

**PELACAKAN PEMAIN SEPAK BOLA PADA VIDEO
PERTANDINGAN MENGGUNAKAN *HISTOGRAM OF
ORIENTED GRADIENTS (HOG)* DAN *EXTENDED KALMAN
FILTER (EKF)***

SKRIPSI



Oleh:

TSABITA SAFANA MUSTOFA

21081010282

**PROGRAM STUDI INFORMATIKA
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"
JAWA TIMUR
2024**

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	2
BAB I PENDAHULUAN	4
1.1 Latar Belakang	4
1.2 Rumusan Masalah	8
1.3 Tujuan Penelitian	8
1.4 Manfaat Penelitian	8
1.5 Batasan Masalah	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	10
2.1 Konsep Dasar Citra Digital	10
2.2 Sepak Bola	11
2.3 Deteksi dan Pelacakan pada Objek	11
2.4 Ekstraksi Fitur dengan HOG	12
2.5 Extended Kalman Filter (EKF)	13
BAB III DESAIN DAN IMPLEMENTASI SISTEM	14
3.1 Preprocessing	14
3.1.1 Input Video	14
3.1.2 Konversi ke Grayscale	15
3.1.3 Resize Gambar	15
3.1.4 Normalisasi Gambar	16
3.2 Labeling Data	16
3.2.1 Posisi Pemain	17
3.2.2 Augmentasi Data	17
3.3 Implementasi dan Pemrosesan Video	18
3.3.1 Deteksi Pemain	18
3.3.2 Pelacakan Pemain	19

3.4 Evaluasi dan Pengujian.....	19
3.4.1 Metrik Evaluasi.....	20
3.4.2 Hasil Pengujian.....	20

BAB I

PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan, dan manfaat dari penelitian yang berfokus pada pelacakan pemain sepak bola menggunakan metode *Histogram of Oriented Gradients* (HOG) dan *Extended Kalman Filter* (EKF). Latar belakang akan menjelaskan pentingnya teknologi computer vision dalam analisis pertandingan sepak bola, serta tantangan yang dihadapi dalam deteksi dan pelacakan pemain dalam kondisi lapangan yang dinamis. Rumusan masalah akan dirumuskan untuk mengidentifikasi bagaimana cara mendeteksi dan melacak pemain sepak bola dengan akurat menggunakan kedua metode tersebut. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengimplementasikan dan mengevaluasi penggunaan HOG dan EKF dalam meningkatkan akurasi deteksi dan pelacakan pemain sepak bola dalam video pertandingan. Sementara itu, manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan sistem analisis pertandingan sepak bola berbasis video, yang dapat digunakan oleh pelatih dan analis untuk meningkatkan strategi permainan dan evaluasi performa pemain.

1.1 Latar Belakang

Di era digital yang serba canggih ini, teknologi terus berkembang pesat dan mempengaruhi hampir semua aspek kehidupan, termasuk dunia olahraga. Salah satu teknologi yang sedang banyak diterapkan adalah computer vision, terutama di bidang pemrosesan gambar dan video. Teknologi ini mempermudah berbagai pekerjaan, mulai dari pengindeksan hingga analisis video. Analisis gambar dan gerakan berbasis video semakin banyak diterapkan dalam berbagai bidang, termasuk dunia olahraga. Sepak bola, sebagai salah satu olahraga paling populer di dunia saat ini juga menggunakan teknologi video untuk mendukung analisis pertandingan. Sepak bola bukan hanya soal mencetak gol, tetapi juga soal strategi dan taktik. Dalam setiap pertandingan, ada banyak data yang dihasilkan, seperti pergerakan pemain, posisi bola, hingga pola permainan yang dirancang oleh pelatih. Data-data ini sangat penting untuk dianalisis, baik untuk evaluasi strategi maupun untuk pelatihan di masa depan. Berdasarkan laporan, hampir

semua tim profesional, khususnya yang berlaga di turnamen besar seperti Piala Dunia dan Liga Champions, kini sudah memanfaatkan teknologi video untuk menganalisis permainan. Namun, meskipun teknologi ini sudah mulai digunakan, proses analisis masih banyak dilakukan secara manual, misalnya dengan menonton video berulang-ulang, yang membutuhkan waktu lama dan rentan terhadap kesalahan manusia. Selain itu, tantangan yang dihadapi dalam menganalisis video pertandingan sepak bola juga tidak mudah. Kondisi seperti perubahan pencahayaan di lapangan, pergerakan cepat pemain, hingga situasi tumpang tindih antar pemain sering kali membuat analisis data menjadi lebih rumit. Hal ini menyebabkan banyak tim membutuhkan teknologi yang lebih canggih untuk membantu mereka dalam mengolah data secara otomatis. Seiring berkembangnya teknologi pengolahan citra digital, mulai muncul berbagai solusi untuk membantu proses analisis data secara otomatis, seperti sistem deteksi dan pelacakan objek. Teknologi ini sangat membantu pelatih dan tim analisis untuk memahami pola permainan dengan lebih cepat dan lebih akurat. Bahkan, perangkat modern seperti VAR (Video Assistant Referee) juga menggunakan teknologi video untuk membantu wasit membuat keputusan yang lebih adil. Dengan tayangan ulang, VAR dapat memperlihatkan apa yang sebenarnya terjadi di lapangan, terutama di momen-momen yang sulit dilihat langsung oleh wasit. Namun, meskipun teknologi deteksi dan pelacakan terus berkembang, implementasinya dalam sepak bola tidak semudah yang dibayangkan. Tantangan besar masih ada, seperti variasi pencahayaan, pergerakan pemain yang sangat cepat, dan interaksi antar pemain yang kompleks. Kompleksitas ini membuat sistem yang dibutuhkan harus tidak hanya akurat tetapi juga efisien secara komputasi, sehingga dapat digunakan secara real-time dalam pertandingan. Oleh karena itu, penelitian dan inovasi di bidang ini sangat diperlukan untuk menjawab tantangan tersebut, sekaligus mendukung perkembangan sepak bola modern yang semakin kompetitif.

