

ABSTRAK

TRACKING GERAKAN BOLA PADA PERTANDINGAN SEPAK BOLA MENGGUNAKAN METODE KALMAN FILTER

Nama : Romidi Saputra Jaya

NPM : 2155201200

Pembimbing : Gunawan, S.Kom., M.Kom

Perkembangan teknologi pengolahan citra digital memungkinkan analisis otomatis terhadap objek bergerak dalam video, termasuk pada pertandingan sepak bola. Salah satu permasalahan utama dalam analisis pertandingan adalah melakukan pelacakan gerakan bola secara akurat dan stabil meskipun terdapat noise, perubahan arah yang cepat, serta kemungkinan oklusi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem tracking gerakan bola menggunakan metode Kalman Filter guna meningkatkan kestabilan dan akurasi pelacakan objek pada video pertandingan sepak bola. Metode yang digunakan meliputi tahap deteksi objek bola pada setiap frame video, kemudian dilakukan proses prediksi dan koreksi menggunakan algoritma Kalman Filter untuk memperkirakan posisi bola secara berkelanjutan. Sistem dikembangkan menggunakan MATLAB berbasis Graphical User Interface (GUI) untuk memudahkan proses pengujian dan analisis. Evaluasi kinerja sistem dilakukan menggunakan confusion matrix dengan parameter accuracy, precision, recall, dan F1-score. Hasil pengujian terhadap 30 video uji menunjukkan nilai precision sebesar 83%, recall sebesar 100%, accuracy sebesar 83%, dan F1-score sebesar 90,7%. Nilai recall yang tinggi menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi seluruh objek bola tanpa kehilangan deteksi, sedangkan nilai F1-score mengindikasikan keseimbangan performa yang sangat baik antara ketepatan dan kelengkapan deteksi. Berdasarkan hasil tersebut, metode Kalman Filter terbukti efektif dalam melakukan pelacakan gerakan bola secara stabil dan akurat pada pertandingan sepak bola.

Kata Kunci: Tracking Objek, Bola Sepak, Kalman Filter, Pengolahan Citra Digital, Confusion Matrix.

ABSTRACT

Ball Motion Tracking in Soccer Matches Using the Kalman Filter Method

Name : Romidi Saputra Jaya

NPM : 2155201200

Advisor : Gunawan, S.Kom., M.Kom

The advancement of digital image processing technology enables automated analysis of moving objects in video recordings, including football matches. One of the primary challenges in match analysis is tracking the ball's movement accurately and consistently despite noise, rapid directional changes, and potential occlusions. This study aims to design and implement a ball tracking system using the Kalman Filter method to improve the stability and accuracy of object tracking in football match videos. The proposed method consists of an initial ball detection process in each video frame, followed by prediction and correction stages using the Kalman Filter algorithm to continuously estimate the ball's position. The system was developed using MATLAB with a Graphical User Interface (GUI) to facilitate testing and analysis. System performance was evaluated using a confusion matrix with accuracy, precision, recall, and F1-score as evaluation metrics. The experimental results from 30 test videos show a precision of 83%, recall of 100%, accuracy of 83%, and an F1-score of 90.7%. The high recall value indicates that the system successfully detected all ball objects without missing any instances, while the F1-score demonstrates a strong balance between detection accuracy and completeness. Based on these results, the Kalman Filter method is proven to be effective in providing stable and accurate ball tracking in football matches.

Keywords: Object Tracking, Football Ball, Kalman Filter, Digital Image Processing, Confusion Matrix.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sepak bola telah bertransformasi menjadi bidang yang tidak hanya mengandalkan intuisi, tetapi juga didorong oleh data dan analisis teknologi. Dalam pertandingan modern, kemampuan untuk menganalisis pergerakan setiap pemain dan bola secara real-time menjadi kunci untuk pengambilan keputusan strategis, baik oleh pelatih di pinggir lapangan maupun para analis. Namun, proses pelacakan objek yang cepat dan dinamis seperti bola sepak menghadapi tantangan teknis yang signifikan (Putra and Puriyanto, 2021). Data koordinat bola yang ditangkap oleh kamera atau sensor sering kali terkontaminasi oleh noise, gangguan akibat halangan visual (seperti tubuh pemain atau bayangan), serta momen-momen ketika bola menghilang dari pandangan kamera secara singkat. Ketidakteraturan ini menyebabkan data posisi bola menjadi tidak akurat dan tidak konsisten, sehingga mengurangi keandalan analisis lebih lanjut, seperti menghitung kecepatan bola, menganalisis lintasan tendangan, atau melakukan automated offside detection (Zamrifho et al., 2024).

