

Sistem Kalibrasi Dengan *Color Threshold* Menggunakan Kamera Stereo Pada Robot Sepak Bola Beroda

Sholahuddin Muhammad Irsyad^{1*}, Agus Khumaidi², Ryan Yudha Adhitya³, Adi Rahmad Ramadhan⁴, dan Dhika Arya Pratama⁵.

¹ Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya ; email : muhammad.irsyad@ppns.ac.id

² Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya ; email : aguskhumaidi@ppns.ac.id

³ Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya ; email : ryanyudhaadhitya@ppns.ac.id

⁴ Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya ; email : adirahmad@student.ppns.ac.id

⁵ Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya ; email : dhikaarya12@student.ppns.ac.id

Penulis : Sholahuddin Muhammad Irsyad

Abstract : This study proposes a Color Threshold-based object detection and calibration system using an Orbbec Astra Pro Plus Stereo Vision camera on a wheeled soccer robot (KRSBI-B) to improve the accuracy and efficiency of real-time ball detection. The camera calibration process is performed using the built-in automatic feature of the Orbbec Astra OpenNI SDK, without manual calibration. Validation results show that the camera depth system has a high level of accuracy with a maximum error of 2% at a distance of 50 cm and an average error of 1.73%, making it suitable for use in object distance estimation. The HSV (Hue, Saturation, Value)-based Color Threshold method was calibrated interactively using color sliders with an optimal range of Hue (5–20°), Saturation (120–255), and Value (100–255). Testing was conducted under synthetic lighting conditions of 500 lux with a distance variation of 50–300 cm. The best results were obtained at a distance of 250 cm, with 0% measurement error and full detection on binary images. The system also showed high stability at distances of 100–300 cm with an average error of only 0.63%, while objects were not detected at a distance of 50 cm due to the camera's field of view limit. This approach provides high processing speed, good detection stability, and low computational load compared to deep learning-based methods. The integration of stereo calibration and the HSV method results in an efficient, accurate, and adaptive vision system, making it highly suitable for real-time applications on wheeled soccer robots.

Keywords: Calibration; Wheeled Soccer Robot; Stereo Vision; Color Threshold

Abstrak: Penelitian ini mengusulkan sistem kalibrasi dan deteksi objek berbasis Color Threshold menggunakan kamera Stereo Vision Orbbec Astra Pro Plus pada robot sepak bola beroda (KRSBI-B) untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi deteksi bola secara real-time. Proses kalibrasi kamera dilakukan menggunakan fitur otomatis bawaan dari SDK OpenNI Orbbec Astra, tanpa kalibrasi manual. Hasil validasi menunjukkan bahwa sistem kedalaman kamera memiliki tingkat akurasi tinggi dengan error maksimum 2% pada jarak 50 cm dan rata-rata error 1,73%, sehingga layak digunakan dalam estimasi jarak objek. Metode Color Threshold berbasis HSV (Hue, Saturation, Value) dikalibrasi secara interaktif menggunakan slider warna dengan rentang optimal Hue (5–20°), Saturation (120–255), dan Value (100–255). Pengujian dilakukan pada kondisi pencahayaan sintetis 500 lux dengan variasi jarak 50–300 cm. Hasil terbaik diperoleh pada jarak 250 cm, dengan kesalahan pengukuran 0% dan deteksi penuh pada citra biner. Sistem juga menunjukkan kestabilan tinggi pada jarak 100–300 cm dengan rata-rata kesalahan hanya 0,63%, sedangkan objek tidak terdeteksi pada jarak 50 cm karena batas pandang kamera. Pendekatan ini memberikan kecepatan pemrosesan tinggi, kestabilan deteksi baik, dan beban komputasi rendah dibandingkan metode berbasis deep learning. Integrasi antara kalibrasi stereo dan metode HSV menghasilkan sistem penglihatan yang efisien, akurat, dan adaptif, sehingga sangat sesuai untuk aplikasi real-time pada robot sepak bola beroda.

