

Penerapan Teknologi Garis Gawang Untuk Mendeteksi Bola Gol Atau Keluar Lapangan Berbasis *Computer Vision*

Muhammad Arkan Ramadhan¹, Marzuarman², Azizul³

^{1,2,3}Politeknik Negeri Bengkalis, Jl. Bathin Alam, Riau, Indonesia

email: arkanramadhan611@gmail.com¹, marzuarman@polbeng.ac.id², azizul@polbeng.ac.id³

Abstrak - Teknologi garis gawang merupakan salah satu inovasi yang dikembangkan untuk meningkatkan akurasi pengambilan keputusan dalam pertandingan sepak bola, khususnya dalam menentukan apakah bola telah melewati garis gawang dan sah dinyatakan sebagai gol. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem deteksi bola berbasis computer vision yang mampu bekerja secara real-time menggunakan integrasi perangkat keras dan perangkat lunak. Sistem menggunakan dua kamera beresolusi tinggi yang berfungsi untuk memantau area lapangan dan area gawang, serta mini PC sebagai pusat pemrosesan data. Perangkat lunak dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman Python dan pustaka OpenCV. Metode yang diterapkan meliputi segmentasi warna HSV untuk mendeteksi objek bola berdasarkan karakteristik warnanya dan Hough Circle Transform untuk mengenali bentuk lingkaran secara lebih akurat. Area lapangan dan gawang didefinisikan dalam bentuk poligon melalui antarmuka grafis berbasis PyQt5 yang juga menampilkan status bola secara visual. Pengujian dilakukan pada lapangan mini dengan berbagai skenario, meliputi variasi posisi bola, kondisi pencahayaan, dan keberadaan objek penghalang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengklasifikasikan status bola menjadi “Dalam Lapangan”, “Keluar Lapangan”, “Gol Valid”, dan “Gol Tidak Valid” dengan tingkat akurasi sebesar 82% dari 11 kali percobaan. Faktor yang memengaruhi kesalahan deteksi adalah pencahayaan tidak stabil, gangguan objek lain, dan pengaturan parameter HSV yang belum optimal.

Kata Kunci - Computer vision, OpenCV, HSV, Hough Circle Transform, Deteksi bola

Abstract - Goal-line technology is one of the innovations developed to improve the accuracy of decision-making in football matches, particularly in determining whether the ball has completely crossed the goal line and can be legitimately declared a goal. This study aims to design and implement a computer vision-based ball detection system capable of operating in real time through the integration of hardware and software components. The system employs two high-resolution cameras to monitor the playing field and the goal area, while a mini PC serves as the central data processing unit. The software is developed using the Python programming language and the OpenCV library. The implemented methods include HSV color segmentation to detect the ball based on its color characteristics and the Hough Circle Transform to accurately identify circular objects. The field and goal areas are defined as polygons through a PyQt5-based graphical user interface, which also visually displays the ball status. The system is tested on a mini football field under various scenarios, including different ball positions, lighting conditions, and the presence of obstructing objects. The test results indicate that the system is capable of classifying ball status into “In Play,” “Out of Play,” “Valid Goal,” and “Invalid Goal” categories with an accuracy rate of 82% based on 11 trials. Factors affecting detection errors include unstable lighting conditions, interference from other objects, and suboptimal HSV parameter settings.

Keywords - Computer Vision, OpenCV, HSV, Hough Circle Transform, Ball Detection.

I. PENDAHULUAN

Sepak bola merupakan olahraga yang paling populer di dunia, dimainkan oleh jutaan orang dan ditonton oleh miliaran penggemar di seluruh penjuru dunia. Dalam sebuah pertandingan,

akurasi dalam pengambilan keputusan, terutama dalam menentukan apakah bola telah masuk ke gawang (gol) atau keluar dari lapangan, sangatlah penting. Kesalahan keputusan dapat memicu kontroversi dan memengaruhi hasil pertandingan secara signifikan.

Dengan kemajuan teknologi, penerapan sistem berbasis komputer vision telah menjadi solusi potensial untuk meningkatkan akurasi dalam berbagai aspek pertandingan sepak bola. Salah satu penerapannya adalah teknologi garis gawang yang dapat secara otomatis mendeteksi apakah bola telah melewati garis gawang atau keluar dari batas lapangan. Teknologi ini tidak hanya meningkatkan akurasi keputusan tetapi juga mempercepat proses pengambilan keputusan oleh wasit.

Proyek ini bertujuan untuk mengembangkan sistem berbasis komputer vision yang menggunakan kamera dan mini PC untuk mendeteksi bola di lapangan sepak bola. Sistem ini akan memberikan informasi akurat mengenai posisi bola, apakah bola telah keluar lapangan atau masuk ke gawang. Dengan teknologi ini, diharapkan sistem dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan kualitas pertandingan sepak bola, baik di tingkat profesional maupun amatir.

Selain itu, sistem ini dirancang untuk mendukung pertandingan dengan mengurangi beban kerja wasit yang selama ini sering kali menjadi sorotan akibat keputusan yang kurang tepat. Dengan adanya bantuan teknologi, fokus wasit dapat lebih diarahkan pada aspek-aspek lain dari permainan yang memerlukan penilaian subjektif, sementara keputusan terkait gol dan bola keluar dapat diambil secara obyektif oleh sistem.

