



PROPOSAL

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

Oleh:

FIKRI RIVANDI

2207112583

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

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR TABEL.....	iv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	5
1.3. Tujuan Penelitian	6
1.4. Batasan Masalah.....	6
1.5. Manfaat Penelitian	6
1.6. Sistematika Penulisan	7
BAB II LANDASAN TEORI	9
2.1. Penelitian Terdahulu	9
2.2. Kompetisi Robot Sepak Bola Beroda Indonesia.....	20
2.3. Robot Sepak Bola Beroda	20
2.4. Python	22
2.5. OpenCV	22
2.6. <i>Machine Learning</i>	23
2.7. Kalman Filter	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	25
3.1. Kerangka Pikiran.....	25
3.2. Studi Literatur	25
3.3. Identifikasi Masalah	25
DAFTAR PUSTAKA	26

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Robot sepak bola beroda	21
---	----

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Penelitian terdahulu.....	17
--------------------------------------	----

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 *Artificial Intelligence* (AI) dan *machine learning* (ML) (Widodo et al., 2024). Teknologi ini memungkinkan sistem komputer tidak hanya melakukan perhitungan, tetapi juga belajar dari data, mengenali pola, serta mengambil keputusan secara mandiri (Wijaya & Yuniarto, 2024).

Salah satu cabang dari AI yang banyak dimanfaatkan adalah *computer vision*. *Computer vision* merupakan cabang dari kecerdasan buatan yang berfokus pada kemampuan komputer dan sistem untuk mengekstraksi informasi bermakna dari citra digital, video, maupun data visual lainnya. Informasi yang diperoleh kemudian dapat digunakan untuk mengambil keputusan, memberikan rekomendasi, atau menjalankan suatu tindakan tertentu. Jika kecerdasan buatan secara umum memungkinkan komputer untuk berpikir, maka *computer vision* memberikan kemampuan bagi komputer untuk melihat, mengenali, serta memahami lingkungan visual di sekitarnya (Baskoro et al., 2022).

Robotika merupakan bidang interdisipliner yang berfokus pada kajian mengenai robot, di mana ilmu pengetahuan, teknologi, dan rekayasa saling berhubungan. Hasil akhirnya berupa mesin yang dapat menirukan perilaku manusia atau menjalankan instruksi tertentu melalui pemrograman. Keberhasilan dalam bidang robotika memerlukan pemahaman dasar mengenai teknik untuk merancang dan membangun robot secara fisik, pengetahuan rekayasa untuk memahami cara kerja setiap komponennya, serta kemampuan pemrograman untuk mengatur fungsi dan perilaku robot tersebut (Hendrik & Awal, 2023).

Robot konvensional umumnya didesain untuk beroperasi pada lingkungan yang terstruktur dan terbatas dengan algoritma tugas yang telah diprogram secara statis. Akan tetapi, kenyataannya lingkungan kerja sering bersifat dinamis dan tidak terduga, sehingga dibutuhkan sistem yang lebih adaptif dan fleksibel. Pada titik

inilah kecerdasan buatan memiliki peran penting. Dengan memanfaatkan teknologi seperti *machine learning*, *computer vision*, dan kecerdasan buatan lainnya, robot modern mampu mengenali objek, memahami kondisi lingkungan, mengambil keputusan, serta belajar dari pengalaman secara mandiri (Ritonga & Hasibuan, 2025). 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*. HSV adalah model warna yang merepresentasikan persepsi warna sebagaimana ditangkap oleh mata manusia. Citra dengan format HSV dimanfaatkan dalam penerapan algoritma *image thresholding* guna mendeteksi warna objek. Selanjutnya, hasil dari proses *thresholding* tersebut digunakan dalam algoritma *Convex Hull*, di mana apabila bola berhasil terdeteksi, maka sistem akan menghitung ukuran objek, menentukan titik pusatnya, serta memperoleh koordinat posisi objek (x, y) relatif terhadap posisi robot saat ini (Nanda et al., 2023).

