

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sepak bola merupakan salah satu olahraga paling populer di dunia yang menuntut koordinasi fisik, kecerdasan taktis, serta kerja sama tim yang solid [1]. Dalam permainan ini, setiap pemain dituntut untuk mampu membaca situasi lapangan secara dinamis, mengambil keputusan dalam waktu singkat, serta beradaptasi terhadap perubahan posisi lawan maupun bola. Tidak hanya mengandalkan kemampuan fisik, sepak bola juga menuntut keterampilan kognitif seperti prediksi gerakan, persepsi spasial, dan pengambilan keputusan strategis secara *real-time* [2], [3]. Kompleksitas inilah yang menjadikan sepak bola menarik untuk direkayasa ulang ke dalam sistem cerdas berbasis teknologi.

Dalam dunia teknologi dan otomasi, tantangan mereplika dinamika sepak bola telah mendorong pengembangan sistem robotik yang mampu beroperasi secara mandiri. Sistem seperti ini perlu memiliki kemampuan mendeteksi bola, mengenali posisi gawang atau target, menghindari rintangan, serta melakukan manuver secara efisien. Untuk mencapai hal tersebut, dibutuhkan integrasi antara penglihatan komputer, pengambilan keputusan otomatis, dan pengendalian gerak yang presisi. Salah satu elemen krusial dalam sistem tersebut adalah kemampuan untuk melacak objek secara visual, memperkirakan jarak terhadap objek tertentu, serta menyesuaikan arah pandangan atau orientasi kamera agar tetap fokus pada target yang bergerak.

Kemajuan pesat dalam bidang robotika dan kecerdasan buatan kini membuka peluang untuk mereplikasi sebagian dari kompleksitas tersebut pada sistem mesin. Robot otonom modern dituntut untuk mampu menavigasi lingkungan yang tidak terstruktur, mendeteksi objek bergerak seperti bola atau target vital lain, membuat keputusan strategis secara mandiri, serta melakukan manuver yang lincah dan presisi, seringkali sambil menghindari objek lain (*obstacle avoidance*) [4]. Tantangan ini menggarisbawahi kebutuhan akan sistem penglihatan yang canggih

untuk memahami lingkungan dan kemampuan komputasi untuk menginterpretasikan data secara *real-time*, kemudian mengubahnya menjadi aksi fisik yang terkoordinasi.

Untuk mewujudkan robot otonom yang adaptif dan responsif dalam skenario seperti ini, pengembangan sistem penglihatan dan kendali berbasis visual menjadi sangat krusial. Pendekatan *visual servoing*, di mana kontrol gerak robot didasarkan langsung pada umpan balik dari kamera, menawarkan solusi efektif untuk tantangan ini. Implementasi *visual servoing* memerlukan sistem kamera yang digerakkan servo (*servo camera*) agar dapat secara dinamis mengarahkan pandangan ke objek atau area yang relevan. Keakuratan informasi visual yang diperoleh sangat bergantung pada proses kalibrasi kamera yang teliti untuk mengoreksi distorsi optik dan mendapatkan parameter geometri yang presisi. Selanjutnya, algoritma estimasi jarak diperlukan untuk mengonversi informasi 2D dari citra menjadi pemahaman 3D tentang posisi objek di dunia nyata. Bersama dengan data dari sensor encoder yang memberikan informasi odometri gerak robot, komponen-komponen ini membentuk dasar bagi robot untuk berinteraksi cerdas dengan lingkungannya. Pengembangan sistem seperti ini tidak hanya mendorong batas kemampuan robotika, tetapi juga berkontribusi pada kemajuan teknologi di bidang otomasi, navigasi otonom, dan interaksi manusia-robot.

1.2.Rumusan Masalah

Berisi poin permasalahan yang diangkat dari latar belakang sebagai dasar dalam program MBKM Proyek Independen

- Bagaimana merancang dan mengimplementasikan sistem kamera yang digerakkan oleh motor servo (*servo camera*) agar mampu secara dinamis mengarahkan pandangan ke objek target di lapangan?
- Bagaimana melakukan kalibrasi kamera monokular secara efektif untuk memperoleh parameter intrinsik dan ekstrinsik yang akurat guna menghilangkan distorsi citra dan meningkatkan akurasi data visual?

- Bagaimana mengembangkan dan mengimplementasikan algoritma estimasi jarak objek (seperti bola dan gawang) secara tepat berdasarkan data citra yang diperoleh dari kamera yang telah dikalibrasi?
- Bagaimana sistem *visual servoing* dapat diintegrasikan dengan data encoder roda untuk memungkinkan robot melakukan manuver dasar berdasarkan informasi visual dan odometri secara terkoordinasi?