Di sisi lain, adopsi teknologi ini juga mencerminkan tren global dalam digitalisasi olahraga, di mana penggunaan teknologi mutakhir tidak hanya meningkatkan kualitas permainan tetapi juga memberikan pengalaman menonton yang lebih menarik bagi penggemar. Dalam jangka panjang, teknologi seperti ini dapat menjadi standar baru dalam dunia sepak bola modern.

II. METODE

A. Tinjauan Umum

Pada penelitian ini, sistem yang dirancang menggunakan teknologi *Computer Vision* berbasis kamera dan *mini PC*. Kamera digunakan untuk menangkap citra lapangan sepak bola, sedangkan *mini PC* berfungsi sebagai pusat pemrosesan data. Sistem difokuskan untuk mendeteksi bola, menentukan posisinya, serta mengidentifikasi apakah bola telah melewati garis gawang (*goal*) atau keluar dari batas lapangan.

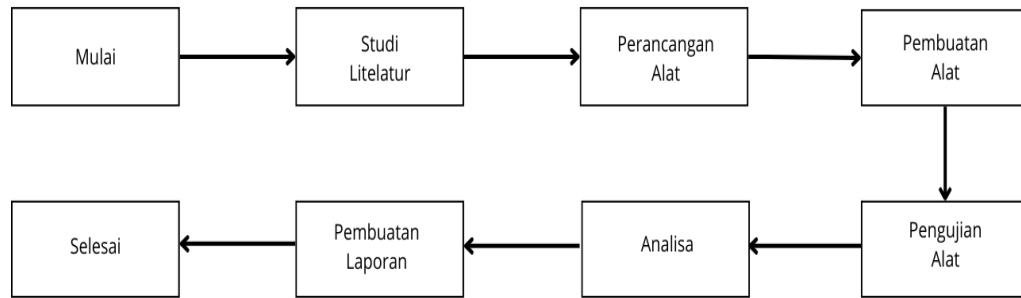
Komponen utama meliputi kamera beresolusi tinggi, *mini PC*, serta perangkat lunak yang dikembangkan menggunakan Python dan pustaka OpenCV. Algoritma yang diterapkan mencakup segmentasi warna, deteksi objek, dan pengenalan pola untuk mengidentifikasi bola secara akurat. Data citra diproses berdasarkan referensi garis gawang dan batas lapangan yang telah ditentukan sehingga posisi bola dapat dianalisis secara *real-time*.

Sistem dirancang agar fleksibel dan mudah diterapkan pada berbagai jenis lapangan sepak bola dengan penyesuaian yang minimal. Selain itu, perangkat lunak dioptimalkan agar tetap mampu bekerja pada berbagai kondisi pencahayaan dan gangguan visual. Untuk mengevaluasi kinerja sistem, hasil deteksi dibandingkan dengan pengamatan manual yang dilakukan oleh operator. Proses validasi ini bertujuan untuk mengukur tingkat keandalan dan akurasi sistem sebelum diterapkan pada skenario pertandingan yang sebenarnya sebagai pendukung pengambilan keputusan wasit secara cepat dan obyektif.

B. Tahapan Penelitian

Ada beberapa tahapan yang dilakukan pada penelitian ini, agar penelitian dapat dilakukan dengan maksimal sesuai prosedur yang diharapkan. Maka dari itu dibuatlah sebuah *flowchart*

penelitian sebagai bentuk deskripsi prosedur kerja dalam penelitian ini yang dapat dilihat pada Gambar 1.



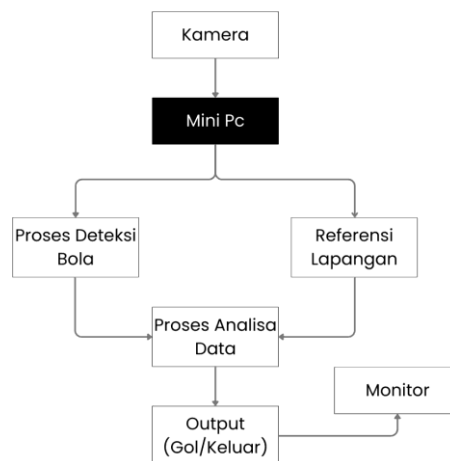
Gambar 1. *Flowchart* penelitian

Flowchart penelitian digunakan sebagai panduan dalam perancangan dan pengembangan teknologi garis gawang agar setiap tahapan penelitian berjalan secara sistematis dan sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan. Selain menggambarkan alur kerja, flowchart juga menunjukkan langkah-langkah yang harus dilakukan serta alternatif tindakan apabila terjadi kendala pada setiap tahap.

Dengan mengikuti alur pada flowchart, proses penelitian dapat dilaksanakan secara bertahap mulai dari perancangan, implementasi, hingga pengujian sistem. Pendekatan ini membantu memastikan bahwa sistem yang dikembangkan dapat berfungsi dengan baik dan menghasilkan kinerja sesuai dengan tujuan penelitian.

C. Blok Diagram Sistem

Blok diagram merupakan gambaran umum alur kerja sistem yang menunjukkan hubungan antar komponen serta proses yang berlangsung. Diagram ini memudahkan pemahaman mengenai fungsi dan keterkaitan setiap komponen dalam mendukung kinerja sistem. Blok diagram yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.