Kelemahan metode HSV adalah ketergantungannya pada kondisi pencahayaan, sehingga akurasi deteksi menjadi tidak stabil dalam situasi lapangan yang dinamis (Nanda et al., 2023). Hal ini diperkuat oleh temuan yang menunjukkan bahwa intensitas cahaya berpengaruh signifikan terhadap akurasi deteksi objek. Misalnya, deteksi objek robot magenta mencapai akurasi di atas 75% pada intensitas 9–19 Lux dan sekitar 33 Lux, sementara robot *cyan* mampu

mencapai 80% akurasi pada rentang 9–24 Lux. Deteksi bola menunjukkan akurasi di atas 70% pada intensitas 14–33 Lux, sedangkan gawang memiliki akurasi lebih dari 70% pada kisaran 24–33 Lux, meskipun akurasinya menurun apabila terdapat objek lain di depannya. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan metode berbasis HSV sangat dipengaruhi oleh kondisi pencahayaan, yang membatasi konsistensi performa deteksi objek di lapangan.

Seiring perkembangan teknologi, metode *deep learning*, khususnya YOLO (*You Only Look Once*), mulai diterapkan untuk meningkatkan akurasi deteksi objek pada robot KRSBI Beroda milik ERC UNRI. 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 membuktikan 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).

Selain itu, pada proses deteksi objek juga sering terjadi permasalahan seperti *occlusion* (oklusi) dan *false negative detection*. Fenomena oklusi, di mana sebagian objek tertutup oleh penghalang tertentu, merupakan masalah fundamental dalam deteksi objek. Oklusi merupakan penyebab utama yang meningkatkan *false-negative detection rate*, yang pada dapat menurunkan kinerja deteksi secara keseluruhan. Objek yang teroklusi ini dikategorikan sebagai *hard-positive examples* yang sulit dideteksi oleh model. Oleh karena itu, oklusi dan *false-negative* adalah hal yang harus diperhatikan untuk mencapai optimalitas dalam penggunaan *object detection* (Ryu & Chung, 2021).

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. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Yuztiawan & Utaminingrum (2017) juga memperkuat hal ini, di mana integrasi model YOLOv8N dengan Kalman Filter pada kondisi lingkungan dengan banyak objek mampu meningkatkan akurasi dan stabilitas deteksi serta pelacakan hingga 91,66%. Bahkan, penggunaan Kalman Filter terbukti meningkatkan kinerja pelacakan sebesar 25% dibandingkan hanya menggunakan YOLOv8N saja. Menariknya, penambahan algoritma tersebut hanya memberikan tambahan waktu komputasi rata-rata sekitar 0,0076 detik per *frame* (sekitar 7,92%), sehingga sistem tetap mampu bekerja secara *real-time*. Dengan demikian, Kalman Filter tidak hanya meningkatkan akurasi pelacakan, tetapi juga tetap mempertahankan efisiensi komputasi yang sangat penting bagi robot kompetitif dengan keterbatasan perangkat keras.

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan, peneliti tertarik untuk meneliti dengan judul “Optimasi Gerakan Robot Sepak Bola Menggunakan Kalman Filter Pada Deteksi Bola Berbasis YOLO”. 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.

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 “*CNN-Based Ball and Goal Detection for KRSBI Robot with Omnidirectional Camera*” dilakukan oleh Farhan & Candra (2025). Penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem deteksi bola dan gawang berbasis visi komputer pada robot KRSBI Beroda menggunakan kamera omnidirectional. Metode tradisional seperti HSV color filtering sebelumnya banyak digunakan karena implementasinya sederhana, namun performanya sangat bergantung pada intensitas cahaya sehingga tidak stabil dalam kondisi pencahayaan yang bervariasi. Untuk mengatasi kelemahan tersebut, penelitian ini mengusulkan penerapan algoritma *You Only Look Once (YOLO)* yang berbasis *Convolutional Neural Network (CNN)* guna meningkatkan akurasi dan keandalan deteksi objek secara real-time. Dataset yang digunakan terdiri dari 1.125 citra dengan variasi pencahayaan dan posisi objek yang berbeda, kemudian dibagi menjadi 80% data pelatihan dan 20% data validasi. Model YOLOv8 dilatih menggunakan *Ultralytics* di platform Google Colab selama 100 *epoch*. Hasil pelatihan menunjukkan performa deteksi yang sangat tinggi, dengan tingkat akurasi sebesar 95,87%, *precision* mencapai 1.00 pada *confidence threshold* 0.921, *recall* sebesar 0.99, dan nilai *F1-Score* maksimum 0.97 pada *confidence* 0.149. Berdasarkan kurva *precision–confidence*, model dapat menghasilkan deteksi tanpa *false positive* pada ambang kepercayaan tinggi, sedangkan kurva *recall–confidence* menunjukkan kemampuan model mendeteksi hampir semua objek meskipun pada nilai

confidence yang rendah. Hasil penelitian ini membuktikan bahwa model YOLOv8 berbasis CNN mampu memberikan solusi yang tangguh dan efisien untuk sistem deteksi bola dan gawang secara real-time pada robot sepak bola beroda. Selain itu, performa model menunjukkan tingkat stabilitas yang baik terhadap perubahan pencahayaan dan posisi objek, sehingga metode ini dinilai efektif untuk diterapkan pada sistem persepsi visual robot KRSBI Beroda.

