

BAB II

TINJAUAN LITERATUR

2.1 Penelitian Terkait

Dalam penelitian ini juga menggunakan beberapa penelitian terdahulu yang digunakan sebagai referensi fondasi dari penelitian yang akan dilakukan. Tinjauan pustaka ini berfungsi untuk mengulas, menganalisis, mengevaluasi, dan mensintesis penelitian-penelitian yang sudah ada sebelumnya yang relevan dengan topik penelitian yang akan dilaksanakan mengenai tracking gerakan bola.

Penelitian oleh Daniyah dkk tahun 2020, merancang sebuah robot kiper beroda untuk meningkatkan respons terhadap bola yang menuju gawang dengan menerapkan Kalman Filter. Sistem dimulai dengan deteksi bola berwarna jingga menggunakan metode HSV dan segmentasi citra dengan thresholding serta transformasi morfologi untuk mengurangi noise. Posisi bola yang terdeteksi kemudian diolah dengan Kalman Filter, yang berfungsi sebagai estimator stokastik untuk memprediksi arah dan lintasan bola berdasarkan data posisi sebelumnya dan terkini, melalui tahap prediksi dan koreksi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa robot yang menggunakan Kalman Filter dapat memprediksi arah datang bola lebih akurat dan merespons dengan lebih tepat dibandingkan dengan sistem rule-based, karena mampu mengantisipasi pergerakan bola dan tidak hanya bereaksi pada posisi

awalnya, sehingga menghasilkan pergerakan robot yang lebih responsif dan efektif dalam menghalau bola (Daniyah, Arifin and Subroto, 2020).

Penelitian selanjutnya oleh Hidayatullah dkk tahun 2022, merancang sistem pendeteksi objek berbasis omni vision camera untuk mengatasi keterbatasan sudut pandang kamera biasa pada robot sepak bola beroda. Sistem ini memanfaatkan sebuah hyperbolic mirror yang dipasang di atas robot dan sebuah kamera Pixy2 CMUCam5 yang menghadap ke cermin tersebut, sehingga mampu merefleksikan citra lingkungan sekeliling robot secara 360 derajat. Pengolahan citra dilakukan dengan metode color-based filtering menggunakan algoritma Color Connected Components (CCC) untuk mendeteksi bola berwarna oranye. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini berhasil mendeteksi bola pada jarak 10 cm hingga 160 cm, beroperasi optimal pada intensitas cahaya 60-210 lux, dan memiliki waktu respon rata-rata 6,33 detik yang lebih cepat dan efisien dibandingkan sistem kamera tunggal (single camera vision) yang membutuhkan 7,65 detik karena menghilangkan kebutuhan robot untuk berputar mencari bola (Fuady et al., 2022).

Penelitian selanjutnya oleh Bustami dkk tahun 2023, mengembangkan sistem pendeteksi bola yang menggabungkan dua algoritma untuk meningkatkan akurasi dan kinerja tracking. Algoritma SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) digunakan untuk mengidentifikasi dan memverifikasi objek bola dengan membandingkan keypoint dari citra yang ditangkap kamera dengan sampel bola yang ada di database, memastikan bahwa objek yang terdeteksi benar-benar bola dan

bukan objek lain yang berwarna serupa. Sementara itu, Algoritma Kalman Filter berfungsi untuk memprediksi arah dan lintasan pergerakan bola berdasarkan data posisi sebelumnya, memungkinkan sistem melakukan tracking yang lebih responsif dengan mengantisipasi pergerakan bola satu frame lebih awal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem yang diimplementasikan menggunakan Python dan OpenCV ini berhasil mendeteksi dan melacak bola dalam jarak 30 cm hingga 190 cm, dengan rata-rata error koordinat sebesar 1.06 untuk sumbu x dan 7.34 untuk sumbu y, sehingga menghasilkan sistem pendeteksian yang lebih robust dibandingkan metode color filtering konvensional (Saputra, 2023).