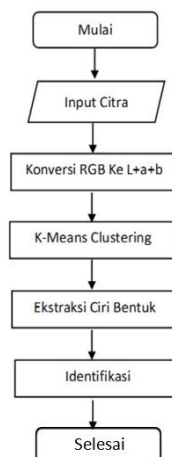


Gambar 2. Blok Diagram Sistem

Sistem diawali dengan kamera yang menangkap citra lapangan secara *real-time* dan mengirimkannya ke *mini PC* untuk diproses menggunakan algoritma *computer vision*. Posisi bola kemudian dibandingkan dengan koordinat batas lapangan dan garis gawang untuk menentukan status Dalam Lapangan, Out, atau Goal. Hasil deteksi selanjutnya ditampilkan pada monitor secara *real-time*.

D. Proses Pengolahan Citra

Pengolahan Citra Akuisisi citra adalah proses pengubahan citra analog menjadi citra digital yang diambil dari lingkungan atau dunia nyata menggunakan beberapa alat berikut, kamera digital, *webcam*, *smartphone*, dan *scanner*, agar bisa dilanjutkan ke tahap processing. Pengolahan citra yang disebut dengan *image processing* merupakan suatu proses pengolahan gambar dengan kualitas citra atau yang bisa dibaca oleh sistem. Pengolahan citra adalah sebuah proses pengolahan yang inputnya adalah citra. Outputnya dapat berupa citra atau sekumpulan karakteristik atau parameter yang berhubungan dengan citra. Berikut *flowchart* proses pengolahan citra ditunjukkan pada Gambar 3.



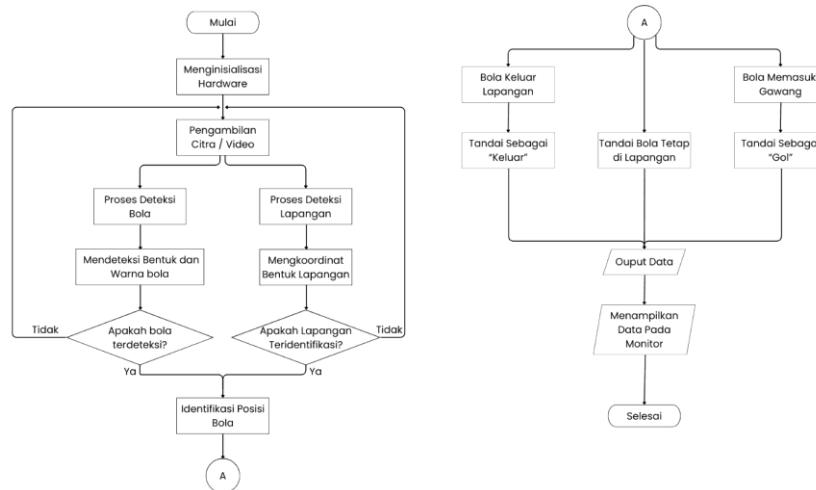
Gambar 3. Proses Pengolahan Citra

Proses dimulai dengan memasukkan citra ke dalam sistem, kemudian citra RGB dikonversi ke ruang warna *Lab* untuk memudahkan analisis warna. Selanjutnya, metode *K-Means Clustering* digunakan untuk mengelompokkan piksel berdasarkan kemiripan warna. Hasil klastering dimanfaatkan untuk mengekstraksi ciri bentuk objek, seperti luas, keliling, dan aspek rasio. Berdasarkan ciri tersebut, sistem mengidentifikasi objek dengan mencocokkannya terhadap model yang telah ditentukan. Setelah proses identifikasi selesai, sistem siap memproses citra berikutnya.

E. Flowchart Rancangan Software

Perancangan perangkat lunak bertujuan untuk mengimplementasikan sistem deteksi bola berbasis *computer vision* menggunakan bahasa pemrograman Python dan pustaka OpenCV. Perangkat lunak ini dirancang untuk memproses citra dari kamera, mendeteksi posisi bola, serta menentukan apakah bola telah melewati garis gawang atau keluar dari batas lapangan.

Flowchart pada Gambar 4 menunjukkan alur kerja perangkat lunak, mulai dari proses pengambilan citra, pengolahan data, hingga menghasilkan informasi posisi dan status bola.



Gambar 4. Flowchart sistem

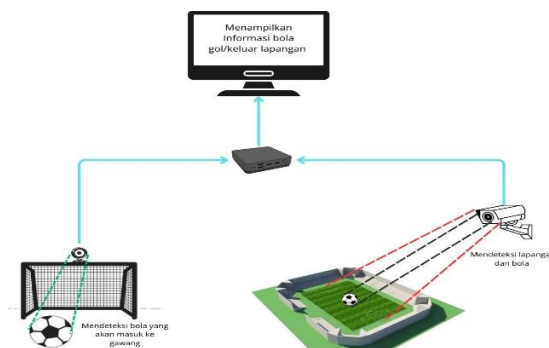
Proses dimulai dengan inisialisasi kamera dan mini PC. Kamera menangkap citra secara real-time, kemudian citra diproses menggunakan algoritma computer vision untuk mendeteksi bola berdasarkan warna dan bentuknya. Jika bola tidak terdeteksi, sistem kembali melakukan pengambilan citra.

Setelah bola terdeteksi, sistem mengidentifikasi area lapangan beserta koordinat batas lapangan dan garis gawang. Posisi bola kemudian dibandingkan dengan koordinat tersebut untuk menentukan statusnya, yaitu Dalam Lapangan, Out, atau Goal. Apabila area lapangan tidak terdeteksi, proses kembali ke tahap pengambilan citra.

Hasil deteksi ditampilkan pada antarmuka pengguna dan monitor secara real-time. Proses ini berlangsung secara berulang hingga sistem dihentikan, sehingga mampu memberikan informasi posisi dan status bola secara cepat dan akurat.