Kata kunci: Kalibrasi; Robot Sepak Bola Beroda; Kamera Stereo; *Color Threshold*

Diterima: Oktober 20, 2025

Direvisi: Oktober 28, 2025

Diterima: Oktober 29, 2025

Diterbitkan: November 20, 2025

Versi sekarang: November 30, 2025



Hak cipta: © 2025 oleh penulis.

Diserahkan untuk kemungkinan
publikasi akses terbuka
berdasarkan syarat dan ketentuan
lisensi Creative Commons

Attribution (CC BY SA) (
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

1. Pendahuluan

Di era industri 4.0, kemajuan robotika telah memberikan pengaruh besar terhadap efisiensi dan otomatisasi di berbagai bidang. Salah satu pengembangan robot cerdas otonom, yaitu robot sepak bola beroda (KRSBI-B) yang termasuk dalam cabang perlombaan di Kontes Robot Indonesia (KRI). Kompetisi ini bukan hanya tempat untuk ajang kreativitas, namun juga fasilitas riset yang berfokus pada pengembangan sistem persepsi visual, pengambilan keputusan, dan pengendalian gerak dengan sistem autonomus.

Dalam sistem robot sepak bola beroda, kemampuan mengenali dan mendekripsi objek secara cepat dan akurat menjadi salah satu tantangan utama penentu performa robot. Seperti pada robot penyerang, yang harus mempunyai sistem penglihatan optimal dalam mendekripsi posisi objek di lapangan dalam waktu nyata untuk menentukan strategi pergerakan dan penyerangan. Salah satu perangkat penglihatan yang banyak digunakan adalah Stereo Vision, karena memiliki kemampuan menangkap citra RGB dan kedalaman (depth) secara bersamaan. Contoh Stereo Vision yang dapat digunakan pada robot sepak bola beroda seperti Kamera Stereo Orbbee Astra Pro Plus.

Dengan metode YOLOv5 dan Harris Corner Detection kamera Stereo Vision dapat digunakan untuk mengestimasi jarak nyata objek secara real-time. Sistem tersebut mampu mencapai akurasi hingga 96,7% dengan confidence level 99% [1]. Namun, pendekatan berbasis deep learning seperti YOLO memerlukan komputasi tinggi, dataset besar, dan waktu training yang lama. Dalam konteks robot sepak bola beroda, kondisi lapangan yang dinamis menuntut sistem yang lebih ringan, cepat, dan tetap presisi.

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut penelitian ini mengusulkan metode kalibrasi dan deteksi objek (bola) dengan sistem penglihatan berbasis Color Threhold yang lebih ringan secara komputasi yang dapat meningkatkan akurasi deteksi dalam kondisi pencahayaan terkendali (sintetis) untuk mengatasi keterbatasan tersebut. Metode ini memungkinkan sistem untuk mendekripsi objek secara cepat dan konsisten tanpa bergantung pada pelatihan model berbasis data besar [2].

Pendekatan ini diharapkan dapat menghasilkan sistem kalibrasi kamera stereo yang efisien dan akurat, sekaligus mempercepat proses deteksi objek secara real-time dengan beban komputasi rendah. Dengan begitu, robot sepak bola beroda dapat memiliki respons yang lebih cepat, stabil, dan efektif dalam melakukan deteksi serta navigasi otomatis di lapangan.

2. Tinjauan Literatur

Sistem penglihatan (vision system) merupakan komponen utama pada robot otonom modern, termasuk pada robot sepak bola beroda yang digunakan dalam kompetisi KRSBI-B. Kamera Stereo seperti Orbbee Astra Pro Plus menjadi pilihan yang banyak digunakan karena mampu menangkap citra RGB dan kedalaman (depth) secara bersamaan. Teknologi ini menggunakan prinsip structured light dengan panjang gelombang 850 nm serta mendukung rentang jarak pengukuran hingga delapan meter. Data kedalaman yang dihasilkan dari sistem stereo sangat berguna untuk menghitung jarak nyata objek, sementara keluaran RGB membantu dalam proses identifikasi warna dan bentuk [3]. Orbbee Astra Pro Plus juga didukung oleh OpenNI SDK, yang memudahkan pengembang untuk melakukan kalibrasi kamera, akuisisi data, dan pemrosesan 3D secara real-time [4].

