

OPTIMASI GERAKAN ROBOT SEPAK BOLA MENGGUNAKAN *KALMAN* *FILTER* PADA DETEKSI OBJEK BERBASIS YOLO

Fikri Rivandi | 2207112583



Universitas Riau
Program Studi S1 Teknik Informatika

"Menjadi Program Studi Teknik Informatika Terkemuka Berbasis Riset dan Teknologi yang Bermartabat di Kawasan Asia Tenggara pada Tahun 2035"

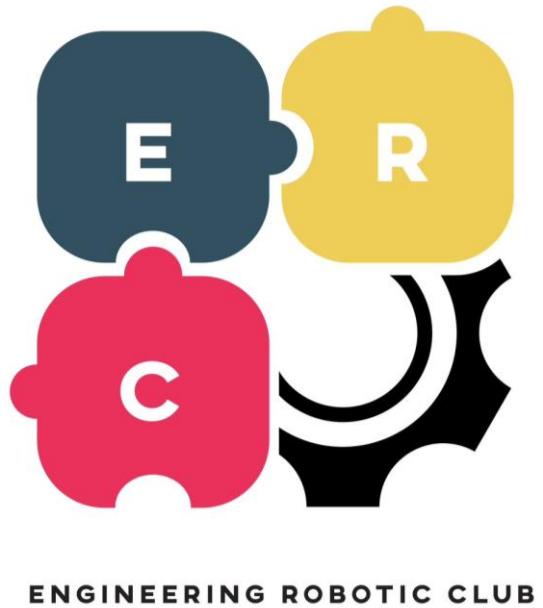


BAB I

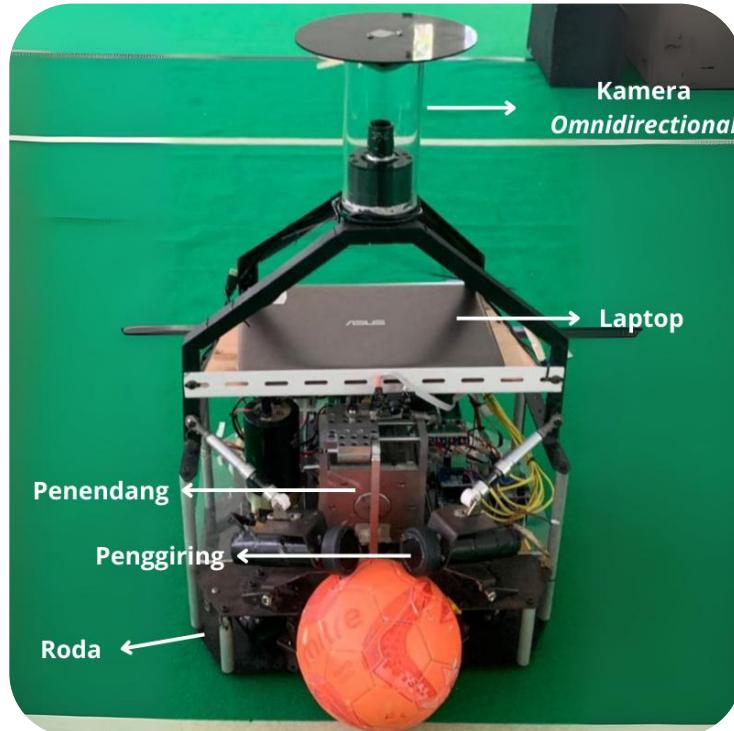
Pendahuluan

Latar Belakang

- Universitas Riau (UNRI) memiliki Tim *Engineering Robotic Club* (ERC) yang ikut serta dalam KRSBI Beroda yang digelar oleh PUSPRESNAS



Gambar 1 Logo ERC UNRI



Gambar 2 Robot KRSBI Beroda ERC UNRI

Latar Belakang



Prestasi KRSBI Beroda ERC – Juara 3
Regional 1 Pada Tahun 2021

Latar Belakang

- **Tantangan Kompetisi:** Kontes robot sepak bola beroda menuntut respon cepat dan tepat terhadap lingkungan yang dinamis dan tidak terduga. Khususnya pada deteksi objek seperti bola dan gawang.