1.3. Tujuan

Adapun tujuan dari penulisan artikel ilmiah ini adalah:

- Merancang dan mengimplementasikan sistem kamera yang digerakkan oleh motor servo (*servo camera*) guna memungkinkan kamera mengarahkan pandangan secara dinamis ke arah objek target di lingkungan permainan.
- Melakukan proses kalibrasi kamera monokular secara efektif untuk memperoleh parameter intrinsik dan ekstrinsik yang akurat, sehingga meningkatkan kualitas data visual dan meminimalkan distorsi citra.
- Mengembangkan dan menerapkan algoritma estimasi jarak objek berbasis citra 2D dari kamera yang telah dikalibrasi, sehingga sistem mampu mengidentifikasi posisi objek secara spasial.
- Mengintegrasikan sistem *visual servoing* dengan data odometri dari sensor encoder untuk memungkinkan robot melakukan manuver dasar secara responsif dan terkoordinasi berdasarkan informasi visual.

1.4. Waktu dan Prosedur

Pelaksanaan proyek pengembangan robot sepak bola untuk KRSBI Beroda dilaksanakan selama periode Januari hingga Juli, dengan tahapan kerja yang terstruktur dan kolaboratif. Penulis berperan dalam pengembangan sistem visual robot, termasuk *visual servoing*, kalibrasi kamera, kamera servo, dan estimasi jarak menggunakan kamera. Berikut ini adalah tahapan pelaksanaan proyek secara umum:

1. Pembagian Tugas (Awal Januari)

Proyek diawali dengan diskusi bersama supervisor untuk menyusun struktur tim dan pembagian tugas. Penulis bertanggung jawab dalam sistem penglihatan robot, meliputi deteksi bola dan gawang, pengendalian kamera menggunakan servo, serta pengolahan citra untuk keperluan navigasi dan aksi. Tugas lain didistribusikan kepada anggota lain seperti perakitan mekanik, sistem kelistrikan, dan pemrograman kontrol gerak.

2. Studi Buku Panduan dan Aturan Kompetisi

Setelah pembagian tugas, seluruh tim mempelajari buku panduan KRSBI Beroda serta aturan teknis seperti spesifikasi dimensi robot, jenis kamera yang diperbolehkan, dan sistem kerja robot yang wajib otonom. Pengetahuan ini menjadi dasar dalam merancang sistem penglihatan agar sesuai regulasi.

3. Riset Awal dan Pemetaan Kebutuhan Sistem Visual (Januari–Februari)

Penulis melakukan riset awal mengenai metode *visual servoing* dan estimasi jarak berbasis kamera. Pada tahap ini juga ditentukan jenis kamera yang akan digunakan, mekanisme pemasangan kamera servo, dan kebutuhan kalibrasi.

4. Perancangan dan Pengujian Awal *Visual Servoing* (Februari–Maret)

Visual servoing dikembangkan menggunakan YOLOv11 Nano untuk mendeteksi bola secara *real-time*. Implementasi awal dilakukan untuk menguji keandalan sistem deteksi dan mengatur strategi pengambilan keputusan berbasis posisi bola dalam gambar.

5. Kalibrasi Kamera dan Eliminasi Distorsi (Maret)

Proses kalibrasi dilakukan untuk mendapatkan parameter intrinsik kamera dan menghilangkan distorsi lensa. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan akurasi deteksi objek serta mendukung perhitungan estimasi jarak berbasis *focal length*.

6. Pemasangan dan Pengujian Kamera Servo (April)

Karena keterbatasan sudut pandang kamera, penulis merancang mekanisme kamera yang dapat bergerak secara vertikal menggunakan

motor servo. Kamera akan menyesuaikan sudut pandangnya berdasarkan posisi objek dalam *frame*.

7. Eksperimen Estimasi Jarak ke Gawang (Mei–Juni)

Pengumpulan data dilakukan dengan mengukur jarak aktual ke gawang dari beberapa posisi dan mencocokkannya dengan ukuran *bounding box* hasil deteksi untuk menghitung nilai *focal length*. Diperoleh nilai *focal length* sebesar 976.96 dengan error 0.42. Estimasi ini nantinya digunakan untuk menentukan momen robot menendang bola secara otonom.

8. Integrasi Sistem Visual dengan Sistem Robotik Lain (Juni)

Sistem *visual servoing*, kamera servo, dan estimasi jarak diintegrasikan dengan sistem gerak robot. Penyesuaian dilakukan agar sinyal kendali dari hasil pengolahan visual dapat langsung mengarahkan pergerakan robot dan pemicu aktuator seperti servo penendang.

9. Uji Coba Lapangan dan Finalisasi Sistem (Juni–Juli)

Pengujian dilakukan dalam skenario nyata di lapangan, termasuk uji akurasi deteksi bola, respons kamera servo, dan keakuratan estimasi jarak ke gawang. Data hasil uji coba digunakan untuk menyempurnakan parameter dan meningkatkan keandalan sistem.

10. Penyusunan Laporan (Juli)

Tahapan terakhir adalah penyusunan laporan MBKM sebagai bentuk dokumentasi dan pertanggungjawaban proyek. Penulis menyusun bagian laporan yang berkaitan dengan sistem *visual servoing*, kalibrasi kamera, pengaturan kamera servo, serta metode estimasi jarak.