Penelitian selanjutnya Purnama dan Setyawan tahun 2017 mengembangkan sistem deteksi bola yang efisien untuk robot humanoid dengan menggabungkan algoritma Haar Cascade dan segmentasi warna HSV guna mengatasi keterbatasan daya komputasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model Haar Cascade yang telah dilatih mencapai akurasi 89,69%, recall 84,14%, dan F1-score 73,13%, meskipun nilai precision 64,64% mengindikasikan adanya beberapa kesalahan deteksi positif palsu. Sistem ini optimal pada jarak 40–220 cm dan sangat efisien dalam penggunaan sumber daya, hanya meningkatkan penggunaan CPU sebesar 20,94% dan memori sebesar 4,86%. Yang terpenting, dalam pengujian integrasi dengan robot humanoid, sistem berhasil mencapai tingkat keberhasilan 100% dalam melakukan pelacakan bola, membuktikan keandalan dan efektivitasnya dalam mendukung performa robot pada kompetisi sepak bola otonom (Dwi Mahardika Trisna Purnama and Edhi Setyawan, 2017).

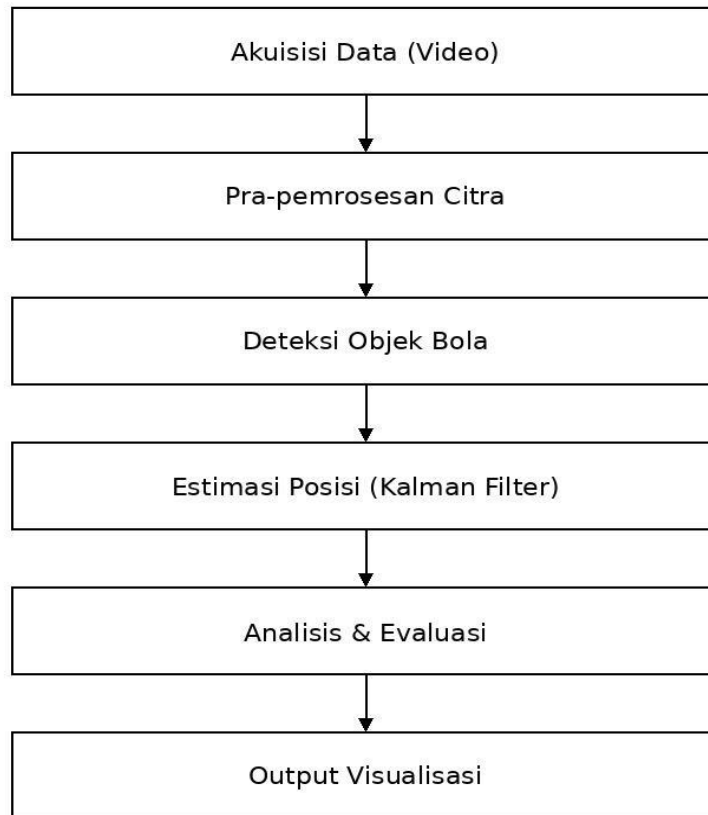
Penelitian yang terakhir oleh Suheryadi dkk Tahun 2020, mengembangkan sistem pendeteksi bola yang menggabungkan informasi warna dan bentuk kontur untuk mengatasi tantangan seperti variasi pencahayaan, bayangan, dan keberadaan objek lain yang mirip bola. Metode ini terdiri dari lima tahap utama: Object Sampling (menentukan rentang warna HSV bola), Color Filtering (menyaring piksel berdasarkan rentang warna), Blob Filtering (membersihkan noise dengan operasi morfologi), Contour Filtering (menyeleksi kandidat objek berdasarkan bentuk), dan Object Determining (menetapkan posisi dan batas objek akhir). Sistem yang diimplementasikan pada perangkat embedded Odroid XU4 dan diuji menggunakan 12 video pertandingan (total 78.794 frame) ini berhasil mencapai nilai recall 90,69%, menunjukkan efektivitasnya dalam mendeteksi keberadaan bola meskipun dalam kondisi lingkungan yang dinamis (Suheryadi *et al.*, 2020).

2.2 Pengolahan Citra Digital

Pengolahan citra adalah suatu bidang dalam ilmu komputer dan teknik yang berfokus pada proses transformasi, analisis, dan interpretasi citra (gambar digital) menggunakan algoritma komputasional untuk memperoleh informasi yang bermakna, meningkatkan kualitas visual, atau mempersiapkan data untuk tugas-tugas automasi selanjutnya. Secara mendasar, pengolahan citra mengambil data citra sebagai masukan (input) dan menghasilkan baik citra yang telah dimodifikasi maupun sekumpulan karakteristik atau keputusan berdasarkan konten citra tersebut (Supiyandi *et al.*, 2024).