Berbagai metode telah diimplementasikan untuk menangani tantangan pelacakan objek dalam olahraga. Pendekatan konvensional banyak mengandalkan algoritma deteksi berbasis warna atau bentuk, yang kinerjanya sangat rentan terhadap kondisi lingkungan. Perkembangan terkini memanfaatkan jaringan saraf tiruan (deep learning) untuk deteksi objek yang lebih robust, namun metode ini

membutuhkan sumber daya komputasi yang besar dan dataset latih yang sangat banyak (Omong, Putro and Litouw, 2025). Di sisi lain, pendekatan filtrian seperti Kalman Filter telah lama terbukti kehandalannya dalam bidang navigasi dan kontrol untuk mengestimasi keadaan sistem dinamis dari serangkaian data pengukuran yang mengandung noise (Shafira Zahra Anisa, Wibowo and Meta Kallista, 2025). Dalam konteks sepak bola, penerapan Kalman Filter menawarkan solusi yang elegan karena mampu mengintegrasikan model gerak dengan data observasi secara efisien.

Penelitian ini menghadirkan nilai kebaruan melalui implementasi dan optimasi Kalman Filter yang secara spesifik dimodelkan untuk karakteristik gerak bola sepak. Berbeda dengan aplikasi pelacakan umum, penelitian ini akan memodelkan dinamika bola yang unik, yang menggabungkan fase bergulir di tanah, melayang di udara, serta mempertimbangkan dampak pantulan. Model gerak ini akan diintegrasikan ke dalam kerangka kerja Kalman Filter untuk membedakan gerak bola yang natural dari noise atau deteksi palsu. Dengan kata lain, keaslian penelitian terletak pada perancangan model dinamika yang kontekstual dan strategi asosiasi data yang dirancang untuk mengatasi tantangan oklusi yang sering terjadi di lapangan hijau.

Urgensi penelitian ini juga muncul dari kebutuhan akan sebuah sistem yang mampu menghasilkan estimasi posisi bola yang lebih halus, akurat, dan andal dari data mentah yang bervariasi. Metode pelacakan konvensional yang hanya mengandalkan deteksi frame-per-frame sering kali gagal mengatasi problem noise dan oklusi ini. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan

penerapan Kalman Filter sebagai solusi inti. Justifikasi pemilihan metode ini terletak pada kemampuannya yang unggul dalam menggabungkan informasi prediksi model gerak dengan hasil pengukuran sensor. Secara esensial, Kalman Filter tidak hanya "memperbaiki" data noise, tetapi juga mampu memprediksi posisi bola pada saat-saat ia tidak terdeteksi, sehingga menghasilkan sebuah lintasan yang kontinu dan konsisten. Penerapan metode ini dalam konteks pelacakan bola dinilai sangat penting karena dapat menjadi fondasi bagi sebuah sistem analisis pertandingan sepak bola.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pelacakan gerak bola sepak yang robust dengan memanfaatkan Metode Kalman Filter. Secara lebih spesifik, penelitian ini bertujuan untuk membuat sebuah model dinamika yang merepresentasikan pergerakan tipikal bola sepak dalam sebuah pertandingan. Mengimplementasikan algoritma Kalman Filter yang memanfaatkan model tersebut untuk melakukan estimasi dan prediksi posisi bola pada frame berikutnya. Menguji kemampuan sistem dalam menghasilkan lintasan bola yang mulus, akurat, dan bebas dari noise, serta ketahanannya dalam mengatasi kasus kehilangan jejak sementara.

Rancangan sistem dalam penelitian ini akan mengadopsi pendekatan siklus prediksi-koreksi yang menjadi ciri khas Kalman Filter. Secara garis besar, alur kerja dimulai dengan tahap deteksi awal bola pada setiap frame video menggunakan algoritma computer vision yang sederhana. Selanjutnya, Kalman Filter akan berperan dalam dua tahap utama: tahap prediksi, di mana filter memprediksi posisi bola di frame berikutnya berdasarkan model dinamika yang

telah ditetapkan; dan tahap koreksi, di mana prediksi ini akan disesuaikan (dikoreksi) dengan menggunakan data hasil deteksi aktual dari frame tersebut. Pendekatan ini memungkinkan sistem untuk tetap menghasilkan estimasi yang baik bahkan ketika deteksi visual gagal dilakukan untuk sementara waktu.

Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebuah prototipe sistem yang mampu menghasilkan data lintasan gerak bola yang lebih andal dan konsisten dibandingkan dengan metode yang hanya mengandalkan deteksi frame-by-frame. Keluaran sistem akan divisualisasikan dalam bentuk garis lintasan bola yang terhubung dan mulus di atas video pertandingan. Diharapkan sistem yang dihasilkan dapat secara signifikan mengurangi jitter (getaran pada data) dan mampu mempertahankan jejak bola selama beberapa frame saat terjadi oklusi. Hasil ini nantinya dapat menjadi fondasi bagi pengembangan aplikasi analisis pertandingan yang lebih canggih, seperti analisis taktik, perhitungan statistik pemain, dan sistem asistensi wasit (VAR) yang lebih akurat.

