (Miharja et al., 2025). Pada penelitian lainnya juga menyebutkan bahwa menggunakan perangkat *Single Board Computer* berkinerja tinggi, seperti

NVIDIA Jetson Series, juga perlu dipertimbangkan untuk meningkatkan kecepatan deteksi (FPS) guna mencapai performa *real-time* yang lebih optimal (Firdaus & Lelono, 2025).

Untuk menjawab tantangan tersebut, penelitian ini mengusulkan penggunaan Kalman Filter pada hasil deteksi bola berbasis YOLO. Kalman Filter merupakan salah satu algoritma estimasi yang banyak digunakan dalam sistem dinamis karena mampu memprediksi keadaan berikutnya dari suatu objek berdasarkan data pengamatan sebelumnya. Metode Kalman Filter menggunakan informasi dari objek yang terdeteksi di suatu *frame* dan status objek dari *frame* sebelumnya untuk mendapatkan status yang baru dari objek tersebut (C. Saputra, 2023).

Pada konteks robot sepak bola, Kalman Filter sangat relevan untuk digunakan karena bola sering mengalami perubahan posisi secara cepat, mendadak, dan terkadang tidak terduga. YOLO sebagai detektor objek hanya memberikan posisi bola pada setiap *frame*, tanpa mempertimbangkan dinamika gerakan dari bola tersebut. Akibatnya, jika bola bergerak terlalu cepat atau terjadi keterlambatan proses inferensi, robot bisa kehilangan akurasi dalam mengejar bola. Dengan Kalman Filter, sistem tidak hanya bergantung pada deteksi saat ini, tetapi juga dapat memprediksi posisi bola pada *frame* berikutnya, sehingga pergerakan robot menjadi lebih stabil, responsif, dan efisien.

Selain itu, Kalman Filter memiliki keunggulan dari sisi efisiensi komputasi. Dibandingkan dengan metode prediksi berbasis *deep learning* yang umumnya membutuhkan sumber daya tinggi, Kalman Filter relatif ringan dan dapat diimplementasikan pada perangkat dengan keterbatasan komputasi seperti robot KRSBI Beroda. Hal ini menjadikannya solusi yang seimbang antara kebutuhan akurasi dan keterbatasan perangkat keras.

Algoritma Kalman Filter terbukti efisien dalam estimasi posisi objek target yang hilang saat pendeteksian secara *real-time*. Implementasi metode Kalman Filter, memiliki persentase akurasi 96,89% untuk tugas *tracking* objek pada video lalu lintas dan sirkuit Naskar, dimana metode Kalman Filter lebih baik dalam segi akurasi dibanding kedua kompetitornya yaitu Partikel Filter dan Korelasi Filter (Sholehurrohman et al., 2023).



Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengimplementasikan sistem deteksi serta pelacakan bola pada robot KRSBI Beroda dengan memanfaatkan kamera *omnidirectional* dan pendekatan *deep learning* berbasis CNN. Deteksi objek akan dilakukan menggunakan algoritma YOLO, sementara prediksi pergerakan bola diperkuat dengan penerapan Kalman Filter untuk mengatasi keterbatasan deteksi berbasis *frame* tunggal. Dengan kombinasi ini, robot diharapkan tidak hanya mampu mengenali bola dan gawang secara akurat, tetapi juga dapat melakukan respon gerakan yang lebih mulus, stabil, dan efisien meskipun bola bergerak cepat atau kondisi lapangan penuh gangguan visual.

Berdasarkan masalah dan latar belakang ini, peneliti tertarik untuk meneliti dengan judul “Optimasi Gerakan Robot Sepak Bola Menggunakan Kalman Filter Pada Deteksi Bola Berbasis YOLO” yang diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam peningkatan performa robot KRSBI Beroda.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan ke dalam beberapa pertanyaan sebagai berikut:

1. Bagaimana penerapan Kalman Filter dapat meningkatkan akurasi prediksi posisi bola yang terdeteksi oleh YOLO?
2. Bagaimana integrasi YOLO dan Kalman Filter dapat mengoptimalkan gerakan robot KRSBI Beroda dalam mengikuti pergerakan bola di lapangan?
3. Sejauh mana kombinasi metode tersebut dapat meningkatkan stabilitas, efisiensi, dan kecepatan robot dalam pertandingan KRSBI Beroda?

## **1.3. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dikemukakan, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menerapkan Kalman Filter pada hasil deteksi bola berbasis YOLO untuk meningkatkan akurasi prediksi posisi bola pada robot KRSBI Beroda.

2. Mengintegrasikan YOLO dengan Kalman Filter guna mengoptimalkan gerakan robot terhadap pergerakan bola di lapangan.
3. Mengevaluasi kinerja kombinasi YOLO dan Kalman Filter dalam meningkatkan stabilitas, efisiensi, dan kecepatan pergerakan robot KRSBI Beroda.

#### **1.4. Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya membahas deteksi dan pelacakan bola menggunakan kamera *omnidirectional* pada robot KRSBI Beroda.
2. Algoritma deteksi objek yang digunakan adalah YOLO, tanpa melakukan pengembangan arsitektur baru, melainkan memanfaatkan model yang sudah ada.
3. Prediksi posisi bola dilakukan dengan menggunakan Kalman Filter, tanpa membandingkannya secara langsung dengan algoritma prediksi lain.
4. Fokus penelitian adalah pada optimasi gerakan robot terhadap bola, tidak mencakup aspek strategi tim, komunikasi antar robot, atau kontrol *hardware* secara mendetail.

#### **1.5. Manfaat Penelitian**

Berikut adalah manfaat dilakukannya penelitian ini bagi beberapa pihak:

1. Peneliti akan memperoleh pengalaman berharga dalam mengimplementasikan algoritma YOLO yang dipadukan dengan Kalman Filter pada sistem robotika, khususnya dalam konteks deteksi dan prediksi objek bergerak.
2. Penelitian ini dapat membantu meningkatkan performa robot dalam pertandingan melalui sistem deteksi bola yang lebih akurat dan gerakan robot yang lebih stabil serta efisien.

## **1.6. Sistematika Penulisan**

Untuk mempermudah dalam memahami lebih jelas tentang penulisan penelitian ini, maka penelitian ini ditulis dalam beberapa bab yang masing-masing berkaitan satu sama lainnya, dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bagian ini berisi tentang deskripsi umum dari penelitian yang akan dilakukan meliputi Latar Belakang, Perumusan Masalah, Tujuan Penelitian, Batasan Masalah, Manfaat Penelitian dan Sistematika Penulisan.