Deteksi dan pelacakan pemain dengan menggunakan teknologi computer vision lebih banyak digunakan karena memperhatikan faktor kenyamanan pemain saat bertanding. Pemain tidak perlu repot memasang alat atau sensor apapun dalam diri mereka untuk dianalisis oleh analis maupun pelatihnya. Dalam penelitian

Deteksi Pemain Basket Terklasifikasi Berbasis Histogram of Oriented Gradients, HOG digunakan untuk mengekstraksi fitur dari tiga video pertandingan, yang kemudian digunakan untuk mengidentifikasi dan mendeteksi pemain di lapangan. Meskipun klasifikasi pada penelitian tersebut berhasil, identifikasi pemain secara individual belum dilakukan karena hanya dilakukan klasifikasi berdasarkan warna jersey saja. Namun, tantangan terbesar dalam analisis video olahraga adalah pelacakan objek. Untuk itu, Kalman Filter adalah salah satu metode yang telah banyak digunakan untuk pelacakan objek dinamis dalam video. Dalam penelitian berjudul *Investigation into Tracking Football Players from Video Streams Produced by Cameras Set Up for TV Broadcasting*, Kalman filter bekerja dengan memprediksi posisi pemain berdasarkan pergerakan sebelumnya dan melakukan koreksi berdasarkan posisi yang terdeteksi pada frame berikutnya. Meskipun efektif untuk pelacakan pemain dalam kondisi pergerakan linear, Kalman Filter terbukti kurang akurat dalam situasi yang lebih kompleks, seperti perubahan arah yang mendadak atau tumpang tindih antar pemain. Untuk mengatasi keterbatasan Kalman Filter, terdapat peneliti yang telah mengusulkan kombinasi HOG dan Kalman Filter untuk meningkatkan akurasi deteksi dan pelacakan. Penelitian tersebut *A New Method Combining HOG and Kalman Filter for Video-based Human Detection and Tracking* memperkenalkan pendekatan inovatif dengan meningkatkan hubungan antara deteksi dan pelacakan, di mana pelacakan tidak hanya menjadi kelanjutan dari deteksi, tetapi juga memberikan umpan balik untuk mempercepat proses deteksi pada frame berikutnya. Selain itu, Kalman Filter digunakan untuk memperkirakan posisi objek dalam frame berikutnya, sehingga meningkatkan akurasi pelacakan, mengurangi waktu deteksi, serta mampu menangani sebagian masalah occlusion. Namun, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Studi hanya berfokus pada pelacakan satu objek dalam video, sehingga penerapannya kurang optimal untuk skenario multi-objek. Selain itu, meskipun hasil yang diperoleh menunjukkan kecepatan yang lebih baik dibanding metode HOG standar, pendekatan ini masih memiliki ruang untuk perbaikan dalam hal real-time performance di lingkungan yang kompleks. Penelitian *Deteksi dan Tracking Pemain Sepak Bola Menggunakan*

Histogram of Oriented Gradients (HOG) dan *Kalman Filter* menerapkan kombinasi metode HOG dan Kalman Filter dalam konteks yang lebih spesifik, yaitu untuk mendeteksi dan melacak pemain sepak bola dalam video pertandingan. Penelitian ini menunjukkan bahwa metode tersebut dapat diadaptasi untuk mengatasi tantangan unik, seperti perubahan posisi pemain yang cepat, pencahayaan yang dinamis, dan tumpang tindih antar pemain. Dengan memanfaatkan fitur HOG untuk mendeteksi pemain dalam setiap frame dan Kalman Filter untuk memprediksi posisi pemain pada frame berikutnya, penelitian ini berhasil mendapatkan performansi terbaik dengan nilai F1 score mencapai 0.87. Namun, metode kombinasi Histogram of Oriented Gradients (HOG) dan Kalman Filter masih memiliki keterbatasan dalam menghadapi skenario kompleks, seperti tumpang tindih antar pemain (occlusion) yang dapat menyebabkan hilangnya deteksi sementara. Selain itu, metode ini bergantung pada prediksi gerakan linear oleh Kalman Filter, sehingga kurang akurat untuk melacak pemain dengan pola gerak dinamis, seperti perubahan arah mendadak. Faktor lain yang mempengaruhi performa adalah sensitivitas terhadap variasi pencahayaan dan bayangan di lapangan, yang dapat mengurangi akurasi deteksi oleh HOG. Dari segi efisiensi, proses deteksi menggunakan HOG pada resolusi tinggi membutuhkan waktu komputasi yang cukup besar, sehingga tantangan utama adalah mengoptimalkan metode ini untuk tetap bekerja secara real-time.