Kedua, penelitian yang berjudul “Implementasi *Object Detection* pada Robot Sepak Bola Beroda Berbasis Kamera *Omnidirectional* Menggunakan Opencv” dilakukan oleh Nanda et al. (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 Nuralim et al. (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 Sholehurrohman et al. (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 C. Saputra (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.

Penelitian selanjutnya yang relevan berjudul “*Detection and Recognition of Moving Video Objects: Kalman Filtering with Deep Learning*” yang dilakukan oleh Mohammed & Hussain (2021). Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan akurasi dalam proses deteksi dan pengenalan objek bergerak dalam urutan video. Tujuan ini diangkat karena adanya faktor penghalang seperti jarak deteksi kamera atau kekaburan (*blurring*) gambar yang dapat mengurangi akurasi teknik yang ada. Untuk mencapai akurasi yang lebih tinggi, metode yang diusulkan adalah sistem

hibrida yang menggabungkan Kalman Filter dengan Deep Learning menggunakan *Convolutional Neural Network* (CNN). Kalman Filter diterapkan pada tahap awal deteksi untuk menghilangkan latar belakang dan memotong objek, serta berfungsi sebagai estimator rekursif yang mampu memprediksi lokasi objek di masa depan, mengurangi *noise* dari deteksi yang salah, dan mengasosiasikan multi-objek ke treknya. Setelah itu, model CNN akan memprediksi kategori objek yang sudah dideteksi dan dipotong. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa pendekatan hibrida ini berhasil mencapai akurasi pengenalan hingga 100% pada 8 video berbeda. Hasil ini menunjukkan superioritas sistem yang diusulkan dibandingkan dengan enam algoritma lain yang ada.

Penelitian selanjutnya adalah studi berjudul "Optimized Object Tracking Technique Using Kalman Filter" yang dilakukan oleh Taylor et al. (2016). Penelitian ini berfokus pada pengembangan teknik pelacakan objek yang efisien untuk mengatasi masalah waktu pemrosesan yang tinggi dalam pendeteksian objek di tengah adegan yang berantakan (*cluttered scene*). Metode konvensional pelacakan berbasis fitur seperti SIFT (*Scale Invariant Feature Transform*) atau SURF (*Speeded Up Robust Feature*) dinilai akurat, tetapi membutuhkan waktu pemrosesan yang lebih tinggi. Sebaliknya, metode berbasis warna memiliki waktu pemrosesan yang lebih cepat, namun akurasi yang terbatas. Kalman Filter digunakan dalam penelitian ini adalah untuk mengatasi kompromi tersebut dan meningkatkan efisiensi komputasi, khususnya untuk aplikasi *real-time* seperti pada sistem robotik. Kalman Filter berperan sebagai estimator rekursif yang efisien untuk memprediksi lokasi objek di frame berikutnya berdasarkan status saat ini dan model gerakan objek (diasumsikan kecepatan konstan). Prediksi lokasi ini memungkinkan sistem hanya mencari objek dalam jendela gambar yang dipotong (*cropped image*) yang ukurannya jauh lebih kecil daripada keseluruhan *frame* video. Dengan demikian, waktu pemrosesan pendeteksian objek dapat diminimalkan secara signifikan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi Kalman Filter dengan teknik *cropping* secara signifikan mempercepat waktu pemrosesan sambil mempertahankan tingkat akurasi yang tinggi. Waktu pemrosesan menjadi lebih cepat ketika ukuran jendela pencarian (*search window*)

diperkecil. Untuk menyeimbangkan antara waktu pemrosesan yang minimal dan kesalahan jarak (*distance error*) yang minimal, penelitian ini menyimpulkan bahwa ukuran jendela pencarian yang optimal adalah 2.16 kali dimensi terbesar objek. Pada ukuran ini, terdapat penurunan signifikan dalam waktu pemrosesan sekaligus memastikan objek terdeteksi dengan tingkat keberhasilan yang tinggi, serta pusat objek yang terdeteksi cukup dekat dengan pusat sebenarnya.