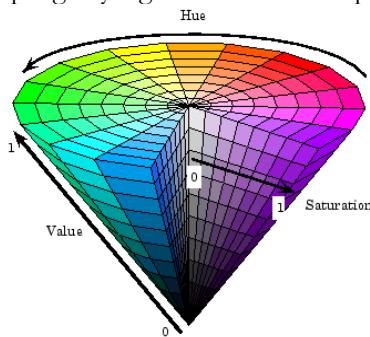
Kalibrasi kamera stereo menjadi langkah fundamental sebelum sistem dapat digunakan untuk pengukuran jarak dan deteksi objek. Proses ini dilakukan untuk menentukan parameter intrinsik, seperti panjang fokus, distorsi lensa, dan posisi pusat optik, serta parameter ekstrinsik yang menggambarkan hubungan spasial antara dua kamera. Hasil kalibrasi digunakan untuk menghasilkan peta kedalaman (depth map) berdasarkan disparitas antara citra kiri dan kanan [5]. Nilai kedalaman Z dapat dihitung melalui hubungan matematis

$$Z = \frac{f \times B}{d} \quad (1)$$

di mana f adalah panjang fokus, B jarak antar kamera, dan d merupakan nilai disparitas piksel antar citra. Semakin akurat hasil kalibrasi, semakin kecil pula kesalahan estimasi jarak yang dihasilkan oleh sistem kamera stereo.

Untuk memperkuat sistem persepsi visual, berbagai penelitian telah menerapkan metode deteksi objek berbasis machine learning seperti You Only Look Once (YOLO). Metode ini mampu mengenali objek dalam waktu nyata dengan akurasi tinggi pada sistem robot sepak bola beroda. Dalam penelitiannya, YOLOv5 dikombinasikan dengan kamera Stereo dan metode Harris Corner Detection untuk memperkirakan jarak nyata objek, menghasilkan tingkat akurasi sebesar 96,7% dengan confidence level 99% [1]. Walau hasilnya baik, pendekatan berbasis deep learning memiliki keterbatasan, antara lain kebutuhan daya komputasi tinggi, waktu pelatihan model yang lama, serta ketergantungan pada dataset besar untuk mencapai stabilitas deteksi.

Sebagai alternatif yang lebih ringan secara komputasi, metode Color Thresholding berbasis ruang warna HSV (Hue, Saturation, Value) menjadi solusi yang menarik untuk deteksi objek berbasis warna. Sistem HSV lebih unggul dibandingkan RGB karena mampu memisahkan informasi warna dan intensitas cahaya, sehingga lebih tahan terhadap perubahan pencahayaan [6]. Teknik ini bekerja dengan menentukan rentang nilai HSV yang merepresentasikan warna khas suatu objek, misalnya bola oranye pada lapangan robot sepak bola. Dengan demikian, segmentasi objek dapat dilakukan secara cepat tanpa proses training seperti pada algoritma berbasis deep learning. Selain kecepatan, metode HSV juga memiliki tingkat presisi yang tinggi untuk objek dengan warna kontras terhadap latar belakang, sehingga cocok diterapkan pada kondisi lapangan yang terkendali secara pencahayaan.



Gambar 1. HSV Color Space

Proses pengolahan citra secara keseluruhan melibatkan beberapa tahap, mulai dari akuisisi citra dari kamera stereo, konversi ruang warna RGB ke HSV, penerapan filter color threshold, hingga perhitungan posisi dan jarak objek. Setiap tahap memiliki peranan penting dalam memastikan bahwa hasil deteksi dan kalibrasi yang diperoleh sesuai dengan kondisi lapangan. Dengan menggabungkan tahapan tersebut, sistem kalibrasi berbasis Color Threshold tidak hanya meningkatkan keandalan dalam pengenalan objek, tetapi juga mempercepat proses perhitungan kedalaman dan jarak nyata, sehingga robot dapat merespons lingkungan dengan lebih cepat dan efisien.