### **BAB II LANDASAN TEORI**

Bagian ini membahas penelitian terdahulu, teori-teori dan pendapat para ahli yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bagian ini berisi tentang alat dan bahan penelitian yang dilakukan, metode dan alur penelitian, metode pengembangan sistem cerdas, metode pengumpulan data, teknik mengolah data, dan teknik menguji hasil olahan data.

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini menjelaskan tentang hasil perancangan dan analisa yang telah dilakukan sesuai dengan metodologi penelitian, sekaligus mengevaluasi hasil pengujian terhadap parameter-parameter uji yang telah ditetapkan.

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini menjelaskan tentang simpulan hasil penelitian yang diperoleh sesuai dengan tujuan penelitian serta memuat saran mengenai masalah dan kemungkinan pemecahannya untuk penelitian selanjutnya.

### **DAFTAR PUSTAKA**

### **LAMPIRAN**

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1. Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai sistem deteksi objek pada robot, khususnya dalam konteks Kontes Robot Sepak Bola Indonesia (KRSBI) Beroda, telah banyak dilakukan sebelumnya. Penelitian-penelitian tersebut memberikan kontribusi penting dalam pengembangan metode deteksi bola maupun optimasi pergerakan robot. Dengan meninjau penelitian terdahulu, penulis memperoleh wawasan terkait kelemahan metode sebelumnya, potensi pengembangan, serta peluang penerapan algoritma terbaru yang lebih efektif.

Pertama, penelitian yang berjudul “Sistem Pendeteksi Bola dan Gawang dengan Algoritma *Convolutional Neural Network* pada Robot KRSBI Menggunakan Kamera *Omnidirectional*” dilakukan oleh T. Mohd. Farhan, 2024. Penelitian ini membandingkan dua metode deteksi, yaitu HSV *color filtering* dan YOLO berbasis *Convolutional Neural Network* (CNN), dalam mendeteksi bola dan gawang pada robot KRSBI Beroda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode HSV memiliki kelebihan pada sisi kemudahan implementasi karena tidak membutuhkan proses pelatihan *dataset*. Namun, metode ini sangat bergantung pada kondisi pencahayaan. Akurasi deteksi bola dengan HSV hanya mencapai 28% pada pagi hari, 64% pada siang hari, dan 71% pada malam hari. Sementara itu, deteksi gawang dengan HSV menghasilkan akurasi 50% pada siang hari dan 66% pada malam hari. Hal ini menegaskan bahwa performa HSV menurun drastis ketika terjadi perubahan intensitas cahaya. Sebaliknya, metode YOLO menunjukkan performa yang jauh lebih baik. Berdasarkan hasil evaluasi model, *precision* mencapai nilai 1.00 pada *confidence* 0.883, *recall* mendekati 0.99 pada tingkat *confidence* rendah, dan F1-Score tertinggi sebesar 0.97 pada *confidence* 0.442. Dalam pengujian lapangan, YOLO mampu mendeteksi bola dengan akurasi 85% pada pagi hari, 92% pada siang hari, dan 100% pada malam hari. Bahkan, deteksi gawang mencapai 100% di semua kondisi pencahayaan. Pada skenario permainan mencetak gol, metode YOLO membuat robot mampu mencetak gol secara

konsisten pada semua kondisi, sementara metode HSV hanya berhasil mencetak 1 gol pada siang hari (dengan pintu ruangan tertutup) dan 1 gol pada malam hari. Meskipun unggul dalam akurasi, YOLO memiliki kelemahan berupa kompleksitas yang tinggi. Model ini membutuhkan *dataset* yang besar dengan variasi posisi bola dan gawang agar dapat bekerja optimal. Oleh karena itu, penelitian ini menyarankan agar penelitian selanjutnya memperkaya *dataset* dengan variasi kondisi yang lebih luas, termasuk skenario bola atau gawang yang terhalang objek lain. Selain itu, penelitian lanjutan juga diharapkan mengkaji efisiensi komputasi dengan membandingkan kinerja *real-time* antara metode HSV dan YOLO, misalnya melalui pengukuran *frame rate* saat program dijalankan.

Kedua, penelitian yang berjudul “Implementasi *Object Detection* pada Robot Sepak Bola Beroda Berbasis Kamera *Omnidirectional* Menggunakan OpenCV” dilakukan oleh Bagas Musamma Nanda, Simon Siregar, dan Muhammad Ikhsan Sani pada tahun 2023. Penelitian ini mengangkat permasalahan terkait sistem deteksi pada robot KRSBI yang masih sangat dipengaruhi oleh kondisi pencahayaan. Perubahan intensitas cahaya di lapangan membuat sistem kesulitan mempertahankan akurasi deteksi, sehingga kinerja robot menjadi tidak stabil ketika kondisi cahaya berubah. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *object detection* berbasis kamera *omnidirectional* dengan bantuan pustaka OpenCV. Proses pengujian dilakukan dengan cara mengukur variasi intensitas cahaya di lapangan untuk melihat pengaruhnya terhadap kemampuan deteksi objek. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa robot KRSBI mampu mengenali beberapa objek penting, seperti bola, gawang, serta robot lawan (*cyan* dan *magenta*), dengan tingkat akurasi sekitar 70%. Akan tetapi, nilai akurasi ini masih cukup dipengaruhi oleh perbedaan intensitas cahaya dari masing-masing objek. Dengan demikian, penelitian ini membuktikan bahwa penerapan *object detection* menggunakan kamera *omnidirectional* dan OpenCV dapat berjalan pada robot KRSBI, namun tetap memiliki keterbatasan signifikan terutama ketika menghadapi kondisi pencahayaan yang tidak stabil.

Ketiga, penelitian yang berjudul “Perancangan Sistem Pendeteksian Obyek Bola dengan Metode *Framework* YOLO V4” dilakukan oleh Jalu Nuralim, Nifty

Fath, Akhmad Musafa, dan Drs. Suwandi Broto pada tahun 2022. Latar belakang penelitian ini berangkat dari kebutuhan dalam Kontes Robot Sepak Bola Indonesia (KRSBI) Beroda tahun 2018, di mana robot dituntut mampu melakukan navigasi serta menjalankan tugas utama, yaitu menemukan bola, menggiringnya, dan menendangnya ke arah gawang lawan. Untuk dapat melaksanakan fungsi tersebut, robot membutuhkan sistem pendeteksian bola yang cepat, akurat, dan responsif. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *object detection* berbasis *framework* YOLOv4. Pengujian sistem dilakukan menggunakan *Confusion Matrix* untuk mengukur performa deteksi, termasuk dalam kondisi ketika bola sebagian terhalang oleh objek lain. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi bola meskipun terdapat penghalang dengan tingkat persentase 50%, 60%, hingga 70%. Namun, kemampuan deteksi menurun drastis ketika tingkat penghalang mencapai 80% ke atas. Pada kondisi tersebut (80%, 90%, hingga 100% penghalang), robot tidak lagi dapat mengenali keberadaan bola. Penelitian ini membuktikan bahwa YOLOv4 cukup efektif dalam mendeteksi bola pada kondisi yang dinamis dan kompleks, termasuk ketika sebagian objek tertutup. Akan tetapi, keterbatasan tetap muncul pada tingkat occlusion yang tinggi, yang menunjukkan perlunya optimasi atau integrasi metode tambahan untuk meningkatkan keandalan deteksi dalam skenario pertandingan nyata.