Penelitian selanjutnya oleh Yunus Egi (2022), yang berjudul "Basketball self training shooting posture recognition and trajectory estimation using computer vision and Kalman filter", secara khusus berfokus pada peningkatan performa *self-shooting* bola basket, terutama untuk pemain muda, yang sering mengalami kesulitan dan keengganan akibat postur yang salah dan tembakan yang meleset tanpa bimbingan pelatih. Penelitian ini dibuat sebagai upaya untuk menyediakan sistem umpan balik otomatis yang dapat melacak gerakan pemain, mengenali postur, dan mengestimasi lintasan proyektil secara *real-time*. Penelitian ini menggunakan teknik *Computer Vision* (CV) seperti pemisahan saluran warna RGB, *Median Filter*, binarisasi, dan *Area Opening* untuk mendeteksi serta melabeli objek penting—yaitu bola basket dan *T-shirt* pemain. Dengan mengestimasi lintasan proyektil, penelitian ini menunjukkan bahwa lintasan tersebut dipengaruhi secara signifikan oleh ketidakpastian lingkungan, khususnya gaya hambat udara (*air drag force*). Untuk mengatasi *noisy medium* (medium bising) ini dan mengoptimalkan lintasan yang sebenarnya, algoritma Kalman Filter digunakan sebagai filter rekursif canggih untuk memprediksi posisi, kecepatan, dan percepatan objek bergerak serta mengurangi kesalahan prediksi secara berulang. Hasilnya, penelitian ini berhasil menentukan bahwa sudut tembakan optimal (*best shooting angle*) yang menghasilkan skor sukses paling tinggi bagi pemain dengan tinggi 1.73 m dan kecepatan awal 9.5 m/s adalah 50° ketika gaya hambat udara diperhitungkan. Perhitungan ini menunjukkan deviasi yang signifikan; tanpa hambatan udara, jangkauan maksimum horizontal (x_{max}) adalah 10.76 m, namun dengan hambatan udara, x_{max} turun menjadi 5.47 m, menegaskan peran krusial Kalman Filter dalam memprediksi lintasan secara akurat dalam kondisi dunia nyata.

Penelitian selanjutnya adalah “ConfTrack: Kalman Filter-based Multi-Person Tracking by Utilizing Confidence Score of Detection Box” yang diajukan oleh (Jung et al., n.d.). Urgensi penelitian ini muncul dari kelemahan mendasar *tracker* berbasis *Kalman Filter-based Tracking-by-Detection* (KFTBD) konvensional ketika dihadapkan pada hasil deteksi yang *noisy* (kotak dengan *confidence* rendah) dalam situasi ramai. Deteksi berkepercayaan rendah ini terbukti berhubungan dengan nilai *Intersection over Union* (IoU) yang lebih rendah, yang secara langsung mengganggu kinerja pelacakan dan berpotensi menyebabkan *ID switch* atau kegagalan *track*. Untuk mengatasi masalah ini, ConfTrack menyarankan ***peningkatan fungsi Filter Kalman*** yang adaptif terhadap skor kepercayaan. Fungsi utama Filter Kalman dalam penelitian ini tetap sebagai *estimator* yang memprediksi dan memperbarui status *track*, namun ditambahkan tiga metode utama untuk menanggulangi *noise*, yaitu *Confidence Weighted Kalman-Update* (CW) untuk melakukan modifikasi pada pengukuran target Kalman Filter. Jika skor kepercayaan deteksi rendah, pengukuran yang digunakan akan lebih condong ke prediksi Kalman Filter, alih-alih deteksi mentah (*noisy*). Kemudian menggunakan *Noise Scale Adaptive Kalman Filter* (NK) untuk memperkuat kovariansi *noise* ruang pengukuran yang digunakan untuk menghitung *Kalman gain* ketika skor kepercayaan rendah. Hal ini secara efektif memberikan penalti pada deteksi berkepercayaan rendah di tahap *matching*. Terakhir, menggunakan *Constant Box Prediction* (CP) untuk Menstabilkan prediksi Filter Kalman untuk *lost track* dengan mengatur variasi ukuran kotak menjadi nol, meminimalkan dampak *noise* pada prediksi dimensi kotak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi metode berbasis Filter Kalman ini, khususnya NK, memberikan kontribusi paling konsisten dalam menaikkan metrik pelacakan. ConfTrack terbukti paling kuat di lingkungan ramai dan berkinerja baik dalam berbagai situasi, mencapai skor HOTA (*Higher Order Tracking Accuracy*) dan IDF1 (*Identification F1 Score*) tertinggi pada *dataset* MOT20 (*Multiple Object Tracking Benchmark* 2020). Pencapaian IDF1 tertinggi menunjukkan bahwa ConfTrack sangat kuat terhadap *noise* deteksi di lingkungan ramai, memungkinkannya melacak secara stabil dengan tingkat *missing track* yang rendah