Berdasarkan analisa yang didapatkan dari hasil penelitian terdahulu yang telah disebut diatas, kombinasi HOG dan Kalman Filter sudah terbukti efektif untuk deteksi dan pelacakan pemain dalam video olahraga, namun masih ada beberapa masalah yang perlu diatasi terutama dalam video pertandingan sepak bola. Tantangan seperti tumpang tindih pemain (occlusion), perubahan arah pergerakan yang cepat, dan perbedaan pencahayaan di lapangan sering mengganggu akurasi deteksi dan pelacakan. Selain itu, untuk memproses video dengan resolusi tinggi secara real-time membutuhkan pengoptimalan lebih lanjut agar proses deteksi tetap cepat dan efisien. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan tantangan-tantangan tersebut dengan menggunakan Extended Kalman Filter (EKF) untuk meningkatkan akurasi pelacakan, terutama dalam kondisi di mana pelacakan pemain dapat terhalang oleh tumpang tindih atau

pergerakan yang cepat. EKF diharapkan dapat memberikan solusi yang lebih baik dalam mengatasi masalah tersebut, sehingga diharapkan dapat meningkatkan hasil deteksi dan pelacakan pemain dalam video pertandingan sepak bola secara lebih efektif.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan diatas, rumusan masalah yang akan digunakan dalam penelitian skripsi adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara mendeteksi pemain sepak bola pada video pertandingan menggunakan metode Histogram of Oriented Gradient (HOG)?
2. Bagaimana cara melacak pergerakan pemain sepak bola pada video pertandingan menggunakan metode Extended Kalman Filter (EKF)?
3. Seberapa baik kombinasi metode HOG dan EKF dalam menghasilkan pelacakan pemain yang akurat pada video pertandingan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Mengimplementasikan dan mengevaluasi penggunaan metode Histogram of Oriented Gradients (HOG) untuk deteksi pemain sepak bola pada video pertandingan.
2. Menerapkan Extended Kalman Filter untuk pelacakan pemain sepak bola yang terdeteksi pada video pertandingan.
3. Menilai kinerja metode gabungan HOG dan Extended Kalman Filter dalam konteks pelacakan pemain sepak bola di video pertandingan.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan teknologi deteksi dan pelacakan pemain sepak bola berbasis video, khususnya dalam bidang computer vision. Dengan menggabungkan metode

Histogram of Oriented Gradients (HOG) untuk deteksi dan Extended Kalman Filter untuk pelacakan, penelitian ini membuka peluang untuk diterapkannya teknologi serupa pada berbagai olahraga lain seperti basket atau futsal, yang memiliki tantangan serupa dalam hal pergerakan cepat dan interaksi antar pemain. Hasil dari sistem pelacakan yang lebih akurat ini juga bisa membantu tim pelatih dalam menganalisis strategi permainan dan mengevaluasi performa pemain secara lebih presisi. Selain itu, penelitian ini dapat menjadi referensi bagi penelitian-penelitian selanjutnya yang ingin mengintegrasikan teknik berbasis fitur tradisional dengan algoritma pelacakan prediktif.

1.5 Batasan Masalah

Untuk menjaga fokus penelitian, terdapat beberapa batasan yang ditetapkan, yaitu:

1. Fokus penelitian ini terbatas pada penggunaan metode Histogram of Oriented Gradients (HOG) untuk deteksi pemain dan Extended Kalman Filter untuk pelacakan.
2. Fokus penelitian ini adalah pelacakan pergerakan pemain secara keseluruhan tanpa mendeteksi identitas pemain (misalnya, nomor punggung atau wajah).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada Bab ini, akan dibahas landasan teori yang mendasari penelitian ini, yang mencakup beberapa konsep penting yang relevan dengan topik yang diteliti. Sub-bab pertama mengulas konsep dasar citra digital yang menjadi dasar dari pemrosesan dan analisis gambar dalam penelitian ini. Selanjutnya, akan dibahas mengenai sepak bola sebagai objek penelitian, yang mencakup dinamika permainan serta tantangan dalam menganalisis gerakan pemain. Setelah itu, akan dibahas tentang deteksi dan pelacakan objek, dua aspek penting dalam pemrosesan citra yang digunakan untuk melacak pemain sepak bola dalam video pertandingan. Kemudian, penelitian ini mengaplikasikan ekstraksi fitur dengan metode Histogram of Oriented Gradients (HOG), yang akan dijelaskan secara rinci. Terakhir, akan dibahas mengenai Extended Kalman Filter (EKF), yang digunakan untuk meningkatkan akurasi pelacakan objek dalam kondisi dinamis seperti yang dihadapi dalam pertandingan sepak bola.