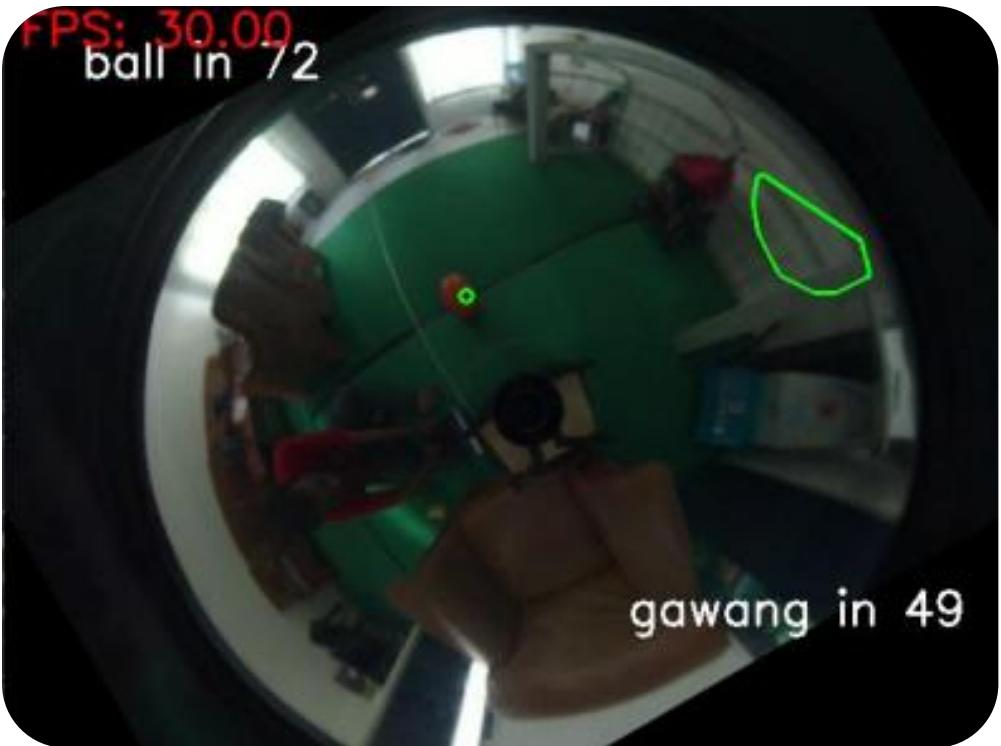
Gambar 3 Ilustrasi Pertandingan
KRSBI Beroda

Latar Belakang

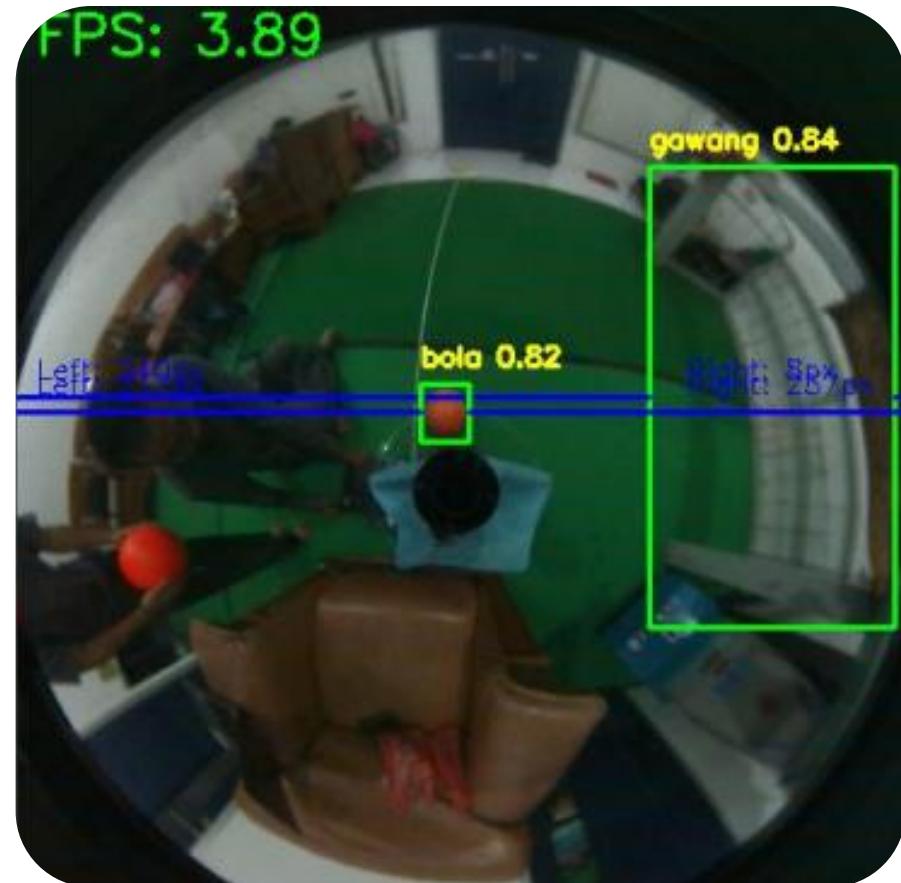
Evolusi Algoritma Deteksi Bola Pada Robot KRSBI Beroda ERC UNRI:

- **2019 – 2022:** Menggunakan kamera Pixy untuk mendeteksi bola, hanya dapat melihat lingkungan yang ada di depan robot.
 - Hasil: Juara 3 Regional 1 (2021), Juara 4 Regional 1 (2022)
- **2023 – 2024:** Mulai menggunakan kamera *omnidirectional* (kamera yang bisa melihat segala arah), menggunakan HSV (*Color Filtering*) untuk deteksi objeknya. Ringan, tapi performanya sangat bergantung pada kondisi cahaya (Nanda et al., 2023).
 - Hasil: -
- **2025:** T. Mohd. Farhan & Feri Candra (2025) melakukan penelitian untuk mengalihkan metode HSV ke metode *Deep Learning* (YOLO) untuk akurasi deteksi yang lebih tinggi dan tahan perubahan cahaya.
 - Hasil: -

Latar Belakang



Gambar 4 Implementasi HSV pada Robot KRSBI ERC UNRI



Gambar 5 Implementasi YOLO pada Robot KRSBI ERC UNRI

Latar Belakang

Masalah Pertama

- **Tuntutan Algoritma:** YOLO membutuhkan komputasi paralel tinggi dan dukungan GPU yang mumpuni agar berjalan stabil.
- **Keterbatasan *Hardware*:** Robot Tim ERC saat ini menggunakan laptop **ASUS K401U** dengan spesifikasi Intel Core i5-7200U & GPU Nvidia 940MX.



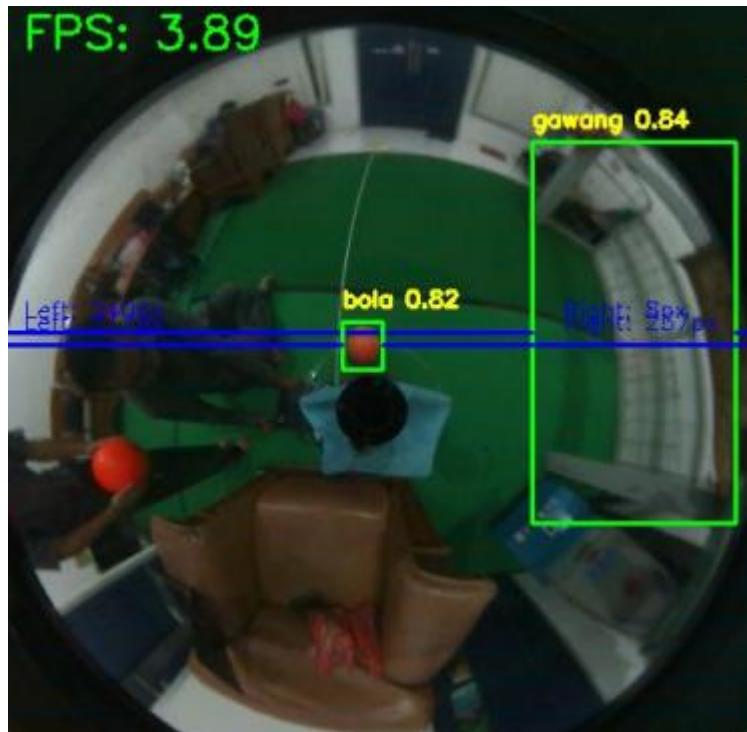
Gambar 6 Laptop ASUS K401U

Latar Belakang

Dampak Masalah Pertama

- Terjadi penurunan performa (*lag*) dan ketidakstabilan *frame rate*.
- Robot terlambat merespons posisi bola (ada jeda waktu informasi), menyebabkan gerakan tidak stabil.

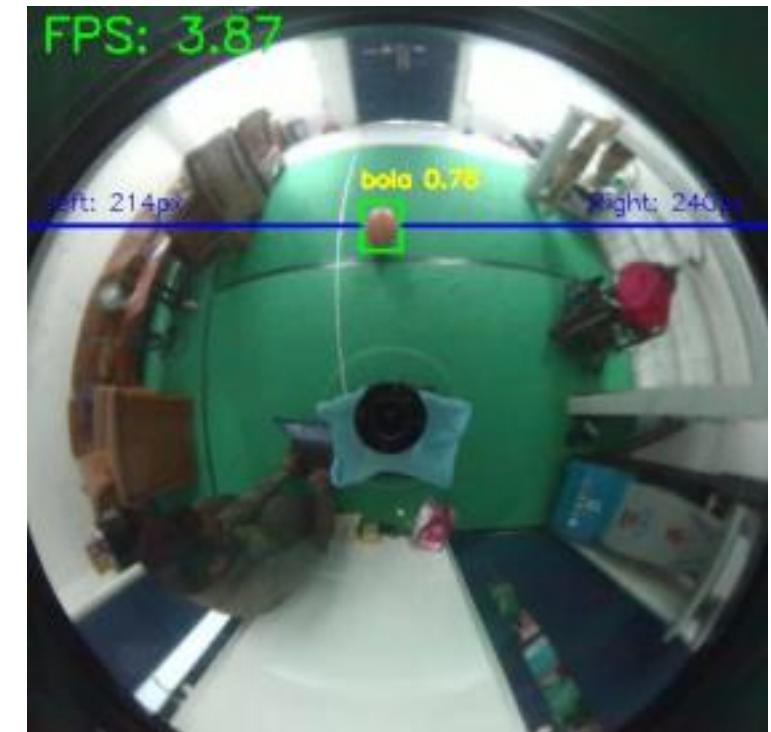
Latar Belakang



Gambar 7 Contoh Hasil Deteksi dengan YOLO (1)