F. Rancangan Prototype

Rancangan prototype merupakan proses pembuatan model sederhana menggunakan perangkat lunak yang bertujuan untuk memiliki gambaran dasar tentang sistem yang dibuat, sehingga dapat dengan mudah memodelkan gambaran ilustrasi. Rancangan prototype alat yang akan dibuat dalam tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Ilustrasi Alat

Pembuatan ilustrasi prototype ini tidak hanya sebagai gambaran tetapi juga sebagai suatu tolak ukur kepada penulis untuk menempatkan komponen yang digunakan pada proyek tugas akhir ini sehingga alat yang diciptakan tidak membuang tempat dan memakan banyak ruang yang tidak berguna. Pembuatan prototype juga memiliki fungsi sebagai penguji awal terhadap

proyek akhir ini dan memberikan gambaran komponen yang akan digunakan serta bentuk akhir dari alat tugas akhir ini.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perancangan Alat

Hasil perancangan alat pada penelitian ini berupa sistem pendeteksi bola berbasis *computer vision* yang terdiri atas area lapangan sebagai batas permainan, kamera lapangan, kamera gawang, dan *mini PC* sebagai pusat pemrosesan data. Kamera lapangan digunakan untuk memantau pergerakan bola, sedangkan kamera gawang berfungsi memverifikasi posisi bola terhadap garis gawang.

Citra yang diperoleh dari kedua kamera diproses pada *mini PC* menggunakan algoritma pengolahan citra secara *real-time*. Hasil analisis digunakan untuk menentukan posisi bola terhadap batas lapangan dan garis gawang, kemudian ditampilkan pada monitor dalam bentuk status Dalam Lapangan, Out, atau Goal. Integrasi seluruh komponen tersebut memungkinkan sistem membantu pengambilan keputusan secara cepat dan objektif pada pertandingan sepak bola.

1. Pengaplikasian Area Lapangan

Area lapangan pada sistem ini dibuat dan dimodifikasi sedemikian rupa sehingga menyerupai lapangan bola mini dengan ukuran $5\text{ m} \times 2\text{ m}$. Namun, pada implementasi alat, lapangan hanya dilengkapi dengan satu area gawang. Ilustrasi rancangan lapangan tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Area lapangan

2. Pemasangan kamera Lapangan

Pemasangan kamera diletakkan ditempat yang tinggi agar kamera dapat mencakup keseluruhan lapangan. Berikut adalah ilustrasi posisi kamera di dinding dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Posisi kamera di dinding

3. Pemasangan kamera Gawang

Pemasangan kamera gawang diletakkan di sisi pinggir gawang agar bagian dalam gawang dapat terlihat keseluruhan. Berikut adalah ilustrasi posisi kamera di gawang dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Posisi kamera di gawang

B. Integrasi antara Software dan Hardware

Pengujian integrasi sistem dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh komponen perangkat keras, yaitu kamera lapangan dan kamera gawang, dapat terhubung serta bekerja secara sinkron dengan perangkat lunak pendeteksi bola. Tujuan pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa sistem mampu menjalankan seluruh fungsi sesuai dengan rancangan yang telah dibuat.

Dalam proses integrasi, kamera lapangan digunakan untuk mendeteksi posisi bola dan menentukan apakah bola berada di dalam atau di luar area permainan. Sementara itu, kamera gawang berfungsi untuk memverifikasi posisi bola ketika berada di sekitar atau melewati garis gawang. Kedua kamera dihubungkan ke *mini PC* sebagai pusat pemrosesan data dan dikendalikan menggunakan perangkat lunak yang dikembangkan dengan bahasa pemrograman Python dan pustaka OpenCV.

Proses integrasi dilakukan dengan mengambil dan membaca *frame* dari kedua kamera secara bersamaan. Data citra yang diperoleh kemudian diproses menggunakan algoritma *computer vision* untuk mendeteksi posisi bola dan menganalisis statusnya berdasarkan koordinat lapangan dan area gawang yang telah ditentukan. Hasil akhir dari proses ini berupa informasi status bola yang diklasifikasikan sebagai Gol Valid, Bola Dalam Lapangan, atau Bola Keluar Lapangan.

1. Kode Integrasi Komponen

Potongan kode berikut menunjukkan bagian perangkat lunak yang mengatur kerja sama kamera 1 dan kamera 2 dalam proses pendeteksian yang dapat dilihat pada Gambar 9.

```
# Inisialisasi kamera
self.cap1 = cv2.VideoCapture(3) # Kamera lapangan
self.cap2 = cv2.VideoCapture(4) # Kamera gawang

def update_frames(self):
    # Baca frame dari kedua kamera
    ret1, frame1 = self.cap1.read()
    ret2, frame2 = self.cap2.read()

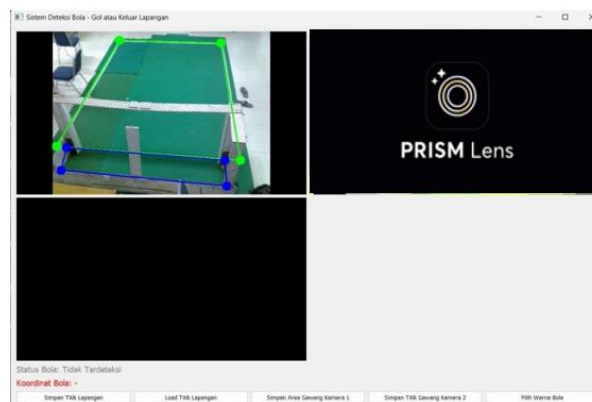
    # Deteksi bola di kamera 1
    if ret1:
        bola_cam1, _ = self.detector.detect(frame1)

    # Deteksi bola di kamera 2
    if ret2:
        bola_cam2, _ = self.detector.detect(frame2)
```