Penelitian berikutnya dilakukan oleh Ridho Sholehurrohman, Mochammad Reza Habibi, Igit Sabda Ilman, Rahman Taufiq, dan Muhaqiqin (2023) dengan judul “Analisis Metode Kalman Filter, *Particle Filter* dan *Correlation Filter* Untuk Pelacakan Objek” membahas mengenai tantangan dalam pelacakan objek (*object tracking*) pada bidang *computer vision*. Penelitian ini mengimplementasikan tiga metode, yaitu Kalman Filter, *Particle Filter*, dan *Correlation Filter* untuk pelacakan objek pada data video lalu lintas dan video sirkuit Nascar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode Kalman Filter memiliki akurasi tertinggi mencapai 96,89%, sedangkan metode *Correlation Filter* lebih unggul dalam aspek performa komputasi dengan rata-rata 26,69 FPS, sementara *Particle Filter* berada di bawah Kalman Filter dalam hal akurasi. Kesimpulan dari penelitian ini menegaskan bahwa Kalman Filter sangat potensial digunakan dalam pelacakan

objek yang membutuhkan akurasi tinggi, sementara *Correlation Filter* lebih sesuai untuk kebutuhan aplikasi *real-time* karena efisiensi komputasinya. Dengan demikian, penelitian ini dapat dijadikan acuan penting dalam mendukung pemanfaatan Kalman Filter pada penelitian terkait optimasi pergerakan robot sepak bola, khususnya dalam memprediksi pergerakan bola secara akurat.

Penelitian kelima berjudul “Implementasi Algoritma SIFT (*Scale-Invariant Feature Transform*) dan Algoritma Kalman Filter dalam Mendeteksi Objek Bola” yang dilakukan oleh M. Irwan Bustami, Chindra Saputra, Desi Kisbianty, dan Arjuna Panji Prakarsa (2023) berfokus pada pengembangan sistem pendeteksian bola pada robot KRSBI. Latar belakang penelitian ini adalah tuntutan agar robot mampu mendeteksi, melacak, serta menggiring bola menuju gawang lawan secara efektif dalam Kontes Robot Sepak Bola Indonesia. Metode pendeteksian berbasis *color filtering* sebelumnya memang dinilai cukup baik dalam mengidentifikasi objek, namun masih memiliki kelemahan dalam aspek pelacakan (*tracking*). Untuk mengatasi hal tersebut, penelitian ini menggabungkan algoritma SIFT yang berfungsi membandingkan fitur citra guna memastikan objek yang terdeteksi benar-benar bola, serta algoritma Kalman Filter yang berperan sebagai *estimator* dalam memprediksi arah pergerakan bola berdasarkan status objek pada *frame* sebelumnya. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi algoritma SIFT dan Kalman Filter dapat meningkatkan akurasi serta kecepatan pendeteksian bola. *Tracking* yang dilakukan dengan Kalman Filter mampu memprediksi pergerakan objek dengan baik, di mana koordinat y akan semakin kecil jika bola bergerak ke atas *frame* dan semakin besar jika bergerak ke bawah, sedangkan koordinat x akan semakin kecil ketika bola bergerak ke kiri dan semakin besar saat bergerak ke kanan. Dari hasil pengujian, sistem berhasil mendeteksi objek bola dengan sempurna pada jarak tertentu, dengan rata-rata *error* pengukuran Kalman Filter sebesar 1,06 untuk koordinat x dan 7,34 untuk koordinat y. Dengan demikian, penelitian ini menegaskan potensi integrasi SIFT dan Kalman Filter untuk menghasilkan sistem deteksi dan pelacakan bola yang lebih andal dalam mendukung performa robot KRSBI.

**Tabel 2.1.** Penelitian terdahulu

No	Peneliti	Tahun	Judul	Masalah	Metode	Hasil	Perbedaan
1	T. Mohd. Farhan	2024	Sistem Pendeteksi Bola Dan Gawang Dengan Algoritma <i>Convolutional Neural Network</i> Pada Robot KRSBI Menggunakan Kamera <i>Omnidirectional</i>	Deteksi bola & gawang menggunakan HSV dan YOLO, tetapi HSV sangat dipengaruhi intensitas cahaya, sedangkan YOLO butuh dataset besar dan komputasi tinggi.	<i>HSV Color Filtering &amp; YOLO (CNN)</i>	HSV: akurasi rendah (28–71%). YOLO: akurasi tinggi (85–100%) dengan stabil di berbagai kondisi cahaya.	Penelitian ini fokus membandingkan HSV dan YOLO, sedangkan penelitian sekarang menambahkan optimasi gerakan dengan Kalman Filter.
2	Bagas Musamma Nanda, Simon Siregar, dan Muhammad Ikhsan Sani	2023	Implementasi <i>Object Detection</i> pada Robot Sepak Bola Beroda Berbasis Kamera <i>Omnidirectional</i> Menggunakan <i>Opencv</i>	Deteksi objek yang bergantung pada intensitas cahaya, sehingga membuat hasil deteksi menjadi kurang efektif	<i>OpenCV Object Detection</i>	Robot bisa deteksi bola, gawang, robot cyan & magenta dengan akurasi $\pm 70\%$ , tapi hasil dipengaruhi intensitas cahaya.	Penelitian ini hanya menggunakan OpenCV sederhana, sedangkan penelitian sekarang memakai YOLO + Kalman Filter.