Gambar 8 Contoh Hasil Deteksi dengan YOLO (2)



Gambar 9 Contoh Hasil Deteksi dengan YOLO (3)

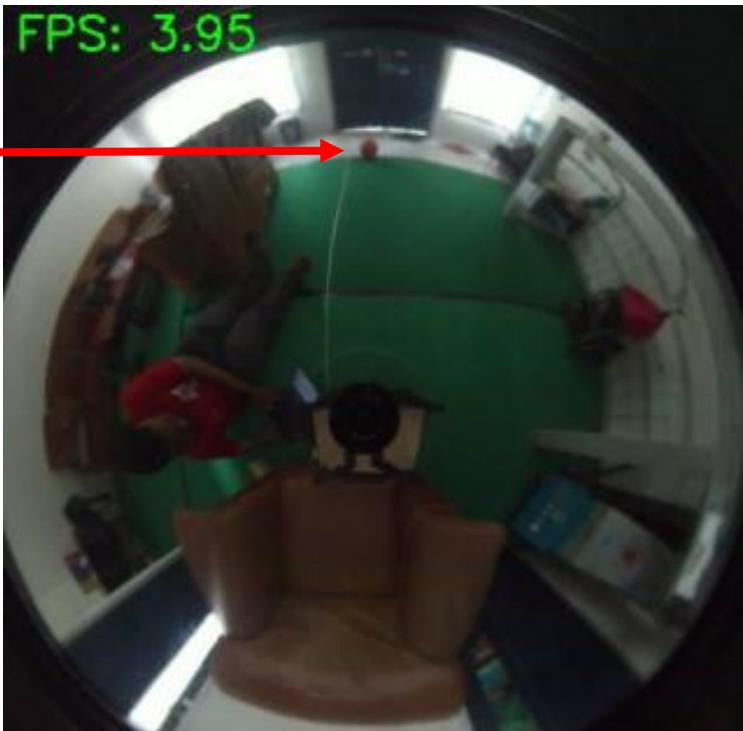
Latar Belakang

Masalah Kedua

- **Fenomena Oklusi:** Bola sering tertutup sebagian oleh penghalang (robot lain atau tiang)
- *False Negative:* Saat tertutup, detektor gagal mengenali bola (*miss detection*), dianggap sebagai *hard-positive examples*
- **Kelemahan Detektor Tunggal:** YOLO hanya mendekripsi posisi di *frame* saat ini tanpa mengetahui dinamika gerakan bola. Jika bola bergerak cepat atau tertutup, robot kehilangan jejak

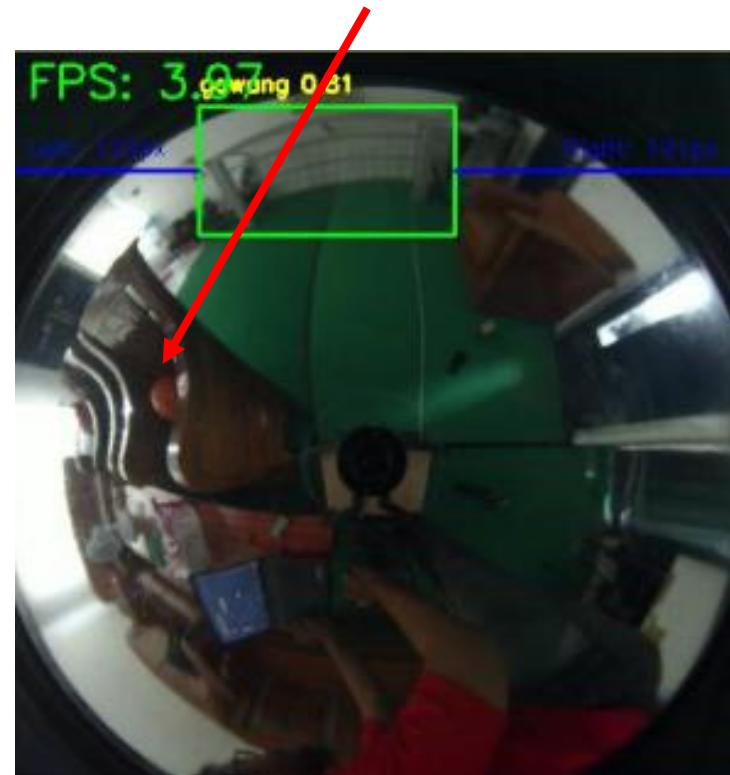
Latar Belakang

Bola terlihat di kamera namun tidak terdeteksi oleh robot



Gambar 10 Contoh Kejadian *False Negative* Pada YOLO

Bola terlihat di kamera namun tertutup oleh objek lain



Gambar 11 Contoh Kejadian Oklusi (*occlusion*)