Dari berbagai studi dan hasil penelitian terdahulu, dapat disimpulkan bahwa integrasi kamera stereo vision dengan metode pengolahan citra berbasis Color Threshold memberikan potensi besar dalam meningkatkan akurasi deteksi dan efisiensi sistem kalibrasi visual. Pendekatan ini mendukung pengembangan sistem penglihatan robot yang lebih ringan secara komputasi namun tetap mampu menghasilkan estimasi jarak dan deteksi objek dengan ketelitian tinggi. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan sistem kalibrasi berbasis Color Threshold menggunakan kamera stereo Orbbec Astra Pro Plus sebagai solusi praktis untuk meningkatkan akurasi deteksi objek pada robot sepak bola beroda.

3. Metode

3.1. Desain dan Rancangan Kamera Stereo Orbbee Astra Pro Plus



Gambar 2. Orbbee Astra Pro Plus

Penelitian ini menggunakan kamera Stereo Vision Orbbee Astra Pro Plus sebagai sensor utama untuk menangkap citra RGB dan data kedalaman (*depth map*). Kamera ini bekerja berdasarkan prinsip *structured light*, di mana sepasang sensor inframerah digunakan untuk memproyeksikan pola cahaya dan mengukur perbedaan fase pantulan antara dua kamera. Dengan dua lensa sejajar, sistem stereo dapat merekam dua citra dari sudut pandang berbeda (kiri dan kanan) yang kemudian digunakan untuk menghitung kedalaman setiap titik pada citra.

Kamera Orbbee Astra Pro Plus memiliki rentang pengukuran kedalaman antara 0,6–8 meter dengan resolusi 640×480 piksel pada 30 fps. Dalam penelitian ini, kamera diposisikan sejajar dengan ketinggian 60 cm dari permukaan lantai dan sudut kemiringan 0° terhadap bidang horizontal agar area pandang mencakup posisi bola di lapangan. Data RGB dan depth stream diakses menggunakan OpenNI SDK yang menyediakan antarmuka langsung terhadap sensor Orbbee Astra Pro Plus.



Gambar 4. Realisasi Hardware

3.2. Disparitas Sitem untuk Mengetahui Jarak Nyata

Sistem disparitas pada kamera Stereo berfungsi untuk menghitung jarak atau kedalaman suatu objek dengan memanfaatkan perbedaan pandangan antara dua kamera yang terpasang sejajar dan dipisahkan oleh jarak tertentu yang disebut *baseline* (*b*). Posisi objek yang terekam oleh masing-masing kamera akan sedikit berbeda pada bidang citra kiri dan kanan. Selisih posisi inilah yang disebut disparitas, yang menjadi dasar dalam perhitungan jarak nyata (*depth*).

Secara matematis, hubungan antara posisi objek pada bidang citra kiri dan kanan dengan kedalaman objek (*Z*) dapat dijelaskan melalui persamaan sebagai berikut:

$$\frac{Z}{f} = \frac{X}{X_L} \quad (2)$$

$$\frac{Z}{f} = \frac{X-b}{X_R} \quad (3)$$

$$X_L = \frac{X}{Z} \times f \quad (4)$$

$$X_R = \frac{X-b}{Z} \times f \quad (5)$$

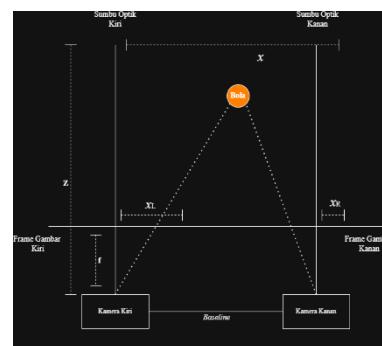
$$Disparitas = X_L - X_R \quad (6)$$

Keterangan:

- Z : jarak atau kedalaman objek terhadap kamera,
- f : panjang fokus kamera,
- X : posisi objek pada bidang dunia nyata,
- X_L dan X_R : posisi proyeksi objek pada bidang gambar kamera kiri dan kanan
- b : jarak antar dua kamera (baseline).