2.1 Konsep Dasar Citra Digital

Citra digital adalah representasi gambar dalam bentuk data yang dapat diproses oleh komputer. Citra ini terdiri dari piksel-piksel yang masing-masing mewakili nilai intensitas cahaya pada posisi tertentu dalam gambar. Secara umum, citra digital dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu citra grayscale dan citra warna. Citra grayscale hanya terdiri dari satu saluran warna (intensitas cahaya), sementara citra warna memiliki tiga saluran, yaitu merah, hijau, dan biru (RGB). Pada pengolahan citra digital, setiap piksel pada citra memiliki koordinat (x, y) yang menunjukkan posisi dalam citra tersebut, dan nilai intensitasnya yang menunjukkan tingkat terang atau gelap piksel. Dalam proses pengolahan citra, tujuan utamanya adalah untuk meningkatkan kualitas citra agar lebih mudah dipahami oleh manusia atau untuk diekstraksi informasi tertentu, seperti mengenali objek, mendeteksi tepi, atau menganalisis pola-pola dalam gambar. Proses pengolahan citra melibatkan berbagai teknik, seperti filtrasi, transformasi geometrik, dan segmentasi, yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas

citra atau mengekstrak informasi penting dari citra tersebut. Pada umumnya, pengolahan citra digital banyak diterapkan dalam berbagai bidang seperti medis, industri, dan khususnya dalam bidang computer vision untuk deteksi objek atau analisis video.

2.2 Sepak Bola

Sepak bola adalah olahraga tim yang dimainkan oleh dua tim yang masing-masing beranggotakan sebelas pemain. Olahraga ini dikenal luas sebagai salah satu olahraga yang paling populer di dunia, dengan ratusan juta penggemar di berbagai belahan dunia. Tujuan utama dalam permainan sepak bola adalah mencetak gol dengan memasukkan bola ke gawang lawan, yang merupakan hasil dari kerjasama tim, strategi, dan taktik yang diterapkan oleh pelatih. Dalam konteks pertandingan sepak bola, pengamatan terhadap pergerakan pemain dan pola permainan menjadi sangat penting. Hal ini tidak hanya berlaku pada tingkat profesional, tetapi juga untuk evaluasi dan pelatihan pemain. Di dalam pertandingan, berbagai variabel seperti pergerakan bola, posisi pemain, dan perubahan strategi bisa mempengaruhi jalannya pertandingan. Oleh karena itu, penting untuk mengembangkan sistem yang dapat menganalisis video pertandingan dengan akurat, sehingga pelatih dan analis dapat mengevaluasi taktik dan strategi yang diterapkan selama pertandingan. Penerapan teknologi computer vision untuk menganalisis pertandingan sepak bola dapat membantu dalam memantau pergerakan pemain, mengenali pola permainan, serta memberi umpan balik kepada pelatih. Analisis berbasis video memungkinkan pelatih untuk lebih memahami permainan dan membuat keputusan yang lebih baik dalam perencanaan taktik serta evaluasi performa pemain.

2.3 Deteksi dan Pelacakan pada Objek

Deteksi objek adalah proses dalam pengolahan citra yang bertujuan untuk menemukan dan mengenali objek tertentu dalam citra atau video. Proses deteksi ini bisa menggunakan berbagai metode, termasuk metode berbasis fitur atau berbasis pembelajaran mesin. Deteksi objek digunakan untuk menemukan objek yang menarik perhatian, seperti wajah, kendaraan,

atau dalam konteks penelitian ini, pemain sepak bola, dalam citra atau video. Pelacakan objek (object tracking) adalah lanjutan dari deteksi objek yang bertujuan untuk mengikuti pergerakan objek dari satu frame ke frame lainnya dalam video. Tujuan pelacakan objek adalah untuk memantau pergerakan objek yang terdeteksi secara konsisten dalam waktu. Dalam kasus deteksi dan pelacakan pemain sepak bola, pelacakan bertujuan untuk mengikuti pergerakan pemain dalam setiap frame video dan memprediksi posisi mereka di masa depan berdasarkan informasi yang tersedia dari frame sebelumnya. Pelacakan objek yang efektif membutuhkan sistem yang dapat menangani berbagai tantangan, seperti occlusion (terhalang objek lain), perubahan pencahayaan, serta perubahan kecepatan dan arah pergerakan objek. Oleh karena itu, penting untuk menggunakan algoritma pelacakan yang adaptif, yang mampu menangani kondisi yang dinamis, seperti yang terjadi pada permainan sepak bola.