Latar Belakang

Solusi Yang Ditawarkan

- **Integrasi Algoritma:** Menggabungkan deteksi YOLO dengan estimasi *Kalman Filter*
- **Peran *Kalman Filter*:**
 - **Prediksi:** Mengestimasi posisi bola di *frame* berikutnya berdasarkan data sebelumnya, bukan hanya mengandalkan penglihatan saat ini (Ultralytics, 2025)
 - **Efisiensi:** Algoritma ini ringan (hanya menambah beban komputasi ~7,92%), sangat cocok untuk laptop spesifikasi terbatas (Yuztiawan & Utaminingrum, 2017)
 - **Stabilitas:** Membantu robot tetap melacak bola meski terjadi *occlusion* atau *frame drop* (Ultralytics, 2025)
- **Tujuan Akhir:** Menciptakan gerakan robot yang **Mulus, Stabil, dan Efisien** meskipun *hardware* terbatas

Rumusan Masalah

Masalah Kestabilan pada Hardware Terbatas

- **Kondisi:** Algoritma YOLO berat untuk laptop ASUS K401U yang digunakan.
- **Pertanyaan:** Bagaimana cara meningkatkan kestabilan deteksi bola ketika YOLO mengalami penurunan performa (*frame rate* tidak stabil) akibat kapasitas *hardware* yang rendah?

Rumusan Masalah

Masalah Kontinuitas Data (*Occlusion*)

- **Kondisi:** Di lapangan dinamis, bola sering tertutup objek lain (*occlusion*) atau terjadi *false-negative* (gagal deteksi).
- **Pertanyaan:** Bagaimana cara mengurangi dampak *occlusion* agar robot tetap bisa memprediksi posisi bola secara konsisten tanpa kehilangan jejak?

Tujuan Penelitian

Mengatasi Keterbatasan *Hardware*

- Mengembangkan sistem deteksi yang lebih **stabil dan responsif** pada robot KRSBI Beroda
- Mengoptimalkan proses berat pada YOLO menggunakan *Kalman Filter* agar tetap berjalan lancar meski spesifikasi perangkat keras terbatas

Tujuan Penelitian

Meningkatkan Kontinuitas Pelacakan (*Tracking*)

- Memanfaatkan kemampuan **prediksi** *Kalman Filter* untuk mengurangi dampak saat bola tertutup (*occlusion*) atau gagal terdeteksi (*false-negative*).
- Menghasilkan pergerakan robot yang lebih **efisien, tepat sasaran, dan adaptif** terhadap dinamika permainan.

Batasan Masalah

- **Fokus Deteksi:** Penelitian hanya membahas deteksi dan pelacakan **bola** menggunakan kamera *omnidirectional* pada robot KRSBI Beroda.
- **Algoritma:**
 - Menggunakan algoritma **YOLO** yang sudah ada (tidak mengembangkan arsitektur baru).
 - Prediksi posisi hanya menggunakan *Kalman Filter*, tanpa membandingkan dengan algoritma prediksi lain.
- **Ruang Lingkup Sistem:** Fokus pada optimasi **deteksi objek yang mempengaruhi gerakan robot terhadap bola**, tidak mencakup strategi tim, komunikasi antar robot, atau kontrol robot secara mendetail.

Manfaat Penelitian

- Memperoleh pengalaman implementasi integrasi *Deep Learning* (YOLO) dengan estimator (*Kalman Filter*) pada sistem robotika nyata.
- Meningkatkan performa robot dalam pertandingan melalui sistem deteksi yang lebih akurat dan gerakan yang lebih stabil serta efisien.

BAB II

Tinjauan Pustaka

Penelitian Terdahulu

Kesimpulan dari Penelitian Terdahulu:

- *Color Filtering (HSV/OpenCV)*: Ringan tapi gagal saat cahaya berubah (Nanda et al., 2023).
- *Deep Learning (CNN/YOLO)*: Akurasi tinggi, tapi berat secara komputasi (Farhan & Candra, 2025).
- *Tracking (Kalman Filter)*: Terbukti sukses untuk prediksi objek bergerak dan mengurangi *noise* (Sholehurrohman et al., 2023).

Kebaruan (*Novelty*):

- Banyak penelitian pakai YOLO, atau pakai *Kalman Filter* secara terpisah.
- Penelitian ini **menggabungkan** YOLO (detektor modern) dengan *Kalman Filter* (stabilisator) khusus untuk **optimasi gerakan robot** di perangkat keras terbatas, yang belum banyak dibahas secara spesifik.