Berdasarkan persamaan (2) dan (3), nilai kedalaman Z berbanding terbalik dengan posisi objek yang terdeteksi pada masing-masing kamera. Semakin besar nilai X_L atau X_R , semakin dekat objek dengan kamera tersebut. Persamaan (4) dan (5) menunjukkan bahwa posisi proyeksi objek pada citra kiri dan kanan bergantung pada jarak objek (Z) dan panjang fokus kamera (f).

Akhirnya, persamaan (6) mendefinisikan disparitas sebagai selisih antara posisi objek pada bidang gambar kiri dan kanan. Nilai disparitas yang besar menunjukkan objek berada lebih dekat dengan kamera, sedangkan nilai disparitas kecil menandakan objek yang lebih jauh. Dengan memanfaatkan informasi ini, sistem *stereo vision* dapat menghitung kedalaman objek secara akurat dan efisien. Prinsip ini menjadi dasar dalam pengukuran jarak nyata pada sistem deteksi objek seperti bola dan robot dalam lapangan KRSBI-B, di mana kecepatan dan ketepatan estimasi jarak sangat berpengaruh terhadap performa navigasi dan strategi pergerakan robot. Prinsip utamanya adalah disparitas.



Gambar 5. Sistem Disparitas

3.3. Implementasi Kalibrasi sistem dengan Color Threshold

Deteksi objek pada penelitian ini menggunakan metode *Color Threshold* berbasis ruang warna HSV (Hue, Saturation, Value) karena lebih stabil terhadap cahaya sintetis terutama pada arena robot sepak bola beroda dibandingkan model RGB. Pada ruang warna HSV, komponen *Hue* menunjukkan warna, *Saturation* menggambarkan kejemuhan, dan *Value* merepresentasikan kecerahan, sehingga pemisahan ketiganya membuat segmentasi warna lebih adaptif terhadap kondisi lapangan.

Citra RGB hasil tangkapan kamera stereo dikonversi ke ruang HSV menggunakan fungsi cv2.cvtColor() pada pustaka OpenCV. Piksel dengan nilai HSV dalam rentang warna bola oranye (Hue 5–20°, Saturation 120–255, Value 100–255) diklasifikasikan sebagai objek bola, sedangkan piksel lainnya dianggap latar belakang. Hasil segmentasi disempurnakan dengan operasi morfologi erosi dan dilasi untuk mengurangi *noise* serta memperjelas kontur objek.

Untuk menyesuaikan segmentasi dengan kondisi pencahayaan, sistem dilengkapi fitur kalibrasi interaktif berbasis slider HSV menggunakan fungsi trackbar. Fitur ini memungkinkan memudahkan penyesuaian nilai *Hue*, *Saturation*, dan *Value* secara langsung melalui antarmuka grafis hingga area bola terdeteksi dengan jelas. Nilai ambang akhir yang diperoleh disimpan sebagai parameter tetap sistem.

Pendekatan ini membuat sistem lebih adaptif terhadap variasi cahaya tanpa perlu pelatihan ulang seperti metode *deep learning*. Selain itu, ruang warna HSV memiliki keunggulan

dari sisi kecepatan dan efisiensi komputasi, yang penting dalam aplikasi *real-time* pada robot sepak bola beroda. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, metode HSV mampu memberikan waktu deteksi hingga tiga kali lebih cepat dibandingkan model berbasis jaringan saraf dengan tingkat akurasi yang tetap tinggi.

3.4. Alogaritma Image Processing

Setelah citra biner diperoleh, dilakukan tahap pemrosesan lanjutan untuk mengekstraksi informasi posisi dan ukuran bola. Terdapat beberapa tahapan seperti pendekripsi kontur, pemilihan kontur terbesar yang diasumsikan sebagai bola, perhitungan koordinat pusat (x, y), konversi koordinat menjadi jarak nyata (Z) menggunakan nilai kedalaman hasil disparitas.

Koordinat (x, y, Z) yang dihasilkan menjadi representasi posisi tiga dimensi bola terhadap kamera. Data ini kemudian dapat digunakan sebagai input sistem navigasi robot untuk menentukan strategi yang akan dijalankan selanjutnya.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 . Kalibrasi Orbbee Astra Pro Plus

Proses kalibrasi kamera pada penelitian ini tidak dilakukan secara manual, melainkan memanfaatkan package bawaan dari Orbbee Astra Pro Plus yang telah dilengkapi dengan fungsi kalibrasi otomatis melalui *Software Development Kit (SDK)* OpenNI.