Pengolahan citra digital dalam konteks tracking gerakan bola pada pertandingan sepak bola menggunakan metode Kalman Filter merupakan proses penting yang bertujuan untuk mengekstraksi informasi visual dari video sehingga posisi dan pergerakan bola dapat dianalisis secara akurat. Proses ini diawali dengan tahap preprocessing, seperti konversi citra ke grayscale, peningkatan kontras, reduksi noise, dan normalisasi resolusi, yang berfungsi untuk memperjelas objek bola serta meminimalkan gangguan visual. Selanjutnya, dilakukan deteksi objek bola menggunakan teknik pengenalan bentuk atau warna untuk memperoleh koordinat posisi bola pada setiap frame (Lina, Lay and Sung, 2022). Data posisi tersebut kemudian tidak langsung digunakan sebagai hasil akhir, melainkan diproses lebih lanjut menggunakan Kalman Filter yang berperan sebagai estimator untuk memprediksi dan memperbaiki posisi bola berdasarkan model dinamika gerak. Melalui integrasi pengolahan citra dan algoritma prediksi ini, sistem mampu menghasilkan lintasan bola yang lebih halus, stabil, dan konsisten meskipun terdapat noise, oklusi oleh pemain, maupun kehilangan deteksi sementara, sehingga mendukung analisis pertandingan yang lebih akurat dan berbasis data.

Alur Pemrosesan Umum Sistem Tracking Bola



Gambar 2.1 Alur pemrosesan dalam pengolahan citra

Gambar ini menunjukkan tahapan utama dalam proses pelacakan gerakan bola pada pertandingan sepak bola. Proses dimulai dari akuisisi data berupa video pertandingan yang kemudian diproses pada tahap pra-pemrosesan untuk meningkatkan kualitas citra. Selanjutnya dilakukan deteksi objek bola untuk memperoleh posisi awal pada setiap frame. Posisi tersebut diestimasi menggunakan Kalman Filter sehingga menghasilkan posisi yang lebih stabil dan akurat. Hasil estimasi kemudian dianalisis dan dievaluasi menggunakan metrik performa sebelum

akhirnya divisualisasikan dalam bentuk lintasan pergerakan bola sebagai output sistem.

2.3 Preprocessing

Preprocessing atau pra-pemrosesan dalam pengolahan citra merupakan tahap kritis yang bertujuan untuk mempersiapkan citra mentah agar siap untuk dianalisis lebih lanjut, dengan meningkatkan kualitas dan keseragamannya. Tahap ini umumnya mencakup beberapa proses fundamental (Lapendy *et al.*, 2024). Pra-pemrosesan (pre-processing) juga merupakan tahap awal dalam pengolahan citra digital yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas citra sebelum dilakukan proses analisis lebih lanjut. Tahap ini sangat penting karena kualitas citra yang baik akan mempermudah proses deteksi objek dan meningkatkan akurasi sistem secara keseluruhan. Dalam konteks sistem pelacakan gerakan bola pada pertandingan sepak bola, pra-pemrosesan digunakan untuk mengurangi gangguan visual seperti noise, variasi pencahayaan, dan ketidakkonsistenan resolusi yang dapat mempengaruhi proses identifikasi bola.

Secara umum, tahapan pra-pemrosesan meliputi konversi citra ke grayscale untuk menyederhanakan informasi warna menjadi intensitas, sehingga proses komputasi menjadi lebih efisien. Selanjutnya dilakukan peningkatan kontras (contrast enhancement) untuk memperjelas perbedaan antara objek bola dan latar belakang. Proses reduksi noise, misalnya menggunakan median filter, bertujuan untuk menghilangkan gangguan berupa bintik-bintik atau distorsi kecil tanpa menghilangkan tepi objek. Tahap berikutnya adalah normalisasi resolusi untuk

memastikan ukuran citra seragam sehingga proses analisis dapat dilakukan secara konsisten pada seluruh frame video. Dengan adanya tahap pra-pemrosesan, citra yang dihasilkan menjadi lebih bersih, jelas, dan siap untuk tahap deteksi objek serta estimasi posisi menggunakan metode Kalman Filter. Oleh karena itu, pra-pemrosesan berperan sebagai fondasi penting yang mendukung keberhasilan sistem tracking dalam menghasilkan lintasan bola yang akurat dan stabil.