dan menghasilkan *trajectory* yang stabil saat terjadi oklusi. Dengan demikian, penelitian ini menegaskan kembali peran krusial Kalman Filter dalam *multi-person tracking*, khususnya melalui penyesuaian adaptif terhadap kualitas data input deteksi.

Penelitian selanjutnya adalah “Automatic pear and apple detection by videos using deep learning and a Kalman filter” oleh Takura et al. (2021). Penelitian ini mengatasi tantangan krusial dalam otomatisasi pertanian, yaitu estimasi jumlah buah di kebun secara akurat. Proses penghitungan buah dibagi menjadi dua langkah penting: deteksi buah dan pelacakan buah (*tracking*) melalui urutan *frame* gambar. Urgensi pelacakan muncul karena kondisi lapangan yang tidak stabil, seperti perubahan pencahayaan di bawah kanopi pohon, serta kemungkinan buah tertutup oleh daun atau ranting (*occlusion*), yang dapat menyebabkan kegagalan deteksi di beberapa *frame*. Tanpa pelacakan yang andal, buah yang muncul kembali setelah tersembunyi dapat dihitung ganda (*double-counted*), sehingga hasil penghitungan menjadi tidak akurat. Untuk mengatasi masalah ini, metode deteksi objek berbasis *deep learning* YOLO v2 digunakan untuk mengidentifikasi buah di setiap *frame*. Kemudian, Kalman Filter diterapkan untuk ***pelacakan objek***. Fungsi utama Kalman Filter adalah sebagai *estimator* yang ***memprediksi dan mengoreksi status*** (posisi dan kecepatan) buah yang sedang dilacak, bahkan ketika deteksi buah gagal di *frame* tersebut. Ini memastikan bahwa buah yang sama dapat terus diidentifikasi di *frame* yang berurutan, meskipun sempat tidak terdeteksi. Hasilnya menegaskan efektivitas integrasi ini: sistem berhasil menghitung buah pir dan apel secara otomatis dengan kesalahan absolut kurang dari 10%. Secara spesifik, dari total 234 buah pir, 226 buah berhasil dihitung dengan benar, menghasilkan nilai F1 sebesar 0.972. Performa Kalman Filter juga terbukti jauh lebih unggul dibanding algoritma pelacakan fitur Kanade-Lucas-Tomasi (KLT), yang menyebabkan penghitungan berlebih (*over-counted*). Dengan demikian, penelitian ini menunjukkan bahwa Kalman Filter sangat efektif dan esensial dalam menstabilkan proses penghitungan objek bergerak pada video di lingkungan yang tidak terkontrol.

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 & 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 Opencv	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 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 Filter</i> , <i>Correlation 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 Feature</i>	Metode <i>color 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.
--	--------------------------	--	---	--	--	--	---