3	Jalu Nuralim, Nifty Fath, Akhmad Musafa, Sujono, Drs. Suwasti Broto	2022	Perancangan Sistem Pendeteksian Obyek Bola dengan Metode <i>Framework</i> YOLO V4	Robot butuh deteksi cepat untuk navigasi & menendang bola, namun terhambat jika bola terhalang sebagian.	YOLOv4 + <i>Confusion</i> <i>Matrix</i>	Robot masih bisa deteksi bola hingga 70% tertutup, gagal pada >80%.	Fokus pada akurasi YOLOv4 dengan halangan, sedangkan penelitian sekarang menambahkan prediksi pergerakan menggunakan Kalman Filter.
4	Ridho Sholehurrohman, Mochammad Reza Habibi, Igit Sabda Iلمان, Rahman Taufiq, Muhaqiqin	2023	Analisis Metode Kalman Filter, <i>Particle Filter</i> dan <i>Correlation Filter</i> Untuk Pelacakan Objek	<i>Tracking</i> objek sering gagal karena oklusi dan deformasi target.	Kalman Filter, <i>Particle</i> <i>Filter</i> , <i>Correlation</i> <i>Filter</i>	Kalman Filter akurasi 96,89%, <i>Correlation Filter</i> paling cepat 26,69 FPS.	Penelitian ini membandingkan metode tracking umum, penelitian sekarang fokus Kalman Filter untuk robot sepak bola berbasis YOLO.
5	M. Irwan Bustami, Chindra Saputra, Desi Kisbianty,	2023	Implementasi Algoritma SIFT ( <i>Scale-Invariant</i> <i>Feature</i>	Metode <i>color</i> <i>filtering</i> saja kurang handal untuk <i>tracking</i> bola.	SIFT + Kalman Filter	SIFT mengenali objek, Kalman Filter memprediksi arah	Penelitian ini gabungkan SIFT + Kalman Filter, sedangkan

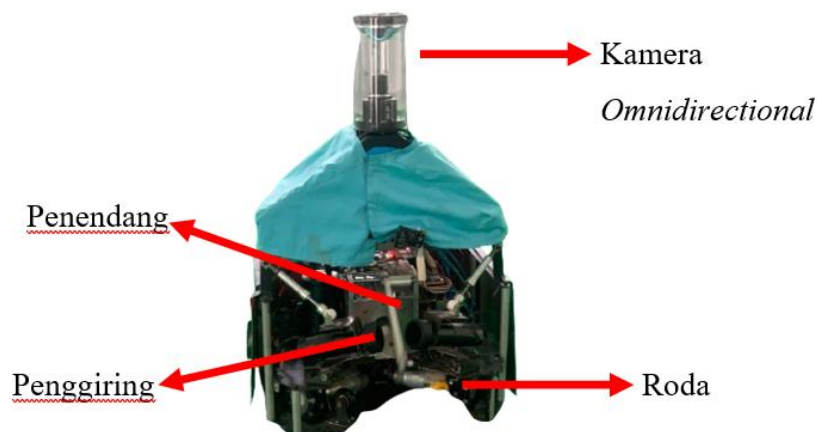
	Arjuna Panji Prakarsa		<i>Transform</i> ) dan Kalman Filter dalam Mendeteksi Objek Bola			bola. <i>Error</i> rata- rata 1.06 (x) dan 7.34 (y).	penelitian sekarang pakai YOLO untuk deteksi dan Kalman Filter untuk prediksi.
--	--------------------------	--	---	--	--	--	---

## 2.2. Kompetisi Robot Sepak Bola Beroda Indonesia

Salah satu ajang kompetisi robotik di Indonesia adalah Kontes Robot Indonesia atau lebih sering disebut dengan KRI. KRI diselenggarakan oleh Pusat Prestasi Nasional (PUSPRESNAS) dan Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia. KRI merupakan acara yang diadakan setiap tahun dan diikuti oleh mahasiswa dari berbagai wilayah di Indonesia mulai dari Timur, Tengah dan Barat. KRI terbagi menjadi 6 kategori, yang salah satunya adalah Kontes Robot Sepak Bola Indonesia (KRSBI) Beroda (Nanda et al., 2023).

Kontes Robot Sepakbola Beroda Indonesia diadakan untuk meningkatkan keilmuan dan kreatifitas mahasiswa di bidang robotika. Di dalam kontes ini, mahasiswa dituntut untuk bisa mengembangkan kemampuan dalam mekanika, manufaktur, elektronika, pemrograman, *artificial intelligent*, *image processing*, komunikasi digital, dan strategi, sekaligus diperlukan pengembangan ke arah disiplin, toleransi, sportifitas, kerjasama, saling menghargai, kontrol emosi dan kemampuan *softskill* lainnya. (Kusumoputro et al., 2024).

## 2.3. Robot Sepak Bola Beroda



**Gambar 2.1.** Robot sepak bola beroda

Untuk robot yang dikompertisikan di Kontes Robot Sepak Bola Indonesia Beroda bisa dilihat pada gambar 2.1. Tampak sebuah robot berbentuk kubus yang memiliki sepasang roda di depan yang merupakan penggiring. Sedangkan dibagian atas terdapat kamera *Omnidirectional* yang berguna untuk mendeteksi objek.

Kamera *Omnidirectional* adalah sebuah konsep penggunaan kamera untuk mengambil citra atau gambar yang menampilkan berbagai arah, baik depan, belakang, kiri, dan kanan. Pada gambar 3.2. bisa dilihat bahwa kamera *omnidirectional* menggunakan teknik mengarahkan kamera ke cermin cembung yang dihadapkan ke bawah atau permukaan lantai sehingga gambar yang ditangkap oleh kamera adalah pantulan dari cermin cembung tersebut. (Darmawan, 2018)

Berikutnya ada penendang yang menggunakan *kicker* berbasis solenoid yang mana daya listrik akan dihantarkan kepada kumparan kawat yang mengelilingi sebuah batang logam lalu akan melepaskan gaya dorong yang kuat ke arah yang ditentukan.

Untuk penggiring berupa roda kecil yang diberi motor lalu berputar ke arah dalam robot sehingga roda ini akan menangkap dan menjaga bola saat robot bergerak agar bola tidak terlepas dari robot.

Terakhir ada roda yang berfungsi agar robot bisa bergerak. Sebuah robot memiliki 3 roda agar gerak menjadi fleksibel. Roda ini terdiri dari dua bagian. Yang pertama ada motor dengan kecepatan putar 500rpm untuk menggerakkan robot. Kedua ada *omni wheel* yang berfungsi agar robot bisa bergerak ke semua arah.

#### **2.4. Bola dan Gawang**

Dalam matematika, khususnya geometri, bola didefinisikan sebagai himpunan semua titik yang berjarak sama dari suatu titik tetap yang disebut pusat bola.