Untuk memastikan akurasi hasil kalibrasi bawaan, dilakukan pengujian validasi jarak dengan menempatkan objek pada beberapa posisi berbeda di depan kamera dan membandingkannya dengan pengukuran aktual menggunakan meteran roll. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perbedaan antara jarak hasil pengukuran kamera dan jarak aktual relatif kecil, seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Akurasi Jarak Kamera

Jarak Aktual (cm)	Jarak Kamera (cm)	Percentase Error (%)
50	51	2
100	100	0
150	147	1.3
200	197	1.5
250	250	0

Hasil pengujian menunjukkan bahwa fitur kalibrasi otomatis dari Orbbee Astra Pro Plus memiliki tingkat akurasi yang tinggi, dengan nilai error paling besar 2% pada jarak 50cm. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sistem kedalaman bawaan dari kamera telah cukup presisi untuk digunakan dalam proses perhitungan jarak nyata (depth estimation) dan integrasi dengan metode deteksi berbasis HSV.

4.2. Implementasi Color Threshold untuk Deteksi Objek

Pengujian pada tahap ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan sistem Kalibrasi Color Threshold berbasis HSV dalam mendekripsi objek bola berwarna oranye pada berbagai jarak yang berbeda, dengan kondisi pencahayaan tetap konstan sebesar 500 lux. Nilai ambang warna (*threshold*) ditentukan melalui proses kalibrasi menggunakan slider HSV, dengan rentang nilai optimal yang diperoleh dari hasil kalibrasi sebelumnya, yaitu Hue (5–20°), Saturation (120–255), dan Value (100–255).

Objek bola ditempatkan pada jarak 50cm hingga 300cm dari kamera stereo Orbbee Astra Pro Plus, dengan kenaikan 50cm setiap pengujian. Setiap jarak diuji sebanyak 3 kali pengambilan citra untuk memastikan konsistensi deteksi. Suatu pengujian dinyatakan terdeteksi apabila sistem berhasil melakukan segmentasi warna bola secara penuh dan menampilkan koordinat (x,y) objek pada tampilan keluaran citra biner proses *masking*.

Tabel 2. Hasil Pengujian Deteksi Bola Menggunakan Metode HSV

Jarak Aktual Bola (cm)	Hasil Deteksi Kamera	Jarak Pada Kamera (cm)	Percentase Error (%)
50	Tidak Terdeteksi	0	-
100	Terdeteksi	100.0	0.00
150	Terdeteksi	152.0	1.33
200	Terdeteksi	197.0	0.50
250	Terdeteksi	250.0	0.00
300	Terdeteksi	299.0	0.33

Berdasarkan Tabel 2, sistem Color Threshold berbasis HSV mampu mendeteksi bola oranye secara konsisten pada jarak 100–300 cm, dengan rata-rata kesalahan pengukuran sebesar 0,63%. Hasil ini menunjukkan akurasi yang tinggi dalam estimasi jarak menggunakan kamera Orbbec Astra Pro Plus.

Bola tidak terdeteksi pada jarak 50 cm karena sebagian besar area objek keluar dari bidang pandang kamera, sehingga segmentasi warna tidak terbaca sempurna. Nilai error terbesar terjadi pada 200 cm (1,50%), namun masih dalam batas toleransi sistem stereo vision.

Secara keseluruhan, metode Color Threshold yang dikalibrasi melalui slider HSV terbukti stabil pada kondisi pencahayaan sintetis yang merata dan mampu mempertahankan akurasi deteksi hingga jarak 3 meter, sehingga efektif digunakan dalam sistem penglihatan robot sepak bola beroda.

4.3. Analisa Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, sistem kalibrasi kamera stereo menggunakan Orbbec Astra Pro Plus dan metode Color Threshold berbasis HSV terbukti mampu mendeteksi objek bola secara efektif dengan tingkat kesalahan rendah. Proses kalibrasi interaktif menggunakan slider HSV juga memberikan fleksibilitas tinggi dalam menyesuaikan sistem terhadap kondisi pencahayaan yang berbeda.