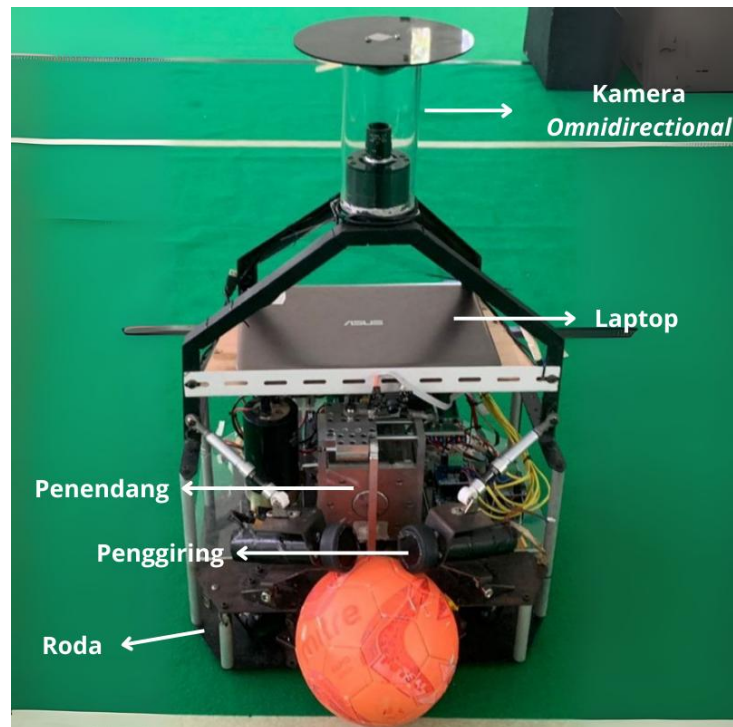
2.2. Kompetisi Robot Sepak Bola Beroda Indonesia

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

Dalam KRSBI Beroda, robot yang digunakan pada tahap ini merupakan robot yang sama seperti yang dipakai pada pertandingan tingkat nasional, dengan beberapa ketentuan khusus. Jumlah robot yang diizinkan adalah dua unit, yaitu Robot 1 (R1) dan Robot 2 (R2), keduanya bertipe robot penyerang. Adapun spesifikasi fisik robot diatur dengan ukuran proyeksi ke lantai minimal 30 cm × 30 cm dan maksimal 52 cm × 52 cm, dengan tinggi robot antara 40 cm hingga 80 cm. Jika tinggi robot melebihi 60 cm, maka bagian tubuh robot di atas ketinggian tersebut harus berada dalam silinder berdiameter 25 cm. Berat maksimum robot ditetapkan 40 kg, sedangkan bentuk robot dibuat bebas selama sesuai regulasi, dan warna yang digunakan adalah hitam (Kusumoputro et al., 2024).



Gambar 2.1. Robot sepak bola beroda

Robot yang digunakan dalam Kontes Robot Sepak Bola Indonesia (KRSBI) Beroda memiliki bentuk khas menyerupai kubus dengan berbagai komponen penting yang berfungsi mendukung pergerakan serta kemampuan bermain sepak bola. Gambar 2.1 memperlihatkan salah satu contoh robot KRSBI Beroda yang dilengkapi dengan berbagai sistem pendukung.

. Kamera *omnidirectional* ditempatkan di bagian atas robot dan berfungsi untuk mendeteksi objek seperti bola, gawang, maupun robot lawan. Konsep kamera *omnidirectional* adalah menangkap citra dari segala arah (depan, belakang, kiri, dan kanan) menggunakan teknik pantulan cermin cembung yang diarahkan ke bawah (Surya et al., 2025). Dengan cara ini, kamera mampu memperoleh citra lapangan secara menyeluruh hanya dari satu titik pengamatan. Robot dilengkapi dengan penendang berbasis solenoid. Solenoid adalah sebuah komponen elektromagnetik yang berfungsi mengubah energi listrik menjadi energi mekanis. Energi mekanis yang dihasilkan dapat berupa gerakan mendorong (*push*) maupun menarik (*pull*) (Shofi et al., 2023).

Pada bagian depan robot terdapat roda kecil yang dipasang motor penggerak dan berputar ke arah dalam tubuh robot. Roda ini berfungsi untuk menangkap dan menahan bola ketika robot bergerak, sehingga bola tetap berada di depan robot dan tidak mudah terlepas. Bagian terakhir adalah roda yang berfungsi sebagai sistem penggerak robot. Pada robot KRSBI Beroda digunakan tiga roda utama agar pergerakan lebih fleksibel. Setiap roda terdiri dari dua komponen, yaitu motor dengan kecepatan putar sekitar 500 rpm yang menjadi sumber tenaga penggerak, serta *omni-wheel* yang memungkinkan robot dapat bergerak bebas ke berbagai arah.

2.4. Python

Python merupakan salah satu bahasa pemrograman tingkat tinggi yang bersifat interpreter, interaktif, dan berorientasi objek, serta dapat dijalankan di berbagai *platform* seperti Linux, Windows, Mac, maupun sistem lainnya. Bahasa ini dikenal mudah dipelajari karena memiliki sintaks yang sederhana dan rapi, serta dilengkapi dengan beragam modul yang menyediakan struktur data tingkat tinggi yang efisien dan siap pakai (Ratna, 2020).