2.4 Ekstraksi Fitur dengan HOG

Histogram of Oriented Gradients (HOG) adalah salah satu metode ekstraksi fitur yang banyak digunakan dalam computer vision, khususnya untuk mendeteksi objek seperti wajah atau tubuh manusia. Metode HOG bekerja dengan menghitung distribusi gradien atau perubahan intensitas warna pada citra dalam arah tertentu. Dalam konteks deteksi objek, HOG mengidentifikasi pola-pola fitur yang dapat menggambarkan bentuk objek berdasarkan perubahan arah dan kekuatan gradien. Proses ekstraksi fitur HOG dimulai dengan membagi citra menjadi sel-sel kecil, kemudian menghitung gradien dalam setiap sel tersebut untuk mendapatkan orientasi dan kekuatan gradien. Setelah itu, histogram gradien dihitung dalam setiap sel dan digabungkan untuk membentuk representasi fitur yang menggambarkan pola-pola lokal dalam citra. Fitur HOG ini kemudian digunakan untuk mendeteksi objek, seperti pemain sepak bola dalam citra video, dengan memanfaatkan klasifikasi seperti Support Vector Machine (SVM). Kelebihan dari metode HOG adalah kemampuannya untuk mendeteksi objek dengan robust terhadap variasi pencahayaan dan rotasi.

Namun, HOG juga memiliki keterbatasan dalam menghadapi perubahan bentuk objek yang sangat besar dan occlusion (penutupan objek) dalam citra.

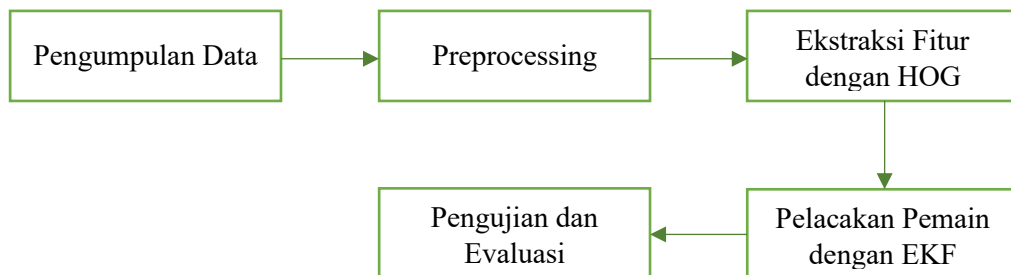
2.5 Extended Kalman Filter (EKF)

Extended Kalman Filter (EKF) adalah pengembangan dari Kalman Filter yang dirancang untuk mengatasi masalah pelacakan objek dalam sistem non-linear. Kalman Filter adalah metode estimasi yang digunakan untuk memprediksi posisi objek berdasarkan model gerakan linier dan mengoreksi prediksi tersebut dengan informasi yang diperoleh dari pengamatan. Namun, Kalman Filter terbatas pada sistem yang linier dan tidak dapat digunakan dengan efektif dalam sistem yang memiliki dinamika non-linier. EKF mengatasi masalah ini dengan menggunakan pendekatan linearisasi untuk sistem non-linier. EKF melakukan perkiraan posisi dan kecepatan objek dengan cara memprediksi posisi objek berdasarkan informasi sebelumnya dan model gerakan, kemudian mengoreksi prediksi ini dengan pengamatan yang diperoleh pada waktu berikutnya. Proses ini dilakukan berulang-ulang dengan memperbarui estimasi posisi dan kecepatan objek. Dalam konteks pelacakan pemain sepak bola, EKF dapat digunakan untuk memprediksi posisi pemain pada frame berikutnya berdasarkan gerakan sebelumnya, dan mengoreksi prediksi tersebut berdasarkan posisi yang terdeteksi pada frame yang ada. EKF sangat berguna dalam mengatasi masalah occlusion atau pergerakan objek yang cepat, serta dapat menangani dinamika gerakan non-linier yang sering terjadi dalam pertandingan sepak bola. Namun, penerapan EKF juga memerlukan pemahaman yang mendalam mengenai model gerakan dan kualitas pengamatan untuk memperoleh hasil yang optimal.

BAB III

DESAIN DAN IMPLEMENTASI SISTEM

Pada bagian ini, akan dijelaskan tentang metodologi yang digunakan dalam penelitian ini. Metode yang dipilih bertujuan untuk mencapai tujuan penelitian, yaitu deteksi dan pelacakan pemain sepak bola dalam video pertandingan menggunakan Histogram of Oriented Gradients (HOG) dan Extended Kalman Filter (EKF). Bab ini akan menguraikan secara rinci langkah-langkah yang diambil, mulai dari pemilihan dataset hingga implementasi algoritma, serta metode evaluasi yang digunakan untuk menilai kinerja sistem yang dikembangkan.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

3.1 Preprocessing

Dalam tahapan preprocessing ini, diharapkan citra input yang digunakan memiliki tiga syarat utama agar siap diolah dalam proses deteksi objek, yaitu citra yang memiliki tingkat terang-gelap (brightness) yang seragam pada setiap frame, bebas dari kesalahan hasil kompresi (seperti pada format avi, mpg, mp4, dan lainnya), serta tidak mengandung noise yang dihasilkan oleh perangkat keras.