Platform Pengembangan

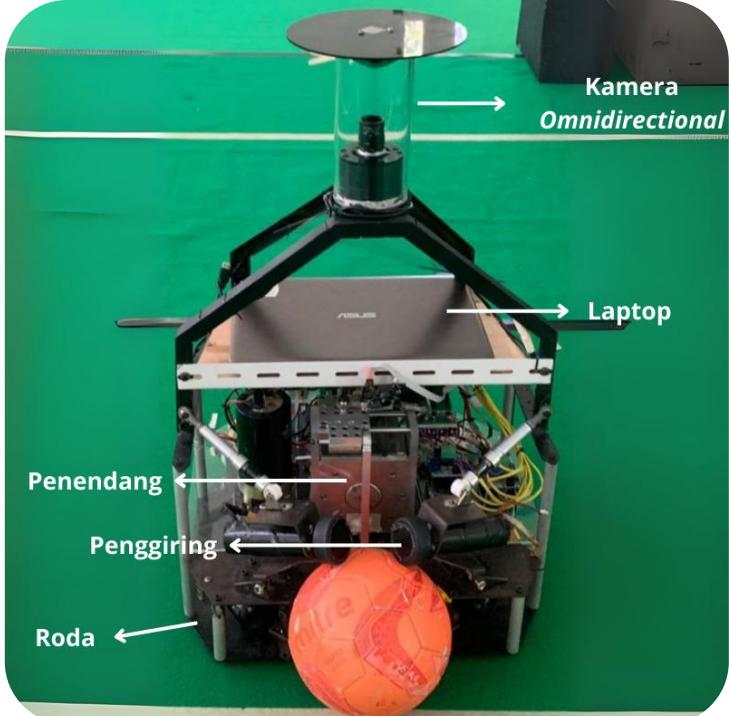
Robot KRSBI Beroda:

- Menggunakan kamera *omnidirectional* (pandangan 360 derajat) untuk melihat bola di segala arah.
- Robot memiliki unit pemrosesan utama (laptop) dan unit eksekusi gerak (Arduino)

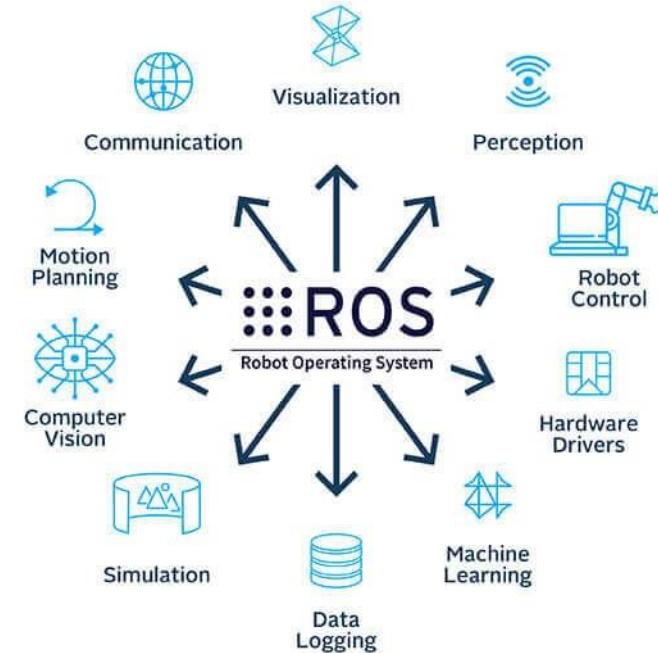
ROS (*Robot Operating System*):

- Bukan OS biasa (seperti Windows), tapi penghubung komunikasi antar program. Dipasang di laptop robot.
- Berperan sebagai jembatan komunikasi data antara kamera, laptop (otak pemrosesan), dan Arduino (penggerak motor).

Platform Pengembangan



Gambar 12 Robot Sepak Bola Beroda



Gambar 13 *Robot Operating System* (ROS)

Kalman Filter – Algoritma Optimasi

Definisi:

- Algoritma estimator rekursif untuk memperkirakan posisi objek berdasarkan data masa lalu yang mengandung *noise*.

Mekanisme Kerja:

- **Prediksi (Predict):** Menebak posisi bola di *frame* berikutnya berdasarkan data sebelumnya.
- **Koreksi (Update):** Memperbaiki prediksi saat data baru dari YOLO tersedia.

Keunggulan:

- Ringan secara komputasi dan mampu "mengisi kekosongan" data saat deteksi YOLO gagal atau lambat.

Hipotesis Penelitian

Rumusan Hipotesis:

- **H_0 (Hipotesis Nol):** Penambahan *Kalman Filter* **tidak memberikan dampak signifikan** pada stabilitas gerakan robot maupun akurasi pelacakan bola.
- **H_1 (Hipotesis Alternatif):** Integrasi *Kalman Filter* pada YOLO menghasilkan gerakan robot yang **lebih stabil (minim jitter)** dan pelacakan yang **lebih akurat (RMSE rendah)**, terutama saat bola tertutup halangan (*occlusion*).