Sedangkan gawang adalah sebuah rintangan yang dibuat oleh manusia ataupun alamiah. Dalam pertandingan sepakbola, gawang menjadi sarana yang amat penting untuk menentukan gol atau tidaknya bola yang ditendang ke arah gawang. Gawang akan menjadi penentu golnya bola saat bola melewati garis gawang yang ditarik dari dua tiang gawang tersebut. (Ardi Gabelatama, 2018)

#### **2.5. OpenCV**

*Open Source Computer Vision Library* atau yang biasa disebut OpenCV merupakan pustaka perangkat lunak yang bertujuan untuk mengolah citra secara

*real-time*. Pustaka ini awalnya dibuat oleh Intel, hingga sekarang didukung oleh Itseez dan Willow Garage. (Pratama et al., 2022)

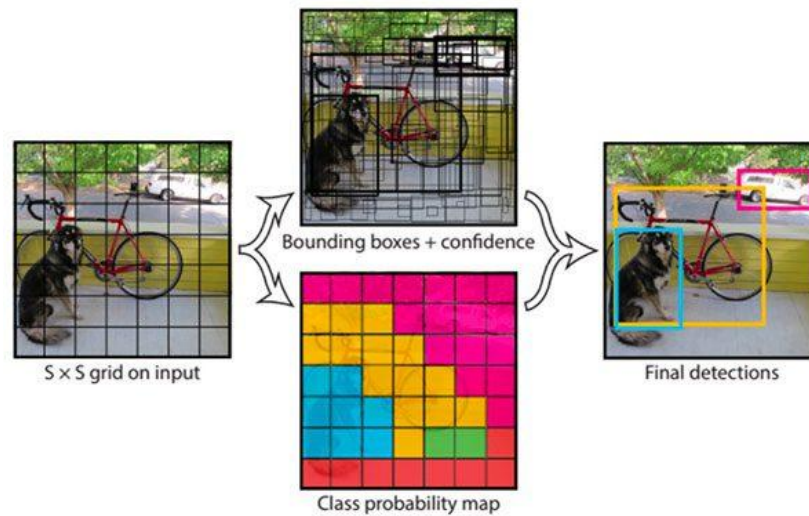
Pustaka OpenCV ini dirancang dengan sangat kuat dan fleksibel untuk menangani berbagai masalah dalam penglihatan komputer yang solusinya sudah tersedia, seperti pemotongan citra, peningkatan kualitas citra dengan mengatur kecerahan, ketajaman, dan kontras, serta melakukan deteksi bentuk, segmentasi citra, deteksi objek bergerak, pengenalan objek, dan banyak lagi. (Ratna, 2020)

## **2.6. *Machine Learning***

*Machine Learning* adalah salah satu pengaplikasian dari *Artificial Intilligent* (AI) yang fokus kepada pengembangan sebuah sistem yang mampu belajar sendiri tanpa harus diprogram berulang kali. *Machine Learning* membutuhkan sebuah data sebagai proses *learning* sebelum menghasilkan sebuah model. Singkatnya, *Machine Learning* adalah pemograman komputer untuk mencapai kriteria/performa tertentu dengan menggunakan sekumpulan data *traning* atau pengalaman di masa lalu. (Chazar & Erawan, 2020)

## **2.7. *You Only Look Once (YOLO)***

YOLO merupakan salah satu varian model yang dimiliki *Convolutional Neural Network* (CNN). YOLO menggunakan pendekatan terbaru dalam objek, yang mana pemrosesan data bisa dilakukan secara *realtime*. Pengolahan gambar dengan YOLO cukup mudah simpel. YOLO mengolah gambar dengan melakukan *resize* pada gambar masukan, lalu menjalankan *single convolutional network* pada gambar *input*, dan *setting threshold* untuk hasil deteksi dengan nilai *confidence* dari model (Redmon et al., 2016)



**Gambar 2.6.** Arsitektur sederhana YOLO (Carolina & Lina, 2023)

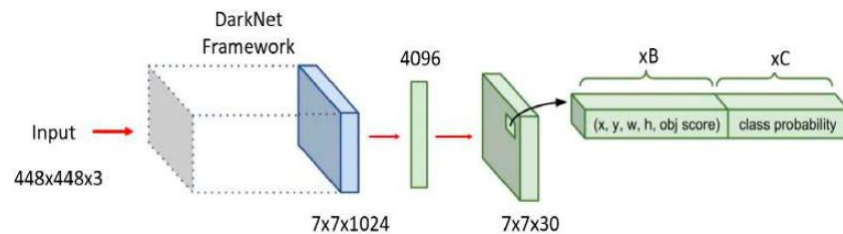
Gambar 2.6. menunjukkan arsitektur sederhana dari algoritma YOLO. *Input* pada YOLO awalnya dibagi menjadi *grid*  $S \times S$ . Setiap sel *grid* mempunyai tanggung jawab untuk memprediksi suatu *bounding box*  $B$ , nilai *confidence* untuk kotak tersebut, dan probabilitas kelas  $C$ . Nilai *confidence* ini akan menentukan seberapa akurat sebuah model mendeteksi objek didalam *bounding box*. Dalam sebuah *bounding box*, terdapat 5 nilai prediksi yang akan dikeluarkan:  $x$ ,  $y$ ,  $w$ ,  $h$ , dan *confidence*. Koordinat  $x$  dan  $y$  akan merepresentasikan titik pusat dari kotak terhadap batas kotak,  $w$  dan  $h$  merepresentasikan ukuran gambar *input*, dan *confidence score* menggambarkan seberapa yakin suatu *bounding box* memiliki objek didalamnya. Prediksi pada YOLO biasa dikodekan sebagai  $[S, S, B*5+C]$ . (Redmon et al., 2016)

Tujuan utama YOLO adalah mendeteksi dan menentukan lokasi objek menggunakan kotak pembatas. Untuk itu, diperlukan dua set vektor kotak pembatas: vektor  $y$  sebagai representasi *ground truth* dan vektor  $y'$  sebagai vektor prediksi. Untuk mengatasi beberapa kotak pembatas yang tidak mengandung objek atau mengandung objek yang sama, YOLO menerapkan *non-maximum suppression* (NMS). Dengan menetapkan nilai ambang batas untuk NMS, semua kotak pembatas yang diprediksi dan memiliki tumpang tindih dengan IoU yang lebih rendah dari nilai NMS yang telah ditetapkan akan dihapus. (Hussain, 2023)

Sejak pertama kali dikenalkan pada tahun 2016, YOLO sudah memiliki beberapa versi hingga sekarang dengan perkembangan yang pesat. Berikut merupakan kilas singkat mengenai tiap-tiap versi YOLO yang pernah ada:

### 3.9.1. *Original YOLO*

*Original YOLO* atau sebut saja YOLOv1 merupakan versi YOLO pertama kali yang diluncurkan pada tahun 2015 oleh Joseph Redmon. Prinsip utama yang dibawa oleh YOLOv1 adalah memaksakan *grid cell* dengan ukuran  $s \times s$  pada gambar *input*.