2.4 Pertandingan Sepak Bola

Pertandingan sepak bola merupakan olahraga yang memiliki dinamika pergerakan objek yang sangat tinggi, baik dari pemain maupun bola, sehingga menjadi salah satu skenario yang menantang dalam bidang visi komputer. Dalam sebuah pertandingan, bola bergerak dengan berbagai pola seperti menggelinding, memantul, hingga melayang di udara akibat interaksi dengan pemain maupun kondisi lapangan. Kompleksitas ini diperparah oleh adanya oklusi ketika bola tertutup oleh tubuh pemain, perubahan arah yang cepat, serta variasi pencahayaan dan sudut pandang kamera (Mudzopar and Wiharko, 2023). Oleh karena itu, pertandingan sepak bola menjadi lingkungan yang relevan dan representatif untuk menguji performa sistem pelacakan objek.

Dalam penelitian ini, pertandingan sepak bola digunakan sebagai objek studi untuk mengembangkan sistem tracking gerakan bola berbasis pengolahan citra digital. Data video pertandingan menyediakan informasi visual yang kaya sehingga memungkinkan analisis pergerakan bola secara temporal dan spasial. Dengan

memanfaatkan metode Kalman Filter, sistem dirancang untuk mengatasi ketidakpastian pengukuran akibat noise dan kehilangan deteksi yang sering terjadi dalam situasi pertandingan nyata. Hasil pelacakan yang akurat diharapkan dapat mendukung berbagai aplikasi analisis pertandingan, seperti evaluasi strategi permainan, perhitungan kecepatan bola, hingga pengembangan sistem analitik olahraga berbasis data. Dengan demikian, konteks pertandingan sepak bola tidak hanya berperan sebagai sumber data, tetapi juga sebagai lingkungan uji yang kompleks dan realistis untuk menilai efektivitas metode pelacakan yang dikembangkan dalam penelitian ini.



Gambar 2.2 Contoh Pertandingan Sepak Bola

2.5 Tracking Bola

Tracking bola merupakan proses pemantauan posisi dan pergerakan bola secara berkelanjutan dari waktu ke waktu menggunakan rangkaian citra atau video. Dalam bidang visi komputer, tracking objek dilakukan dengan mengidentifikasi objek

pada setiap frame, kemudian menghubungkan posisi objek tersebut antar frame sehingga terbentuk lintasan gerak (Putra and Puriyanto, 2021). Pada konteks olahraga, khususnya sepak bola, tracking bola memiliki tingkat kompleksitas yang tinggi karena bola bergerak sangat cepat, sering mengalami perubahan arah mendadak, serta kerap mengalami oklusi oleh pemain atau objek lain di lapangan.

Secara umum, sistem tracking bola terdiri dari dua komponen utama, yaitu proses deteksi dan proses estimasi gerak. Proses deteksi bertujuan untuk menemukan posisi bola pada setiap frame menggunakan teknik pengolahan citra seperti deteksi bentuk, segmentasi warna, atau metode berbasis fitur (Pradana, Setiawan and Akbar, 2022). Namun hasil deteksi sering kali mengandung noise atau bahkan kehilangan objek pada beberapa frame. Oleh karena itu, diperlukan metode estimasi seperti Kalman Filter untuk memprediksi posisi bola berdasarkan pola pergerakan sebelumnya. Pendekatan ini memungkinkan sistem menghasilkan lintasan yang lebih halus, stabil, dan konsisten meskipun data pengamatan tidak sempurna.

Dalam penelitian ini, tracking bola digunakan untuk memperoleh informasi lintasan pergerakan bola secara akurat dari video pertandingan. Informasi tersebut tidak hanya berguna untuk mengetahui posisi bola, tetapi juga dapat dimanfaatkan untuk analisis performa permainan, seperti kecepatan bola, pola serangan, maupun evaluasi strategi tim. Dengan demikian, tracking bola menjadi komponen penting dalam sistem analitik olahraga berbasis visi komputer karena mampu mengubah data visual menjadi informasi kuantitatif yang dapat dianalisis lebih lanjut.