1.2 Pertanyaan Penelitian

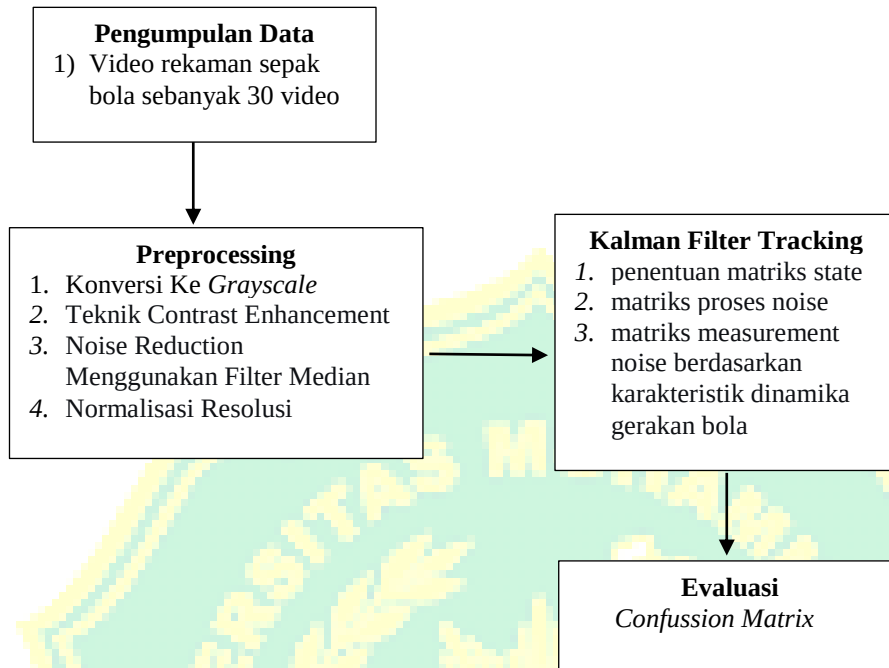
1. Bagaimana merancang sistem pelacakan gerakan bola pada pertandingan sepak bola berbasis pengolahan video menggunakan metode Kalman Filter?
2. Bagaimana kinerja metode Kalman Filter dalam mengestimasi posisi dan lintasan bola secara akurat pada kondisi noise, oklusi, dan kehilangan deteksi sementara?

3. Bagaimana tingkat performa sistem tracking yang dikembangkan berdasarkan metrik evaluasi seperti accuracy, precision, recall, F1-score, dan error posisi?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengimplementasikan algoritma Kalman Filter untuk melakukan proses prediksi dan koreksi posisi bola pada setiap frame video.
2. Mengintegrasikan metode deteksi bola dengan Kalman Filter untuk meningkatkan kontinuitas tracking saat terjadi noise atau oklusi.
3. Mengevaluasi performa sistem berdasarkan metrik kuantitatif dan analisis akurasi tracking.
4. Menghasilkan prototipe sistem yang mampu memvisualisasikan lintasan bola secara real-time sebagai dasar analisis pertandingan.

1.4 Kerangka Kerja Penelitian (*Research Framework*)



Gambar 1. Framework Penelitian

Tabel 1. Metode Pelaksanaan

No	Tahapan Penelitian	Sub Tahap	Deskripsi Kegiatan	Output
1	Pengumpulan data	Pengumpulan Video	Mengumpulkan video pertandingan sepak bola dari siaran langsung dan rekaman kamera	Dataset video mentah
		Konversi format video	Mengonversi video ke format yang kompatibel dengan MATLAB	Video Terstandarisasi
		Ekstraksi Fitur	Ekstraksi frame dengan kecepatan 25–30 fps	Frame sequence
2	Pre-processing	Contrast Enhancement	Peningkatan kontras untuk memperjelas objek bola	Frame dengan kualitas visual meningkat
		Noise Reduction	Reduksi noise menggunakan median filter	Frame bebas noise
		Normalisasi	Penyeragaman resolusi untuk konsistensi	Frame

		Resolusi	analisis	terstandarisasi
3	Implementasi Sistem Tracking	Deteksi Bola Utama	Deteksi bola menggunakan metode imfindcircles dengan parameter sensitivity dan radius	Koordinat kandidat bola
		Analisis	Validasi objek berdasarkan ukuran dan bentuk	Deteksi bola tervalidasi
4	Prediksi Trajectory	Kalman Filter	Inisialisasi state vector dan tuning process noise	Estimasi posisi bola
		Prediksi Lintasan	Prediksi trajectory bola antar frame	Trajectory prediksi
5	Ground Truth	Simulasi Matematis	Pembuatan ground truth berbasis model matematis	Data ground truth simulasi
		Annotasi Manual	Penandaan frame-by-frame menggunakan custom GUI	Ground truth aktual
6	Evaluasi Performa	Tracking Accuracy	Pengukuran position error, success rate, dan consistency	Nilai akurasi tracking
		Detection Performance	Evaluasi menggunakan confusion matrix	Accuracy, Precision, Recall, F1-score