**Gambar 2.7.** Arsitektur YOLOv1 (Hussain, 2023)

YOLOv1 memiliki beberapa celah yang perlu diperhatikan. Arsitektur ini memiliki nilai *recall* yang lebih rendah dan *localization error* yang lebih tinggi dari metode CNN lain yakni R-CNN. YOLOv1 juga cukup sulit untuk mendeteksi objek yang terlalu dekat posisinya. (Hussain, 2023)

### 3.9.2. YOLO-v2/9000

YOLO-v2/9000 dikenalkan oleh Joseph Redmon pada tahun 2016. Versi ini muncul untuk mengatasi setidaknya sebagian kekurangan yang ada pada YOLOv1 namun dengan tetap mempertahankan kecepatannya. Hal ini dilakukan dengan memperkenalkan *Batch Normalization*, yang mana hal ini menghasilkan proses *training* yang lebih cepat dan mengurangi *overfitting*. Efektivitasnya dapat dibuktikan dengan meningkatnya mAP sebesar 2% dibanding YOLOv1. (Hussain, 2023)

Namun, YOLOv2 masih memiliki masalah. Algoritma ini masih sedikit kesulitan jika berhadapan dengan objek yang kecil pada gambar *input*.

### 3.9.3. YOLO-v3

YOLO-v3 menawarkan sebuah arsitektur *hybrid* yang mengambil dan memperhitungkan berbagai aspek dari YOLO-v2, Darknet-53, dan konsep ResNet dari *residual network*. ResNet sendiri merupakan sebuah konsep *skip-connection* yang menjaga informasi dan membuatnya tetap tersedia pada *layer* ke *layer* arsitektur. (Hussain, 2023)

Hal ini memungkinkan untuk mendukung fitur *fine-grained* ke *layer* yang lebih dalam. Selain itu, YOLO-v3 juga bisa melakukan deteksi *multi-scale* yang membuat performanya meningkat dan dapat mendeteksi objek yang lebih kecil. (Hussain, 2023)

### 3.9.4. YOLO-v4

YOLO-v4 adalah varian pertama yang sudah tidak dirilis oleh Redmon. Versi ini dirilis pada tahun 2020 oleh Alexey Bochkovsky. Pada dasarnya versi ini merupakan distilasi dari berbagai teknik deteksi objek untuk diuji dan disempurnakan hingga menjadi detektor objek yang ringan dan dapat digunakan secara *real-time*.

*Backbone* yang digunakan dalam YOLO-v4 adalah CSPDarknet-53. Hal ini terjadi setelah dilakukan berbagai macam eksperimen dengan fitur-fitur lainnya. (Hussain, 2023)

### 3.9.5. YOLO-v5

YOLO-v5 memiliki kemiripan dengan YOLO-v4. Yakni sama sama menggabungkan teknik *computer vision* untuk meningkatkan performa. Versi ini dirilis 2 bulan setelah YOLO-v4 oleh Glenn Jocher. Namun bedanya, versi ini tidak dirilis dalam Darknet, melainkan PyTorch. Hal ini dilakukan karena Pythorch memiliki



ekosistem yang mapan, dan komunitas yang lebih luas untuk mendukung pada *mobile device* dibandingkan Darknet. (Hussain, 2023)

Selain itu, YOLO-v5 membawa konsep *automated anchor box learning*. Konsep ini membuat koneksi secara otomatis mempelajari *anchor box* unik pada *dataset* COCO dan mengambil yang paling sesuai untuk mempercepat proses pemodelan. (Hussain, 2023)

#### **3.9.6. YOLO-v6**

YOLO-v6 dirilis pada tahun 2022 oleh Tim Teknis Meituan yang berasal dari Tiongkok. Versi ini lebih berfokus untuk detektor objek yang berorientasi pada industri. Sehingga, versi ini memiliki beberapa varian yang menyesuaikan dengan perangkat yang digunakan agar berjalan optimal.

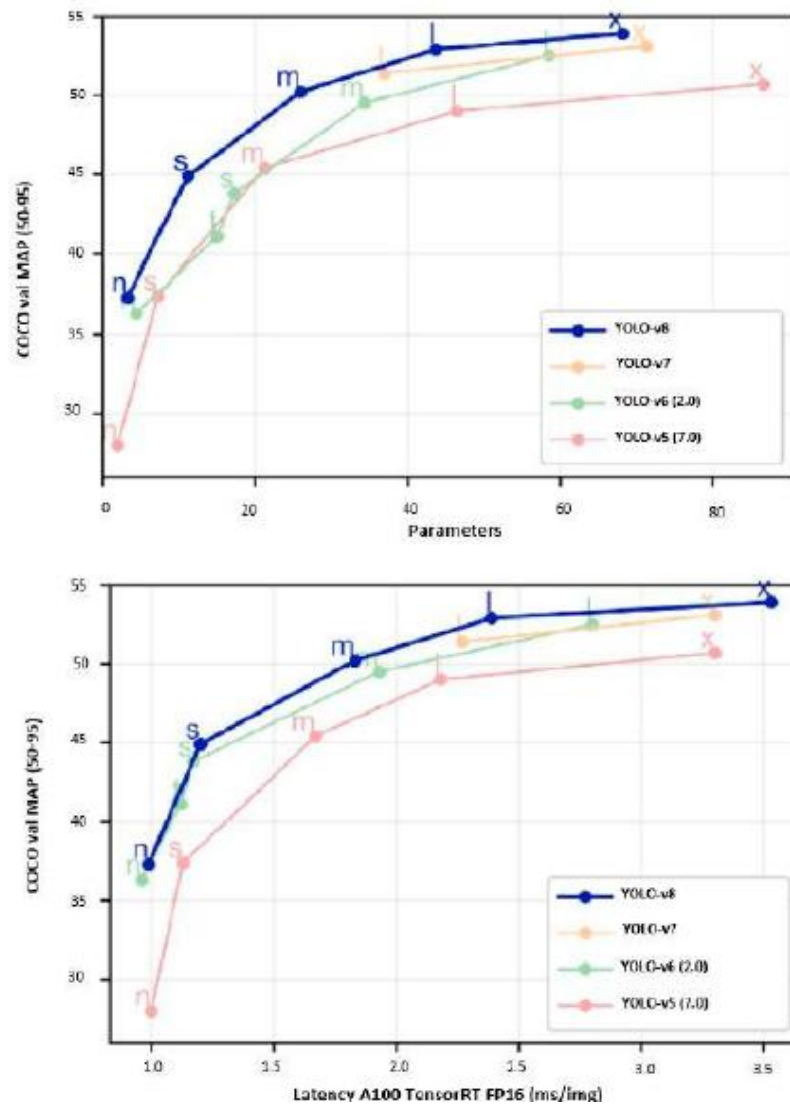
YOLO-v6 memilih untuk menggunakan pendekatan tanpa *anchor*, menghasilkan kecepatan 51% lebih cepat dibandingkan yang menggunakan *anchor*. (Hussain, 2023)

#### **3.9.7. YOLO-v7**

Satu bulan setelah YOLO-v6 dirilis, YOLO-v7 muncul untuk meningkatkan kecepatan GPU pada saat proses pemodelan. YOLO-v7 melakukan beberapa reformasi arsitektur untuk meningkatkan akurasi dan kecepatan deteksi yang tinggi. (Hussain, 2023)

#### **3.9.8. YOLO-v8**

Januari 2023, YOLO-v8 pun muncul dengan keunggulannya dibandingkan pendahulunya. Versi ini dirilis oleh Ultralytics.