Dari sisi efisiensi, metode HSV unggul dalam kecepatan pemrosesan dan kesederhanaan implementasi, meskipun memiliki sedikit penurunan akurasi dibandingkan metode berbasis *deep learning*. Namun, untuk kebutuhan *real-time control* pada robot sepak bola beroda, perbedaan akurasi tersebut masih dapat diterima karena sistem ini mengutamakan respons cepat dan kestabilan deteksi.

Dengan demikian, kombinasi antara kalibrasi stereo vision dan deteksi berbasis HSV dapat dijadikan solusi alternatif yang efisien dan ekonomis untuk sistem penglihatan robot cerdas, terutama pada aplikasi yang membutuhkan pengambilan keputusan cepat tanpa beban komputasi besar.

5. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem kalibrasi dan deteksi objek berbasis *Color Threshold* menggunakan kamera Stereo Vision Orbbec Astra Pro Plus pada robot sepak bola beroda. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan akurasi deteksi objek dengan metode HSV (*Hue, Saturation, Value*) yang dikalibrasi secara interaktif melalui slider rentang warna.

1. Penempatan kamera Stereo Vision Orbbec Astra Pro Plus pada bagian depan atas robot memberikan bidang pandang yang luas dan memungkinkan sistem memperoleh citra objek dengan baik. Posisi ini optimal untuk mendeteksi bola di lapangan, namun tetap memiliki risiko fisik seperti benturan antar robot atau paparan tendangan bola yang dapat memengaruhi kestabilan posisi kamera.
2. Implementasi metode Color Threshold berbasis HSV yang dikalibrasi menggunakan slider interaktif terbukti efektif dalam mendeteksi bola oranye pada kondisi pencahayaan konstan (500 lux). Sistem mampu mengenali bola secara akurat pada jarak 100–300 cm, dengan rata-rata kesalahan pengukuran hanya 0,63%, menunjukkan akurasi tinggi dan stabilitas deteksi terhadap variasi jarak.
3. Pemanfaatan fitur kalibrasi otomatis bawaan Orbbec Astra Pro Plus SDK mempermudah proses penyelarasannya tanpa memerlukan kalibrasi manual, dengan hasil error kedalaman rata-rata sebesar 1,73%. Integrasi antara kalibrasi stereo vision dan metode HSV menghasilkan sistem yang efisien, adaptif, dan sesuai untuk aplikasi real-time pada robot sepak bola beroda. Pengembangan selanjutnya dapat diarahkan pada

peningkatan ketahanan sistem terhadap perubahan pencahayaan ekstrem serta penggabungan sensor tambahan untuk memperkuat akurasi jarak pada kondisi lapangan yang lebih kompleks.

Ucapan Terima Kasih: Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam penyelesaian penelitian ini. Ucapan terima kasih disampaikan khususnya kepada dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan masukan selama proses penelitian berlangsung. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada institusi serta laboratorium yang telah menyediakan fasilitas dan data yang dibutuhkan. Tidak lupa, penulis berterima kasih kepada rekan-rekan Gerhana Dewaruci yang turut membantu dalam pelaksanaan eksperimen serta analisis data. Segala bentuk bantuan, baik secara langsung maupun tidak langsung, sangat berarti dalam mendukung kelancaran penelitian ini.