Indikator Keberhasilan (H_1 Diterima Jika):

- **Akurasi:** Nilai *Error* (RMSE) pada sistem *Optimized* lebih kecil daripada sistem *Baseline*.
- **Stabilitas:** Frekuensi perubahan perintah gerak (*Command Switching*) berkurang (robot tidak "bingung" atau *jitter*).
- **Efisiensi:** FPS tetap stabil di atas batas minimum *real-time* (>10 FPS) meskipun ada tambahan algoritma.

BAB III

Metodologi Penelitian

Metode Penelitian

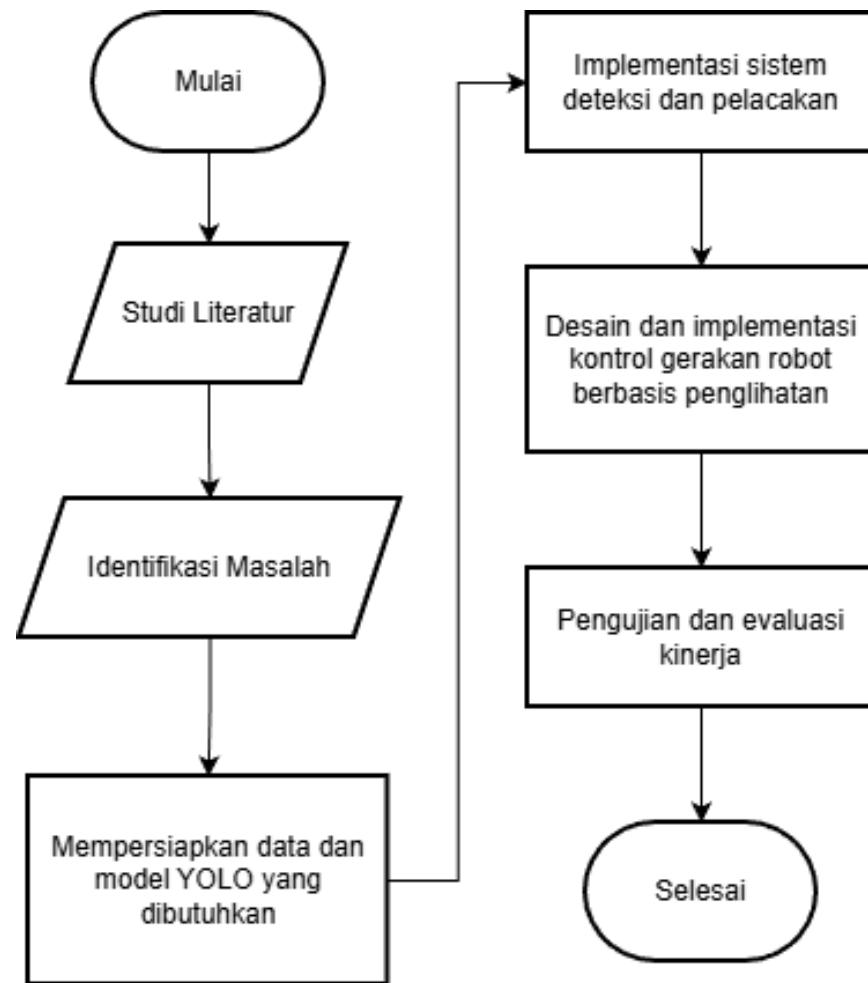
Jenis Penelitian:

- Kuantitatif dengan strategi Eksperimental.

Tahapan Utama:

- **Persiapan:** Studi literatur & penyiapan model YOLO
- **Implementasi:** Integrasi sistem deteksi YOLO dengan pelacakan *Kalman Filter*.
- **Pengujian:** Komparasi antara sistem *Baseline* (YOLO murni) vs *Optimized* (YOLO + *Kalman Filter*).

Kerangka Pikiran



Gambar 15 Kerangka Pikiran

Arsitektur Sistem

Unit Pemrosesan Utama (Laptop/ROS):

- Menjalankan ROS (*Robot Operating System*).
- Membaca kamera, menjalankan YOLO & *Kalman Filter*, serta menghitung logika gerak.

Unit Eksekusi Gerak (Arduino Mega):

- Menerima perintah sederhana (*string*) dari ROS via komunikasi *Serial* (contoh: "maju", "putarKanan").
- Menggerakkan motor/roda robot.