2.6 Metode Kalman Filter

Metode Kalman Filter merupakan algoritma estimasi yang digunakan untuk memprediksi dan memperbarui keadaan suatu sistem dinamis berdasarkan serangkaian data pengukuran yang mengandung ketidakpastian atau noise. Algoritma ini dapat digunakan dalam berbagai bidang seperti navigasi, robotika, serta visi komputer karena kemampuannya menghasilkan estimasi yang optimal secara matematis (Ngatini and Indriyani, 2022).

Secara prinsip, Kalman Filter bekerja melalui dua tahap utama, yaitu tahap prediksi (prediction) dan tahap koreksi (update). Pada tahap prediksi, sistem memperkirakan keadaan berikutnya berdasarkan model dinamika dan keadaan sebelumnya. Selanjutnya pada tahap koreksi, hasil prediksi tersebut diperbarui menggunakan data pengukuran aktual sehingga kesalahan estimasi dapat diminimalkan. Proses ini berlangsung secara iteratif pada setiap langkah waktu, sehingga menghasilkan estimasi posisi yang lebih stabil dan akurat dibandingkan hanya menggunakan data pengukuran langsung (Daniyah, Arifin and Subroto, 2020).

Dalam konteks pelacakan objek pada video, Kalman Filter berperan sebagai estimator yang mampu mengatasi permasalahan seperti noise pengukuran, kehilangan deteksi sementara, dan pergerakan objek yang tidak beraturan. Pada penelitian tracking bola dalam pertandingan sepak bola, metode ini digunakan untuk memperkirakan posisi bola pada setiap frame berdasarkan pola pergerakan sebelumnya. Dengan demikian, lintasan bola yang dihasilkan menjadi lebih halus, kontinu, dan konsisten meskipun terjadi oklusi atau gangguan visual.

Keunggulan utama Kalman Filter terletak pada efisiensi komputasi dan kemampuannya melakukan estimasi secara real-time, sehingga sangat cocok diterapkan pada sistem pelacakan berbasis video. Oleh karena itu, metode ini banyak digunakan dalam penelitian tracking objek sebagai solusi untuk meningkatkan akurasi dan keandalan system (Supriyadi *et al.*, 2023).

2.7 Pengujian

Pengujian menggunakan confusion matrix dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam mendeteksi keberadaan bola pada setiap frame video. Confusion matrix merupakan metode evaluasi yang digunakan untuk mengukur performa klasifikasi dengan membandingkan hasil prediksi sistem terhadap kondisi sebenarnya (ground truth). Dalam penelitian tracking bola, confusion matrix digunakan untuk mengetahui seberapa baik sistem mampu mengidentifikasi objek bola secara benar dan membedakannya dari objek lain atau latar belakang.

Confusion matrix terdiri dari empat komponen utama, yaitu True Positive (TP), False Positive (FP), True Negative (TN), dan False Negative (FN). True Positive menunjukkan jumlah frame di mana bola terdeteksi dengan benar, sedangkan False Positive menunjukkan jumlah frame di mana sistem mendeteksi bola padahal sebenarnya tidak ada. True Negative merupakan kondisi ketika sistem dengan benar menyatakan tidak ada bola, dan False Negative terjadi ketika bola ada tetapi sistem gagal mendeteksinya (Yovi Apridiansyah *et al.*, 2024).

Berdasarkan nilai-nilai tersebut, kinerja sistem dapat diukur menggunakan beberapa metrik evaluasi, yaitu accuracy, precision, recall, dan F1-score. Accuracy digunakan untuk mengukur tingkat ketepatan keseluruhan sistem, precision menunjukkan tingkat ketepatan deteksi bola, recall mengukur kemampuan sistem menemukan seluruh bola yang ada, sedangkan F1-score merupakan rata-rata harmonis antara precision dan recall yang memberikan gambaran keseimbangan performa sistem.

Melalui pengujian confusion matrix, dapat diketahui kemampuan sistem dalam mendeteksi objek bola secara kuantitatif, sehingga hasil evaluasi dapat digunakan untuk menilai efektivitas metode Kalman Filter dalam meningkatkan performa deteksi dan tracking pada video pertandingan sepak bola.