3.1.1 Input Video

Dataset Alfheim yang digunakan dalam penelitian ini diambil di Stadion Alfheim, kandang Tromsø IL di Norwegia. Dataset ini mengandalkan sistem Pelacakan Olahraga ZXY yang mengukur posisi pemain pada frekuensi 20 Hz, dengan menggunakan dua susunan kamera yang merekam video dari tengah lapangan. Setiap kamera dapat beroperasi secara individual atau digabungkan untuk membentuk video panorama. Data yang diperoleh mencakup koordinat pemain, kecepatan, akselerasi, kekuatan, ID, dan stempel waktu. Selain digunakan untuk analisis olahraga,

dataset ini juga bermanfaat dalam berbagai eksperimen, seperti pengujian algoritma ekstraksi fitur, pelacakan objek, dan substraksi latar belakang. Data sensor ini dapat digunakan secara terpisah dalam simulasi atau eksperimen yang melibatkan objek bergerak di area terbatas dengan kecepatan dan arah yang bervariasi. Dengan total 26.222 frame yang dianalisis, setara dengan 17,5 menit, dataset ini memberikan acuan untuk pengujian metode pelacakan pemain dalam waktu permainan penuh.



Gambar 2. *Camera Setting: Complete Games*

3.1.2 Konversi ke Grayscale

Pada tahap ini, setiap frame yang telah dipisahkan dari video memiliki tiga saluran warna utama, yaitu merah, hijau, dan biru (RGB). Namun, untuk keperluan ekstraksi fitur dalam analisis berbasis citra, informasi warna ini sering kali tidak diperlukan karena fitur-fitur penting, seperti tepi atau kontur objek, lebih mudah diekstraksi dalam skala abu-abu. Oleh karena itu, konversi ke grayscale dilakukan pada setiap frame untuk menyederhanakan data visual dan mempercepat proses pemrosesan. Selain itu, mengubah gambar menjadi grayscale juga mengurangi jumlah data yang perlu diproses, sehingga meminimalkan penggunaan memori dan mempercepat komputasi tanpa mengorbankan detail penting yang dibutuhkan oleh algoritma deteksi dan pelacakan. Dengan representasi grayscale, algoritma lebih mudah untuk mengenali pola dan struktur dalam gambar yang berkaitan dengan pergerakan pemain.

3.1.3 Resize Gambar

Setelah gambar dikonversi ke grayscale, langkah selanjutnya adalah mengubah ukuran setiap frame menjadi dimensi standar, yaitu 224 x 224 piksel. Ukuran ini dipilih karena kompatibel dengan berbagai model deteksi berbasis jaringan saraf tiruan, yang sering kali memerlukan input dengan ukuran yang seragam. Pengubahan ukuran gambar bertujuan untuk

menyamakan ukuran citra dari seluruh frame sehingga dapat diproses dengan efisien oleh algoritma yang digunakan. Selain itu, pengubahan ukuran juga memudahkan proses komputasi karena mengurangi jumlah piksel yang harus dianalisis, sehingga mempercepat proses pelatihan dan inferensi tanpa mengorbankan informasi penting dari gambar. Ukuran standar ini juga mempermudah integrasi dengan model lain yang memerlukan dimensi tetap.

3.1.4 Normalisasi Gambar

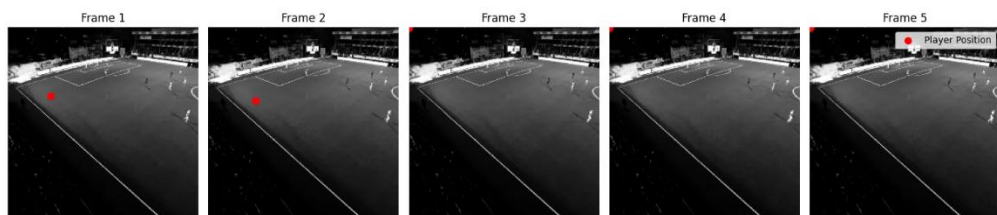
Langkah terakhir dalam preprocessing adalah normalisasi gambar. Setiap pixel pada gambar grayscale memiliki nilai intensitas yang biasanya berada dalam rentang $[0, 255]$. Untuk mempermudah proses pelatihan model, nilai piksel ini perlu dinormalisasi menjadi rentang yang lebih kecil, yaitu $[0, 1]$. Proses normalisasi dilakukan dengan membagi setiap nilai piksel dengan nilai maksimum 255. Langkah ini penting untuk menjaga agar distribusi nilai piksel tetap stabil, serta menghindari masalah yang mungkin muncul ketika model terlalu sensitif terhadap perubahan kecil dalam nilai piksel. Normalisasi ini juga membantu mempercepat proses pelatihan, karena model tidak perlu menangani data dengan rentang nilai yang sangat besar. Dengan normalisasi, model akan dapat belajar lebih cepat dan lebih akurat selama proses pelatihan.