Referensi

- [1] Adi Rahmad Ramadhan, A. Khumaidi, Mustika Kurnia Mayangsari, Mat Syai'in, Imam Sutrisno, and Aulia Rahma Annisa, "Penerapan Harris Corner Detection dan YOLOv5 pada Kamera Stereo Vision untuk Estimasi Jarak Robot Sepak Bola Beroda KRSBI-B," *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 12, no. 1, pp. 111–122, 2025, doi: 10.33795/elkolind.v12i1.7254.
- [2] F. Romadloni, J. Endrasmono, Z. M. A. Putra, A. Khumaidi, I. Rachman, and R. Y. Adhitya, "Identifikasi Warna Buoy Menggunakan Metode You Only Look Once Pada Unmanned Surface Vehicle," *J. Tek. Elektro dan Komput. TRLAC*, vol. 10, no. 1, 2023, doi: 10.21107/triac.v10i1.19650.
- [3] A. Biswas, B. Dey, B. Poudyel, N. Sarkar, and T. Olariu, "Automatic fall detection using Orbbec Astra 3D pro depth images," *J. Intell. Fuzzy Syst.*, vol. 43, no. 2, pp. 1707–1715, 2022, doi: 10.3233/JIFS-219272.
- [4] Orbbec, <https://www.orbbec.com/products/structured-light-camera/astra-series/#:~:text=Astra%20series%20are%20based,USB%202.0%20power%20%2B.>
- [5] X. Sun *et al.*, "Distance Measurement System Based on Binocular Stereo Vision," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Institute of Physics Publishing, Jul. 2019. doi: 10.1088/1755-1315/252/5/052051.
- [6] K. Khairunnas, E. M. Yuniarno, and A. Zaini, "Pembuatan Modul Deteksi Objek Manusia Menggunakan Metode YOLO untuk Mobile Robot," *J. Tek. ITS*, vol. 10, no. 1, Aug. 2021, doi: 10.12962/j23373539.v10i1.61622.
- [7] H. Kusuma, D. Ahmad Samhan, and R. Dikairono, "Depth Image Assisted Aim for Scoring Goal in Wheeled Soccer Robot," 2024.
- [8] D. N. Nugroho and L. Anifah, "Perancangan Sistem Deteksi Objek Bola Dan Gawang Pada Robot Sepakbola Menggunakan Metode Darknet YOLO," *J. Inf. Eng. Educ. Technol.*, vol. 7, no. 1, pp. 22–29, 2023, doi: 10.26740/jieet.v7n1.p22-29.
- [9] A. Khumaidi, "Pemetaan Posisi Robot Soccer Menggunakan Gyrodometry Dan Trigonometry Untuk Memprediksi Sudut Tendangan," *J. Poli-Teknologi*, vol. 19, no. 3, pp. 271–277, 2021, doi: 10.32722/pt.v19i3.2864.
- [10] A. Jalil, "Robot Operating System (Ros) Dan Gazebo Sebagai Media Pembelajaran Robot Interaktif," *Ilk. J. Ilm.*, vol. 10, no. 3, pp. 284–289, 2018, doi: 10.33096/ilkom.v10i3.365.284-289.
- [11] Y. Octavian, H. Widodo, and K. A., "Optimasi Deteksi Bola Pada Robot Sepak Bola," 2021.
- [12] A. A. Wahyudi, Agus Khumaidi, Mohammad Basuki Rahmat, Dimas Pristovani Riananda, Mat Syai'in, and Joko Endrasmono, "Implementasi Robot Operating System (ROS) Untuk Meningkatkan Akurasi Deteksi Bola Menggunakan YOLO V5 Pada KRSBI-Beroda," *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 11, no. 2, pp. 648–661, Jul. 2024, doi: 10.33795/elkolind.v11i2.5234.
- [13] I. Rizqyakbar and C. K. Dewa, "Penerapan Model Deteksi Objek Untuk Robot Menggunakan Model SSD Di Lingkungan Simulasi ROS," 2024. [Online]. Available: <http://jurnal.mdp.ac.id>
- [14] R. Safatain, A. Khumaidi, and D. Sukoco, "Peningkatan Akurasi Ketepatan Sudut Pengumpulan dan Penerima Bola pada Robot Sepak Bola Beroda Menggunakan Kombinasi Metode Gyrodometry dan Image Processing," *JOI J. Autom. Eng. Its Appl.*, vol. 2, no. 1, Apr. 2024, doi: 10.33863/vw5w2t70.

- [15] P. M. H. M. E. R. H. S. B. P. G. P. D. P. E. ndra. I. M. K. dan M. A. Kusumoputro. Benyamin, *BukuPedoman Kontes Robot Indonesia (KRI) Tahun 2023*. Balai Pengembangan Talenta Indonesia Pusat Prestasi Nasional Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset Dan Teknologi. Jakarta, 2023.