Gambar 9. Potongan Kode untuk inisialisasi dengan kamera

2. Hasil Tampilan Kamera Lapangan

Pada Gambar 10 menunjukkan tampilan GUI saat kamera lapangan (kamera 1) berhasil diintegrasikan dengan perangkat lunak. Pada gambar ini terlihat bahwa sistem dapat menampilkan kamera lapangan di dalam aplikasi. Hasil ini membuktikan bahwa kamera lapangan telah terhubung dan berfungsi dengan baik.



Gambar 10. Hasil Tampilan kamera lapangan

3. Hasil Tampilan Kamera Lapangan dan Gawang

Pada Gambar 11 memperlihatkan tampilan GUI saat kamera lapangan dan gawang (kamera 1 dan 2) berhasil diintegrasikan dengan perangkat lunak. Gambar ini menunjukkan area lapangan dan gawang di dalam aplikasi. Hasil pengujian membuktikan bahwa kamera lapangan dan gawang dapat terhubung dengan sistem dan siap digunakan untuk mendeteksi bola di kedua area.



Gambar 11. Hasil Tampilan kamera lapangan dan gawang

C. Sistem Deteksi Bola Secara Real-Time

Untuk merancang sistem deteksi bola secara real-time, digunakan kombinasi antara segmentasi warna HSV dan deteksi bentuk (lingkaran). Bola dikenali berdasarkan warna khasnya serta bentuknya yang menyerupai lingkaran atau objek melingkar lainnya.

Setelah bola berhasil dikenali, sistem akan menganalisis posisinya dengan membandingkannya terhadap area lapangan dan gawang yang telah ditentukan sebelumnya melalui GUI. Dengan cara ini, sistem dapat menentukan apakah bola berada di dalam lapangan, masuk ke gawang, atau keluar dari area permainan, secara cepat dan akurat.

GUI yang ditampilkan secara real-time memberikan kemampuan kepada pengguna untuk melihat hasil deteksi secara langsung, termasuk mengatur ulang titik-titik lapangan jika diperlukan.

D. Hasil Pengujian Keseluruhan

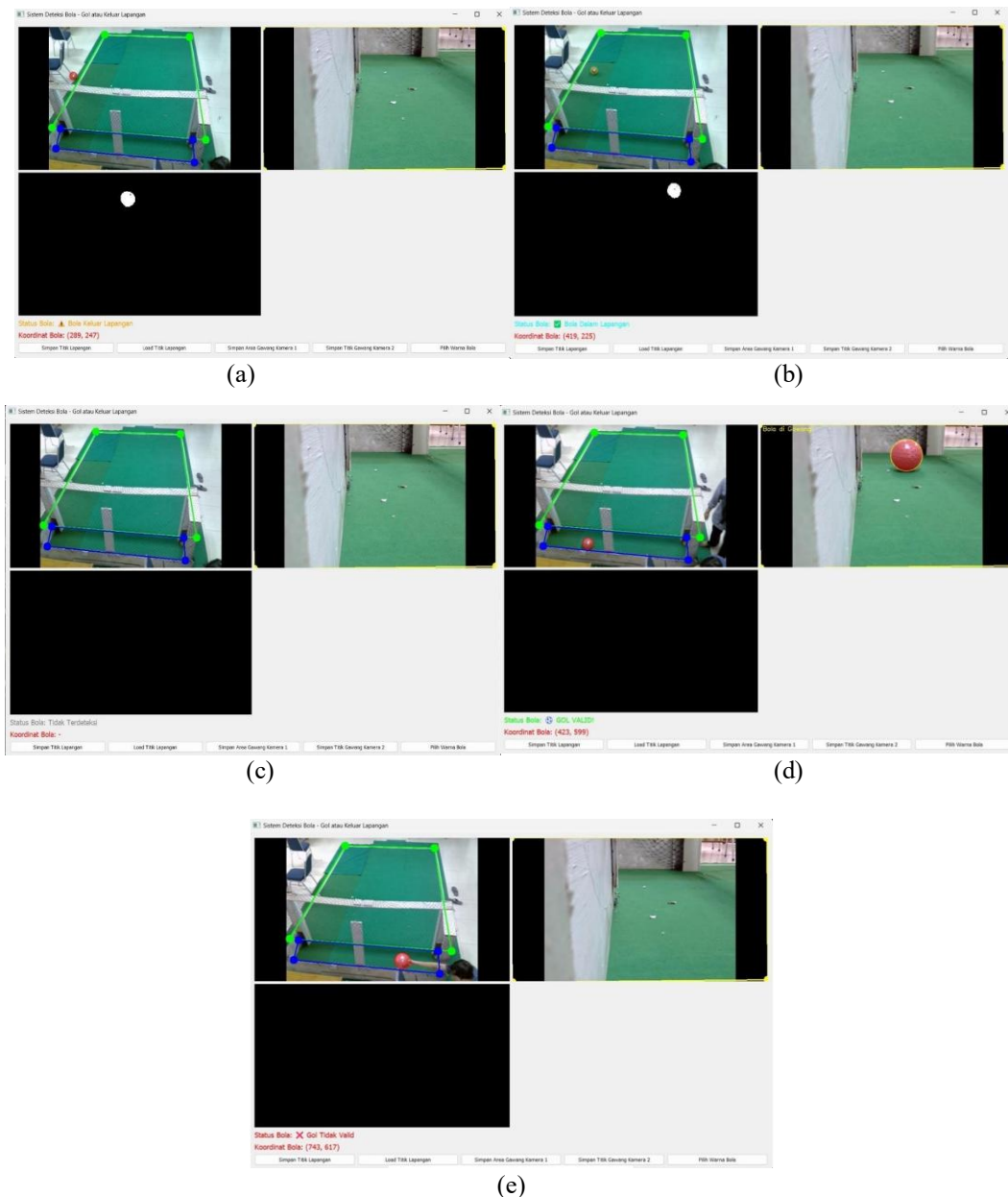
Pada sistem yang dikembangkan, penentuan status bola dilakukan melalui dua tahap analisis menggunakan kamera lapangan dan kamera gawang. Pendekatan ini bertujuan untuk meningkatkan akurasi deteksi serta meminimalkan kesalahan dalam penentuan status bola.