3.2 Labeling Data

Labeling data adalah bagian yang sangat penting dalam proses pelatihan model deteksi dan pelacakan. Labeling dilakukan untuk memberikan informasi tentang posisi pemain pada setiap frame dalam video. Dengan adanya label, kita dapat melakukan evaluasi kinerja model dengan membandingkan hasil prediksi dengan data ground truth yang telah dilabeli. Proses ini memungkinkan model untuk belajar mengenali pola pergerakan pemain dan melacak posisinya dengan lebih baik. Selain itu, labeling data juga berguna untuk memantau perkembangan pelatihan model, apakah model berhasil mengenali dan melacak pemain dengan akurat dari waktu ke waktu.

3.2.1 Posisi Pemain

Proses labeling dilakukan dengan memberikan informasi posisi pemain pada setiap frame. Posisi ini diwakili oleh koordinat (x, y) dalam ruang gambar, yang menunjukkan lokasi pemain pada setiap momen dalam pertandingan. Koordinat ini bisa diambil secara manual dengan cara memberi anotasi pada setiap frame atau menggunakan data sensor yang sudah tersedia. Misalnya, pada frame pertama, pemain dapat berada di posisi (50, 80), sementara pada frame berikutnya, posisi pemain berubah menjadi (55, 85). Data posisi ini kemudian disimpan dalam struktur data seperti dictionary, yang menyimpan informasi tentang setiap frame beserta posisi pemainnya. Labeling posisi pemain sangat penting untuk memastikan bahwa algoritma pelacakan dapat dibandingkan dengan data ground truth yang akurat. Dengan informasi posisi ini, model dapat dilatih untuk memperkirakan dan melacak pergerakan pemain sepanjang video.

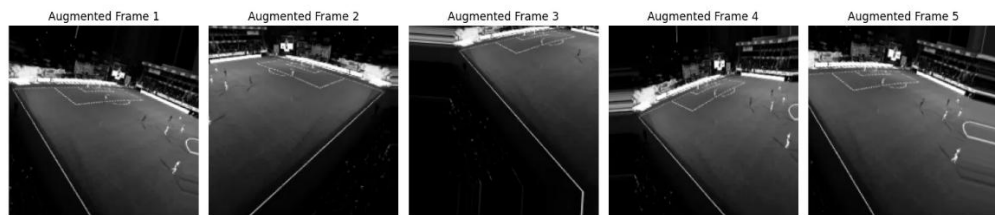


Gambar 3. Posisi Pergerakan Pemain

3.2.2 Augmentasi Data

Untuk meningkatkan kualitas data pelatihan dan membuat model lebih robust terhadap variasi kondisi visual, augmentasi data dilakukan pada frame yang telah dilabeli. Augmentasi data mencakup serangkaian transformasi, seperti rotasi, flipping (membalik gambar), zooming, dan pergeseran (translasi). Dengan melakukan augmentasi, model dapat belajar untuk mengenali pola dan objek dari berbagai sudut pandang dan dalam kondisi pencahayaan yang berbeda. Sebagai contoh, frame dapat diputar hingga 30 derajat untuk mensimulasikan perubahan sudut pandang kamera, atau dibalik secara

horizontal untuk mensimulasikan pergerakan pemain dari sisi lain. Dengan cara ini, model akan lebih fleksibel dan mampu mengenali objek dalam berbagai kondisi yang mungkin terjadi dalam pertandingan sepak bola.



Gambar 3. Augmentasi Data

3.3 Implementasi dan Pemrosesan Video

Pada tahap implementasi, setelah preprocessing dan labeling data selesai, algoritma deteksi dan pelacakan pemain diterapkan pada video yang telah diproses. Algoritma berbasis Histogram of Oriented Gradients (HOG) dan Extended Kalman Filter (EKF) digunakan untuk mendeteksi dan melacak pemain dalam setiap frame video secara dinamis. Deteksi pemain dimulai dengan mengidentifikasi fitur visual yang relevan pada tubuh pemain, seperti kontur atau bentuk tubuh yang membedakan pemain dengan latar belakang. Setelah pemain terdeteksi pada satu frame, algoritma pelacakan (EKF) digunakan untuk memperkirakan posisi pemain pada frame berikutnya berdasarkan posisi dan gerakan yang terdeteksi sebelumnya. Penggabungan kedua algoritma ini memungkinkan pelacakan pemain yang lebih akurat meskipun ada perubahan sudut pandang atau kecepatan gerakan.

3.3.1 Deteksi Pemain

Deteksi pemain adalah proses pertama dalam setiap siklus analisis video, yang bertujuan untuk mengidentifikasi posisi pemain dalam frame berdasarkan fitur visual. Algoritma HOG digunakan untuk mengekstraksi fitur-fitur seperti kontur tubuh pemain, yang kemudian digunakan untuk mendeteksi pemain

dalam setiap frame. Fitur-fitur ini memungkinkan sistem untuk mengenali pemain meskipun ada variasi dalam kondisi visual, seperti pencahayaan atau sudut pandang kamera. Setelah fitur diekstraksi, proses deteksi dilakukan dengan memanfaatkan model klasifikasi, yang membandingkan fitur yang diekstraksi dengan model pemain yang telah dilatih sebelumnya. Hasil deteksi ini berupa bounding box yang menunjukkan posisi pemain dalam frame. Setelah pemain terdeteksi, informasi posisi ini digunakan untuk melanjutkan ke tahap pelacakan.