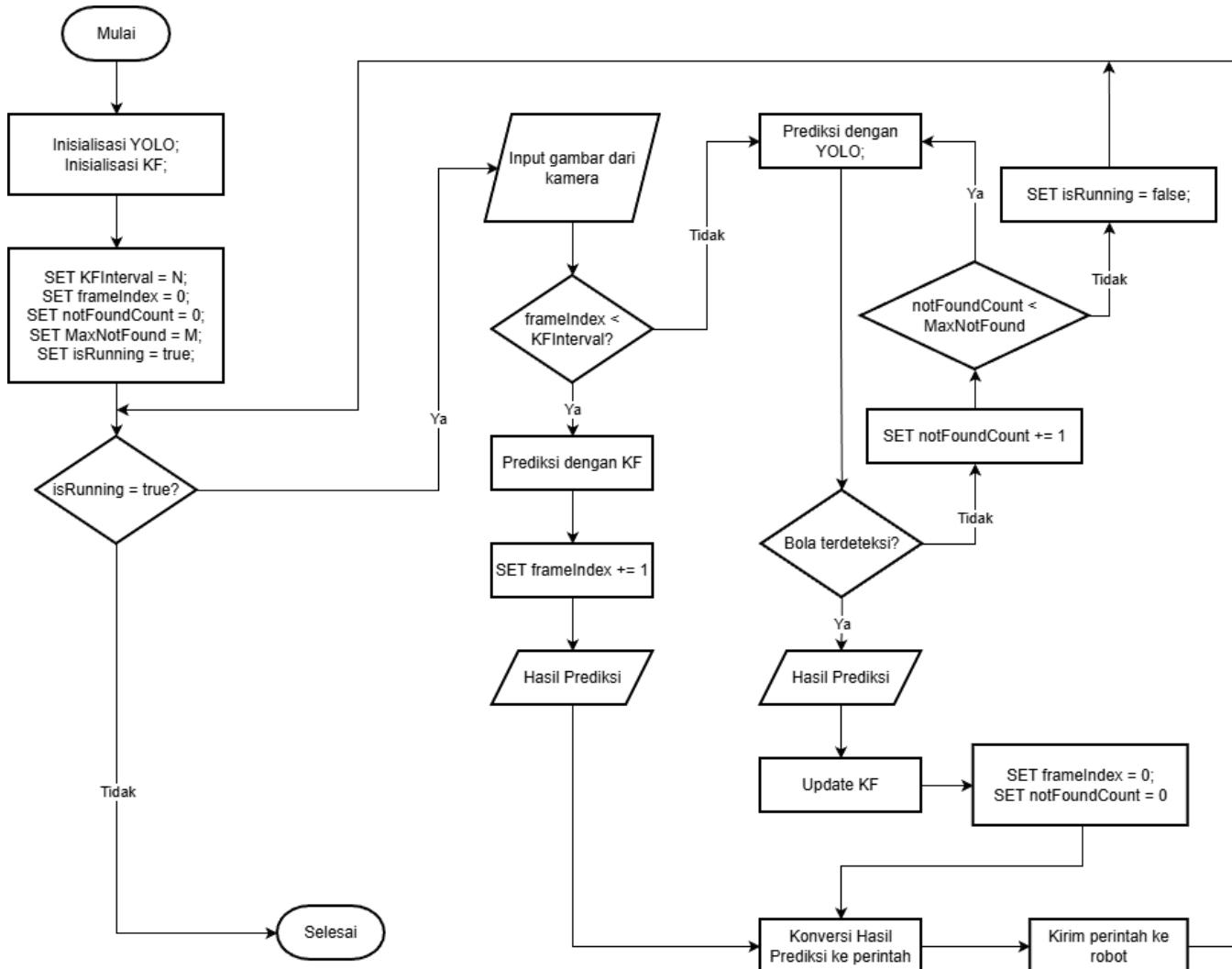
Alur Data:

- Kamera → Deteksi & Prediksi → Perintah Gerak → Arduino

Strategi Utama – *Frame Skipping*

- **Konsep:** Tidak menjalankan YOLO di setiap *frame* untuk menghemat *resource*.
- **Siklus Kerja:**
 - **Frame 1 (Measurement):** YOLO aktif mendeteksi posisi bola → *Update Kalman Filter*.
 - **Frame 2-5 (Prediction Only):** YOLO **dimatikan**. Posisi bola diprediksi murni oleh *Kalman Filter*. Beban komputasi turun drastis.
 - **Frame 6 (Correction):** YOLO aktif kembali untuk mengoreksi posisi jika prediksi melenceng.
- **Penanganan Loss:** Jika bola tertutup (*occlusion*), *Kalman Filter* tetap memprediksi jalur bola hingga batas toleransi 5-30 *frame* sebelum dianggap hilang (*lost track*).

Strategi Utama – *Frame Skipping*



Gambar 16 Strategi *Frame Skipping*

Skenario Pengujian & Evaluasi

- **Metode Komparatif:** Membandingkan kondisi *Baseline* (YOLO murni) vs *Optimized* (YOLO + *Kalman Filter*).
- **Skenario Uji:**
 - **Uji Komputasi:** Mengukur peningkatan FPS dan stabilitas di laptop.
 - **Uji Akurasi & Occlusion:** Mengukur seberapa akurat prediksi posisi saat bola bergerak lurus dan saat bola ditutup penghalang.
 - **Uji Respons Robot:** Mengukur *jitter* (guncangan perintah) saat bola bergerak cepat.
- **Metrik:** FPS, RMSE (*Root Mean Squared Error*), dan Frekuensi *Command Switching*.

Terima Kasih