Kamera lapangan berfungsi sebagai pendeteksi utama yang memantau seluruh area permainan secara real-time. Kamera ini digunakan untuk mendeteksi keberadaan bola serta menentukan posisi bola berdasarkan koordinat yang telah ditetapkan pada area lapangan.

Kamera gawang berfungsi sebagai kamera verifikasi untuk memastikan hasil deteksi dari kamera lapangan. Kamera ini hanya digunakan ketika kamera lapangan mendeteksi bahwa bola berada di area gawang. Proses verifikasi dilakukan untuk meningkatkan akurasi keputusan sistem dan mengurangi kesalahan deteksi.

Adapun batas area deteksi pada sistem ini berada pada koordinat minimum $X = 163$, $Y = 9$ dan koordinat maksimum $X = 1125$, $Y = 719$, sehingga bola yang berada di luar koordinat tersebut tidak akan terdeteksi oleh sistem.

Berikut adalah tampilan hasil deteksi bola gol atau keluar lapangan dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. (a) Bola Keluar Lapangan (b) Bola Dalam Lapangan (c) Bola Tidak Terdeteksi (d) Bola GOL (e) Bola GOL tidak valid

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12(a) -12(e), sistem mampu menentukan status akhir bola berdasarkan hasil deteksi kamera lapangan dan kamera gawang. Pada Gambar 12(a), sistem memberikan status "Keluar Lapangan" karena bola berada di luar batas lapangan dengan koordinat $X = 289$ dan $Y = 247$. Gambar 12(b) menunjukkan status "Dalam Lapangan" karena bola masih berada di area permainan pada koordinat $X = 419$ dan $Y = 225$. Pada Gambar 12(c), sistem menampilkan status "Tidak Terdeteksi" karena bola tidak berhasil dikenali akibat pencahayaan atau objek penghalang.

Selanjutnya, Gambar 12(d) menunjukkan status "Gol" karena bola terdeteksi di area gawang oleh kamera lapangan dan berhasil diverifikasi oleh kamera gawang dengan koordinat $X = 423$ dan $Y = 599$. Sebaliknya, pada Gambar 12(e), sistem menghasilkan status "Gol Tidak Valid"

karena bola hanya terdeteksi oleh kamera lapangan pada koordinat $X = 743$ dan $Y = 617$, sedangkan kamera gawang tidak berhasil memverifikasi bahwa bola telah melewati garis gawang.

Berdasarkan hasil pengujian, sistem menggunakan rentang nilai HSV untuk mendeteksi bola berwarna merah. Rentang nilai HSV yang digunakan dalam proses deteksi ditunjukkan pada Gambar 13.

```
self.lower_hsv_1 = np.array([0, 70, 50])
self.upper_hsv_1 = np.array([10, 255, 255])
self.lower_hsv_2 = np.array([160, 70, 50])
self.upper_hsv_2 = np.array([180, 255, 255])
```

Gambar 13. Kode HSV warna

Pada Gambar 13 terlihat bahwa sistem menggunakan dua rentang HSV untuk meningkatkan akurasi deteksi bola berwarna merah pada berbagai kondisi pencahayaan. Penggunaan satu rentang HSV saja kurang mampu mendeteksi warna merah secara konsisten. Namun, metode ini berpotensi menimbulkan *false detection* karena objek lain yang memiliki warna mendekati merah, seperti merah muda, oranye, atau coklat, juga dapat terdeteksi. Rentang HSV yang digunakan kemudian dikonversi ke format RGB untuk mempermudah interpretasi warna, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

TABEL 1. KONVERSI HSV KE RGB

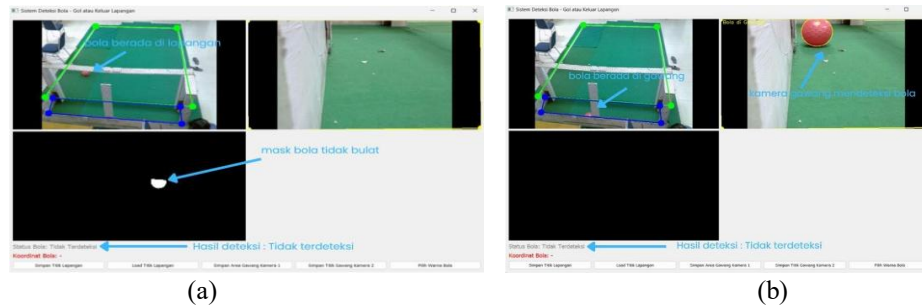
Rentang	HSV Min → RGB	HSV Max → RGB	Warna yang Terdeteksi
1	[0, 70, 50] → RGB (50, 36, 36)	[10, 255, 255] → RGB (255, 85, 0)	Merah gelap → merah-oranye terang
2	[160, 70, 50] → RGB (50, 36, 45)	[180, 255, 255] → RGB (255, 0, 0)	Merah gelap keunguan → merah murni