3.3.2 Pelacakan Pemain

Setelah pemain berhasil dideteksi, tahap berikutnya adalah pelacakan pemain dari satu frame ke frame berikutnya. Pada penelitian ini, pelacakan dilakukan menggunakan metode Extended Kalman Filter (EKF), yang memperkirakan posisi pemain berdasarkan informasi posisi sebelumnya. EKF adalah metode yang efektif untuk pelacakan objek dinamis, karena dapat memperhitungkan perubahan posisi dan kecepatan pemain dalam waktu nyata. Dalam pelacakan ini, posisi pemain yang terdeteksi pada frame sebelumnya digunakan untuk memprediksi posisi pada frame berikutnya, dan proses ini diulang untuk setiap frame dalam video. Pelacakan menggunakan EKF sangat berguna ketika ada pergerakan cepat atau perubahan posisi yang signifikan antara frame, memungkinkan sistem untuk terus memperbarui estimasi posisi pemain dengan akurat.

3.4 Evaluasi dan Pengujian

Setelah implementasi deteksi dan pelacakan selesai, langkah selanjutnya adalah melakukan evaluasi dan pengujian terhadap model yang telah dibangun. Evaluasi dilakukan untuk menilai seberapa baik model dapat mendeteksi dan melacak pemain dalam berbagai kondisi video yang nyata, seperti variasi pencahayaan, kecepatan pemain, dan sudut pandang kamera. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan metrik yang telah ditentukan untuk menilai akurasi dan efisiensi sistem secara menyeluruh. Hasil pengujian ini akan memberikan gambaran tentang kekuatan dan kelemahan model, serta seberapa efektif algoritma deteksi dan pelacakan dalam menghadapi tantangan yang ada.

3.4.1 Metrik Evaluasi

Metrik evaluasi digunakan untuk mengukur seberapa baik kinerja model dalam mendeteksi dan melacak pemain. Beberapa metrik yang umumnya digunakan dalam pengujian model deteksi dan pelacakan antara lain akurasi, presisi, recall, dan f1-score. Akurasi mengukur seberapa banyak deteksi dan pelacakan yang benar dibandingkan dengan total frame yang dianalisis. Presisi mengukur seberapa banyak deteksi yang benar dibandingkan dengan jumlah total deteksi yang dilakukan. Recall mengukur kemampuan model untuk mendeteksi semua pemain yang ada dalam frame, sementara f1-score adalah kombinasi dari presisi dan recall yang memberikan gambaran lebih komprehensif tentang kinerja model. Selain itu, waktu komputasi juga penting untuk mengevaluasi efisiensi sistem dalam memproses video secara real-time.

Kondisi Uji	Akurasi	Presisi	Recall	F1-Score	Waktu Komputasi (ms/frame)
Pencahayaan Normal	95.4%	94.2%	96.5%	95.3%	45
Pencahayaan Rendah	92.1%	91.8%	92.3%	92.0%	48
Kecepatan Pemain Tinggi	90.7%	88.9%	92.2%	90.5%	50
Sudut Pandang Berbeda	93.2%	94.1%	93.3%	93.7%	47

Tabel 1. Metrik Evaluasi Deteksi dan Pelacakan Pemain

3.4.2 Hasil Pengujian

Setelah model dievaluasi menggunakan metrik-metrik tersebut, langkah berikutnya adalah menyajikan hasil pengujian yang lebih mendalam. Hasil ini mencakup kinerja model dalam berbagai kondisi pengujian yang telah dilakukan. Pengujian dilakukan dengan memperhitungkan berbagai faktor seperti variasi pencahayaan, kecepatan pemain, dan sudut pandang kamera yang berbeda. Hasil pengujian ini dapat menunjukkan seberapa baik model dapat menyesuaikan diri dengan perubahan kondisi tersebut. Jika model berhasil mendeteksi dan melacak pemain secara akurat dalam berbagai kondisi, maka

dapat dikatakan bahwa model ini cukup robust. Sebaliknya, jika ada penurunan kinerja dalam kondisi tertentu, ini memberikan wawasan yang berguna untuk perbaikan model di masa depan.

Kondisi Pengujian	Deteksi Pemain (True Positives)	False Positives	False Negatives	Akurasi Deteksi
Pencahayaan Normal	500	20	30	94.5%
Pencahayaan Rendah	480	22	34	91.8%
Kecepatan Pemain Tinggi	460	25	40	89.5%
Sudut Pandang Berbeda	485	18	28	93.2%

Tabel 2. Hasil Pengujian dalam Berbagai Kondisi Video