2.5. OpenCV

OpenCV (*Open Source Computer Vision Library*) adalah sebuah pustaka perangkat lunak yang dirancang khusus untuk pengolahan citra secara *real-time*. Pustaka ini awalnya dikembangkan oleh Intel dan kini didukung oleh Willow Garage serta Itseez. OpenCV didistribusikan dengan lisensi BSD yang bersifat permisif, sehingga lebih fleksibel dibandingkan GPL dan dapat digunakan secara bebas, termasuk untuk kepentingan komersial tanpa kewajiban membuka kode sumber. Selain itu, OpenCV menyediakan antarmuka yang kompatibel dengan berbagai bahasa pemrograman seperti C++, C, Python, dan Java, serta dapat dijalankan pada beragam sistem operasi, di antaranya Windows, Linux, Mac OS, iOS, dan Android. Pustaka ini dirancang untuk efisiensi komputasi dengan fokus utama pada aplikasi berbasis real-time (C. Saputra, 2023).

Modul pustaka OpenCV dirancang dengan tingkat fleksibilitas dan ketangguhan yang tinggi untuk menangani berbagai permasalahan dalam bidang *computer vision*. Berbagai solusi telah tersedia di dalamnya, seperti pemotongan

citra (*cropping*), peningkatan kualitas citra melalui penyesuaian kecerahan, ketajaman, dan kontras, pendeteksian bentuk, segmentasi citra, pelacakan objek bergerak, hingga pengenalan objek, serta beragam fungsi lainnya (Ratna, 2020).

2.6. Machine Learning

Machine learning merupakan suatu sistem komputer yang dirancang untuk belajar dari data dalam menyelesaikan permasalahan dengan memanfaatkan pendekatan statistik dan komputasional. Prosesnya melibatkan algoritma yang mampu mengidentifikasi pola pada data, kemudian menggunakan pola tersebut untuk membuat prediksi maupun keputusan. Tingkat keberhasilan model dalam memberikan rekomendasi atau prediksi sangat ditentukan oleh kualitas, kuantitas, serta relevansi data terhadap permasalahan yang sedang ditangani (Wijaya & Yuniarto, 2024). *Machine learning* dapat dipahami sebagai cabang ilmu komputer sekaligus pendekatan dalam *Artificial Intelligence*, di mana mesin dirancang sedemikian rupa sehingga mampu memprogram dirinya sendiri maupun melakukan perbaikan secara mandiri (Pradana & Mada, 2025).

2.7. Kalman Filter

Kalman Filter adalah metode matematis yang digunakan untuk memperkirakan nilai suatu variabel dengan tingkat kesalahan yang minimal. Prosesnya terdiri dari dua tahap utama, yaitu prediksi dan koreksi. Prediksi menghasilkan nilai awal yang kemudian diperiksa pada tahap koreksi untuk mengurangi kesalahan dan memperbaiki estimasi. Dengan mekanisme ini, Kalman Filter mampu memberikan hasil estimasi yang lebih akurat dan stabil (Yuztiawan & Utaminigrum, 2017).

Kalman Filter dinamai dari penciptanya, Rudolf Kalman. Algoritma ini bekerja dengan menerima sejumlah data yang mengandung *noise*, kemudian menyaringnya untuk meminimalkan gangguan tersebut. Karena dirancang pada ruang *linear*, Kalman Filter juga dikenal dengan istilah *linear quadratic estimation* (Sholehurrohman et al., 2023). 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).

Secara sederhana, berikut merupakan persamaan matematika algoritma Kalman Filter pada Persamaan 1.

$$\hat{X}_{\bar{k}} = K_k \cdot Z_k + (1 - K_k) \cdot \hat{X}_{k-1} \quad (1)$$

Keterangan:

$\hat{X}_{\bar{k}}$: Estimasi saat ini

K_k : *Kalman Gain*

Z_k : Nilai dari hasil pendeteksian prediksi

\hat{X}_{k-1} : Estimasi sebelumnya

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

- 3.1. Kerangka Pikiran**
- 3.2. Studi Literatur**
- 3.3. Identifikasi Masalah**

DAFTAR PUSTAKA

- Baskoro, G. Y., Afrisal, H., & Sofwan, A. (2022). Perancangan Sistem Deteksi Objek Berbasis Convolutional Neural Network Menggunakan Yolov4 Dan Opencv. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 11(4), 128–020637. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient>
- Egi, Y. (2022). *Basketball self training shooting posture recognition and trajectory estimation using computer vision and Kalman filter*. 73, 19–27.
- Farhan, T. M., & Candra, F. (2025). CNN-Based Ball and Goal Detection for KRSBI Robot with Omnidirectional Camera. *International Journal of Electrical, Energy and Power System Engineering*, 8(2), 86–98. <https://doi.org/10.31258/ijeepse.8.2.1-13>
- 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>
- Hendrik, B., & Awal, H. (2023). Pengenalan Teknologi Robot Pada Anak Sekolah Dasar. *Jurmas Bangsa*, 1(1), 46–52. <https://doi.org/10.62357/jpb.v1i1.140>
- Jung, H., Kang, S., Kim, T., Kim, H., Klemove, H. L., & Korea, R. (n.d.). *ConfTrack: Kalman Filter-based Multi-Person Tracking by Utilizing Confidence Score of Detection Box*. 6583–6592.
- 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.
- Mohammed, H. R., & Hussain, Z. M. (2021). *Detection and Recognition of Moving Video Objects : Kalman Filtering with Deep Learning*. 12, 154–157.
- 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.
- Nuralim, J., Fath, N., Musafa, A., Sujono, & Broto, D. S. (2022). Perancangan Sistem Pendeteksian Obyek Bola Dengan Metode Framework YOLOv4. *Jurnal Maestro*, 5(2), 289–294. <https://jom.ft.budiluhur.ac.id/index.php/maestro/article/view/531>
- Pradana, F. A., & Mada, U. G. (2025). Penggunaan Artificial Intelligence dan Machine Learning dalam Pembelajaran Ilmu Eksakta. *Skripsi, October 2023*, 1–89. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21555.95527>
- 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>
- Ritonga, A. A., & Hasibuan, E. R. (2025). *Eksplorasi Masa Depan Robotika : Integrasi Kecerdasan Buatan dalam Sistem Automasi Adaptif Berbasis Lingkungan. 1*, 387–393.
- Ryu, S. E., & Chung, K. Y. (2021). Detection model of occluded object based on yolo using hard-example mining and augmentation policy optimization. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(15). <https://doi.org/10.3390/app11157093>
- 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.
- Shofi, M., Basuki, B. M., & Habibi, A. (2023). Rancang Bangun Penendang Bola Pada Robot Soccer Unisma Menggunakan Solenoid. *Science Electro*, 16(4), 1–7.
- 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>

- Surya, M., Nehemia Toscani, A., Saputra, C., Pratama, Y., & Bustami, M. I. (2025). Penggunaan Yolo Untuk Deteksi Robot Dan Gawang Pada Robot Sepak Bola Beroda. *The Indonesian Journal of Computer Science*, 14(1), 1055–1070. <https://doi.org/10.33022/ijcs.v14i1.4575>
- Takura, K. E. I., Arita, Y. U. M. A. N., & Oaki, S. H. N. (2021). *Automatic pear and apple detection by videos using deep learning and a Kalman filter*. 4(5), 1688–1695.
- Taylor, L. E., Mirdanies, M., & Saputra, R. P. (2016). *OPTIMIZED OBJECT TRACKING TECHNIQUE USING KALMAN*. 07, 57–66. <https://doi.org/10.14203/j.mev.2016.v7.57-66>
- Widodo, Y. B., Sibuea, S., & Narji, M. (2024). Kecerdasan Buatan dalam Pendidikan: Meningkatkan Pembelajaran Personalisasi. *Jurnal Teknologi Informatika Dan Komputer*, 10(2), 602–615. <https://doi.org/10.37012/jtik.v10i2.2324>
- Wijaya, G. F., & Yuniarto, D. (2024). Tinjauan Penerapan Machine Learning pada Sistem Rekomendasi Menggunakan Model Klasifikasi. *Populer: Jurnal Penelitian Mahasiswa*, 3(4), 144–153. <https://doi.org/10.58192/populer.v3i4.2798>
- Yuztiawan, F. R., & Utaminingrum, F. (2017). Implementasi Metode Kalman Filter Dan Model YOLOv8N Untuk Fitur Human-Following Pada Kursi Roda Pintar. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 1(1), 2548–2964.