Selain warna, sistem juga memanfaatkan bentuk objek untuk meningkatkan akurasi deteksi bola. Metode *Hough Circle* digunakan untuk mengidentifikasi objek berbentuk lingkaran yang merepresentasikan bola. Potongan kode implementasi metode tersebut ditunjukkan pada Gambar 14.

```
# 4. Deteksi lingkaran
circles = cv2.HoughCircles(mask_blur, cv2.HOUGH_GRADIENT, dp=1.2,
                           minDist=50, param1=105, param2=30,
                           minRadius=self.min_radius,
                           maxRadius=self.max_radius)
```

Gambar 14. Kode *HoughCircle*

Dengan menggunakan metode *Hough Circle*, objek yang terdeteksi terfokus pada bentuk lingkaran. Namun, metode ini memiliki keterbatasan, yaitu apabila terdapat objek yang menutupi bola sebagian, maka bola tersebut tidak akan terdeteksi. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15 (a) dan Gambar 15 (b).



Gambar 15. (a) Kondisi bola di lapangan yang tidak terdeteksi karena terhalang objek (b) Kondisi bola di gawang yang tidak terdeteksi karena terhalang objek

Pada Gambar 15(a) dan Gambar 15(b), bola berada di dalam lapangan tetapi tidak terdeteksi karena sebagian tertutup oleh objek lain sehingga metode *Hough Circle* tidak dapat mengenali bentuk lingkarannya. Akibatnya, sistem hanya mendeteksi warna tanpa memverifikasi bentuk bola, sehingga identifikasi menjadi tidak akurat. Kondisi ini menunjukkan bahwa objek penghalang dapat menurunkan kinerja sistem. Untuk mengatasinya, sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan kamera pada sudut pandang yang berbeda agar peluang deteksi bola menjadi lebih tinggi.

E. Data Pengujian

Pengujian sistem dilakukan sebanyak 11 kali dengan beberapa skenario untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mendeteksi posisi dan status bola. Skenario pengujian meliputi kondisi ketika bola berhasil melewati garis gawang sehingga dinyatakan sebagai gol, bola keluar melewati garis samping atau garis akhir lapangan, bola berada di sekitar garis gawang namun tidak sepenuhnya memasuki area gawang, serta kondisi ketika bola tidak dapat dideteksi akibat terhalang oleh objek lain atau dipengaruhi oleh kondisi pencahayaan.

Setiap skenario bertujuan untuk menguji keakuratan sistem dalam mengklasifikasikan status bola menjadi Dalam Lapangan, Luar Lapangan, Gol, Gol Tidak Valid, atau Tidak Terdeteksi. Hasil pengujian dari seluruh skenario tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

TABEL 2. TABEL DATA PENGUJIAN

No	Posisi Bola (x, y)	Status Kamera Lapangan	Status Kamera Gawang	Status Akhir	Keterangan
1	(635, 190)	Area Lapangan	Tidak Terdeteksi	Bola dalam lapangan	Valid
2	(935, 182)	Di Luar	Tidak Terdeteksi	Bola keluar lapangan	Valid
3	(703, 39)	Di Luar	Tidak Terdeteksi	Bola keluar lapangan	Valid
4	(743, 617)	Area Gawang	Tidak Terdeteksi	Gol tidak valid	Valid
5	-	Tidak Terdeteksi	-	Tidak Terdeteksi	Valid
6	Dalam Lapangan	Tidak Terdeteksi	Tidak Terdeteksi	Tidak Terdeteksi	Gagal
7	(559, 397)	Area Lapangan	Tidak Terdeteksi	Bola dalam lapangan	Valid
8	Area Gawang	Tidak Terdeteksi	Bola Terdeteksi	Tidak Terdeteksi	Gagal
9	(423, 599)	Area Gawang	Bola terdeteksi	GOL	Valid
10	(419, 225)	Area Lapangan	Tidak terdeteksi	Bola dalam lapangan	Valid
11	(289, 247)	Di Luar	Tidak terdeteksi	Bola keluar lapangan	Valid

Hasil pengujian sistem ditampilkan pada Tabel 2. Berdasarkan 11 kali pengujian yang telah dilakukan, sistem berhasil melakukan deteksi dengan benar sebanyak 9 kali, sedangkan 2 pengujian lainnya menghasilkan deteksi yang tidak sesuai. Dengan demikian, tingkat akurasi sistem dapat dihitung menggunakan Persamaan (1) sebagai berikut.

$$Akurasi = (9 \div 11) \times 100\% = 82\% \quad (1)$$

Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem deteksi bola berbasis *computer vision* mampu bekerja dengan tingkat akurasi sebesar 82% dalam menentukan status bola pada berbagai skenario pengujian.