**Gambar 2.8.** Perbandingan YOLO-v8 (Hussain, 2023)

Pada gambar 2.8. bisa dilihat perbandingan antara YOLO-v8 dengan versi-versi sebelumnya yang dilatih pada gambar dengan resolusi 640p, semua varian YOLO-v8 menunjukkan *throughput* yang lebih baik dengan jumlah parameter yang sama. (Hussain, 2023)

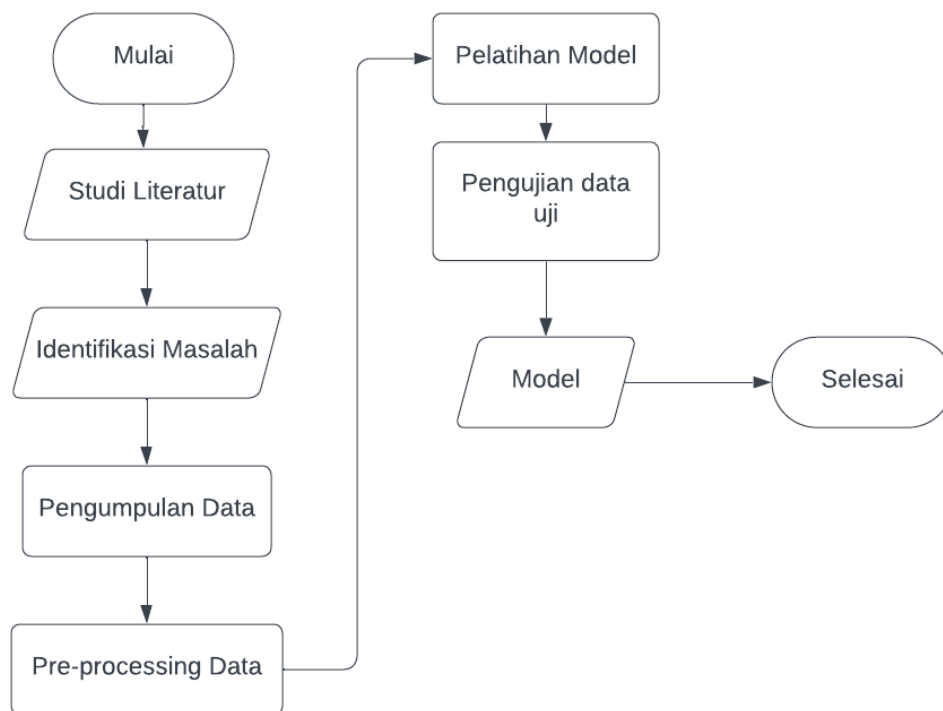
Dari berbagai versi YOLO yang sudah dijabarkan, YOLO-v8 adalah versi yang paling cocok dengan penelitian ini karena menunjang deteksi *real-time* dan memiliki performa yang lebih baik dibandingkan versi pendahulunya (YOLO-v5, YOLO-v6, YOLO-v7) yang juga sama-sama menunjang *real-time*.

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Kerangka Pikiran

Pada penelitian ini akan dilakukan beberapa tahap yang digambarkan pada gambar 3.1, yaitu dimulai dengan studi literatur, lalu mengidentifikasi masalah, mengumpulkan data yang dibutuhkan, menyunting data, membuat model dari data yang sudah diatur, menguji model yang dibuat, dan selesai.



**Gambar 3.1.** Kerangka Pikiran Penelitian

#### 3.2. Studi Literatur

Studi Literatur dilakukan untuk mengumpulkan informasi tentang implementasi *deep learning* melalui metode YOLO dan beberapa teori pendukungnya dikarenakan YOLO memiliki beberapa versi yang berbeda. Selain itu, studi literatur juga dilakukan untuk mendapatkan informasi tentang objek bola dan gawang yang akan diidentifikasi oleh robot. Studi literatur dilakukan juga untuk

mengumpulkan penelitian-penelitian terdahulu yang terkait dengan penelitian ini sehingga dijadikan acuan penelitian. Penelitian terdahulu yang dikumpulkan berupa sistem deteksi bola dan gawang pada robot dengan metode yang berbeda-beda.

### 3.3. Identifikasi Masalah

Robot harus mendeteksi objek bola dan gawang dengan baik agar bisa berjalan sesuai yang diinginkan. Saat kamera mendeteksi objek bola dan gawang menggunakan metode HSV, seringkali objek tidak terbaca karena intensitas cahaya yang selalu berubah-ubah membuat warna yang ditangkap kamera juga berubah-ubah. Hal ini dapat mengganggu jalannya permainan bola oleh robot sehingga membuat hasil kompetisi tidak didapat dengan baik. Bisa saja operator robot mengganti *range* warna dalam setiap waktu tertentu agar objek bisa dibaca dengan baik, namun tidak akan efisien dari segi waktu.

### 3.4. Pengumpulan Data Objek Bola dan Gawang

Data yang akan digunakan didalam penelitian ini ada 2 (dua) jenis, yaitu bola dan gawang. Pengumpulan data bola dan gawang dilakukan dengan cara pengambilan data secara langsung. Pengambilan data secara langsung dilakukan dengan menggunakan kamera *Omnidirectional* yang terdapat pada robot KRSBI.

Untuk pengambilan gambar secara langsung melalui kamera *Omnidirectional*, didapat gambar bola sebanyak 100 gambar dan gawang sebanyak 100 gambar.



**Gambar 3.2.** Contoh gambar bola menggunakan kamera *omnidirectional*

Gambar 3.2 menunjukkan salah satu contoh gambar bola yang diambil menggunakan kamera *omnidirectional*. Terlihat bahwa ada sebuah bola berwarna oranye yang terletak pada samping kanan kamera *omnidirectional* terhadap gambar.