Kesalahan deteksi yang terjadi dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya kondisi pencahayaan yang tidak stabil sehingga memengaruhi proses segmentasi warna, adanya objek lain yang menghalangi bola (*occlusion*), serta pengaturan rentang nilai HSV (*HSV masking*) yang belum optimal sehingga objek bola tidak dapat dikenali secara konsisten pada setiap kondisi pengujian.

F. Evaluasi Berdasarkan Tujuan Penelitian

Pada bagian ini dilakukan evaluasi terhadap pencapaian sistem yang telah dirancang dan direalisasikan, dengan mengacu pada tujuan penelitian yang telah ditetapkan pada Bab I. Evaluasi ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana sistem berhasil memenuhi target fungsionalitas dan kinerja yang diharapkan. Berikut adalah uraian pencapaian sistem berdasarkan masing-masing tujuan penelitian dapat dilihat pada tabel 3.

TABEL 3. EVALUASI BERDASARKAN TUJUAN PENELITIAN

Tujuan Penelitian	Realisasi
Merancang sistem deteksi bola <i>real-time</i>	Terlaksana dengan <i>GUI</i> responsif dan <i>OpenCV real-time</i>
Deteksi bola dengan akurat	Tercapai, dengan akurasi $\pm 82\%$
Menentukan apakah bola gol atau keluar	Terimplementasi dengan 2 kamera dan logika verifikasi
Integrasi <i>hardware</i> dan <i>software</i>	<i>Mini PC</i> , 2 kamera, dan <i>GUI</i> terintegrasi baik

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem pendeteksi bola menggunakan teknologi garis gawang berbasis *computer vision*, dapat disimpulkan bahwa sistem berhasil mendeteksi posisi bola secara *real-time* menggunakan dua kamera, yaitu kamera lapangan dan kamera gawang, yang diproses menggunakan Python dan OpenCV. Deteksi bola dilakukan berdasarkan karakteristik warna menggunakan metode HSV serta bentuk lingkaran menggunakan metode Hough Circle, sehingga sistem mampu menentukan apakah bola berada di dalam lapangan, keluar lapangan, atau berada di area gawang. Kamera gawang juga berfungsi sebagai verifikator untuk memastikan bahwa bola benar-benar telah melewati garis gawang sebelum sistem memberikan status "Gol". Berdasarkan 11 kali pengujian, sistem memperoleh tingkat akurasi sebesar 82%, yang menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja dengan baik pada skenario simulasi lapangan mini. Selain itu, GUI yang dikembangkan memudahkan pengaturan koordinat garis lapangan serta menampilkan hasil deteksi dan status bola melalui antarmuka yang interaktif dan fleksibel.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih dosen pembimbing atas bimbingan, arahan, dan masukan berharga yang telah diberikan selama proses penyusunan jurnal ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Politeknik Negeri Bengkalis atas dukungan fasilitas dan sarana yang telah diberikan, serta kepada seluruh pihak yang telah membantu sehingga jurnal ini dapat diselesaikan dengan baik.

REFERENSI

- [1] M. Munawir et al., "Face Recognition: Sistem Identifikasi dan Autentikasi Berbasis Citra Wajah," *Jurnal Teknologi Informasi*, vol. 12, no. 1, pp. 45-55, 2020.
- [2] R. Wahyuni, "Implementasi Computer Vision dalam Deteksi Objek Menggunakan Background Subtraction," *Jurnal Ilmu Komputer dan Aplikasi*, vol. 15, no. 3, pp. 21-35, 2017.
- [3] D. F. Sari and A. Putra, "Pelacakan Objek Berbasis Warna RGB untuk Deteksi Real-Time," *Jurnal Teknologi dan Informatika*, vol. 10, no. 2, pp. 102-118, 2018.
- [4] H. Prasetyo and R. Lestari, "Implementasi Python dan OpenCV dalam Sistem Deteksi Objek untuk Pembelajaran Anak Usia Dini," *Jurnal Edukasi Teknologi*, vol. 20, no. 4, pp. 135-150, 2022.
- [5] T. D'Orazio, C. Guaragnella, M. Leo, and A. Distanti, "A New Algorithm for Ball Recognition Using Circle Hough Transform and Neural Classifier," *Pattern Recognition*, vol. 37, no. 2, pp. 393-408, 2004.
- [6] X.-F. Tong, H.-Q. Lu, and Q.-S. Liu, "An Effective and Fast Soccer Ball Detection and Tracking Method," in *Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, Cambridge, U.K., 2004.
- [7] N. Khamdi, M. Susantok, and P. Leopard, "Pendeteksian Objek Bola dengan Metode Color Filtering HSV pada Robot Soccer Humanoid," *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, vol. 6, no. 2, pp. 123-128, Jul. 2017.
- [8] K. Pulli, A. Baksheev, K. Korniyakov, and V. Eruhimov, "Real-Time Computer Vision with OpenCV," *Communications of the ACM*, vol. 55, no. 6, pp. 61-69, Jun. 2012.
- [9] G. S. Nahla, "Tracking Bola Menggunakan Robotino," *Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS-ITS), Surabaya, Indonesia*, 2011.
- [10] A. Suheryadi, W. Permana Putra, and M. Lukman Sifa, "Deteksi Bola Menggunakan Kombinasi Metode Filter Warna dan Bentuk," *Seminar Nasional Teknik Elektro*, 2021.
- [11] Y. P. Prayitno, H. Harianto, and M. C. Wibowo, "Rancang Bangun Aplikasi Pendeteksian Bentuk dan Warna Benda pada Mobile Robot Berbasis Webcam," *Jurnal STIKOM Surabaya*, 2010.