**Gambar 3.3.** Contoh gambar gawang menggunakan kamera *omnidirectional*

Gambar 3.3 menunjukkan salah satu contoh gambar gawang yang diambil menggunakan kamera *omnidirectional*. Terlihat bahwa ada sebuah bola berwarna putih yang terletak pada samping kanan kamera *omnidirectional* terhadap gambar.

### 3.5. *Preprocessing Data*

Setelah data dikumpulkan, berikutnya adalah melakukan *Preprocessing Data*. Pada langkah ini objek baik bola dan gawang yang terdapat pada gambar akan di beri label agar terdapat informasi tentang objek pada setiap gambar. Untuk melakukan pemberian label, tiap gambar akan diberi sebuah *box* tepat pada objek bola atau gawang lalu diberikan nama kelas yang merupakan nama objek yang di beri *box* pada gambar tersebut. Proses *labelling* pada gambar bisa dilihat pada gambar 3.4 berikut.



**Gambar 3.4.** Proses *labelling* menggunakan *labellmg*

Setelah semua gambar diberi label, gambar akan dibagi menjadi 2 kelompok, yakni 80% untuk *training* dan 20% untuk *validation*.

### 3.6. Pelatihan

Setelah dilakukan *labeling* pada semua *dataset* gambar maka didapat pula informasi yang diperlukan yaitu berupa file berekstensi txt yang memuat informasi data citra yang akan digunakan pada proses *training*. Proses *training* sendiri memerlukan beberapa *library* pendukung agar dapat berjalan dengan efektif. *Library* tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Ultralytics
- b. NumPy 1.16.2
- c. OpenCV-Python 4.0.0.21

*Library OpenCV* disertakan untuk membantu dalam *preprocessing* citra pada *dataset*. Sedangkan *Library Ultralytics* sangat efisien untuk deteksi objek dalam implementasi *real-time*, termasuk mendeteksi bola dan gawang.

### 3.7. Pengujian Data Uji

Pengujian dilakukan untuk menguji tingkat akurasi model agar sesuai yang diharapkan. Proses pengujian ini akan menggunakan *dataset* yang sama seperti untuk membuat model. Namun bedanya, *dataset* ini tidak akan melalui

*preprocessing*. Berikutnya data akan diuji menggunakan *confusion matrix*. Model akan memprediksi *dataset* yang telah dikumpulkan lalu memasukkannya kedalam tabel *confusion matrix* Seperti pada tabel 3.1.

**Tabel 3.1** *Confusion Matrix*

<b>Matrix</b>		<b><i>Predicted</i></b>	
		Bola	Gawang
<b><i>Actual</i></b>	Bola		
	Gawang		

Setelah mendapat data pada tabel 3.1, barulah dapat dihitung nilai akurasi, presisi, dan *recall*-nya. Diharapkan penelitian ini dapat menghasilkan model dengan akurasi setidaknya 80%

## DAFTAR PUSTAKA

- Ardi Gabelatama. (2018). *PENGEMBANGAN MODIFIKASI GAWANG (GOAL SCORE) SEBAGAI INSTRUMEN LATIHAN DALAM PERMAINAN SEPAKBOLA*. 7, 1–25.
- Carolina, A., & Lina, L. (2023). Sistem Penjualan Dengan Pengenalan Produk Secara Otomatis Menggunakan Metode Yolo. *Simtek: Jurnal Sistem Informasi Dan Teknik Komputer*, 8(2), 271–275. <https://doi.org/10.51876/simtek.v8i2.224>
- Darmawan, A. (2018). *Sistem Pembacaan Bola Menggunakan Omnidirectional Camera Untuk Pergerakan Robot Sepak Bola Beroda*. 21–74.
- Firdaus, A. Z., & Lelono, D. (2025). Sistem Klasifikasi Sampah Otomatis Berbasis Deteksi Objek Real-Time Pada Single Board Computer Dengan Algoritma YOLO. 15(1), 49–60. <https://doi.org/10.22146/ijeis.104520>
- Hussain, M. (2023). YOLO-v1 to YOLO-v8, the Rise of YOLO and Its Complementary Nature toward Digital Manufacturing and Industrial Defect Detection. *Machines*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/machines11070677>
- Kusumoputro, B., Purnomo, M. H., Rochardjo, H. S. B., Prabowo, G., Purwanto, D., Mozef, E., Indrawanto, Mutijarsa, K., & Muis, A. (2024). *Pedoman Kontes Robot Indonesia (Kri) Pendidikan Tinggi Tahun 2024*.
- Miharja, G. P., Nugraha, D. A., & Aziz, A. (2025). Analisis Perbandingan Kinerja YOLO dan Camshift Dalam Pelacakan Objek Berbasis Video. *Jurnal Riset Mahasiswa Bidang Teknologi Informasi Volume*, 5(Analisis Perbandingan Kinerja Yolo dan Camshift), 100–110.
- Nanda, B. M., Siregar, S., & Sani, M. I. (2023). *Implementasi Object Detection Pada Robot Sepak Bola Beroda Berbasis Kamera Omnidirectional Menggunakan OpenCV*. 9(4), 2064–2068.
- Pratama, M. R., Bhayangkara, E. P., & Ishlah, J. M. (2022). Model Aplikasi Document Scanner Menggunakan Operator Canny Dan Contour Pada Open Cv Berbasis Desktop. *JUTEKIN (Jurnal Teknik Informatika)*, 10(2). <https://doi.org/10.51530/jutekin.v10i2.635>



- Ratna, S. (2020). Pengolahan Citra Digital Dan Histogram Dengan Phyton Dan Text Editor Phycharm. *Technologia: Jurnal Ilmiah*, 11(3), 181. <https://doi.org/10.31602/tji.v11i3.3294>
- Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You only look once: Unified, real-time object detection. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2016-Decem*, 779–788. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.91>
- Saputra, C. (2023). Implementasi Algoritma SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) Dan Algoritma Kalman Filter Dalam Mendeteksi Objek Bola. *Jurnal PROCESSOR*, 18(1), 73–82. <https://doi.org/10.33998/processor.2023.18.1.791>
- Saputra, F. B., Kallista, M., & Setianingsih, C. (2023). Deteksi social distancing dan penggunaan masker di restoran menggunakan algoritma Residual Network (ResNet). *EProceedings of Engineering*, 10(1), 284–295.
- Sholehurrohman, R., Habibi, M. R., Ilman, I. S., Taufiq, R., & Muhaqiqin, M. (2023). Analisis Metode Kalman Filter, Particle Filter dan Correlation Filter Untuk Pelacakan Objek. *Komputika : Jurnal Sistem Komputer*, 12(2), 21–28. <https://doi.org/10.34010/komputika.v12i2.9567>