

Pendeteksi Bola Pada Robot Penjaga Gawang Menggunakan Metode *Hough Circle*

Alwi Widi Pradana¹, Dessy Irmawati¹

¹Program Studi Teknik Elektronika Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta
E-mail: widipradana@gmail.com

ABSTRACT

The goalkeeper robot is in charge of being able to block the orange ball from entering the goal. The robot must be able to detect the ball accurately to determine the next robot movement. This article describes the development of a goalkeeping robot capable of detecting ball colors and shapes using the *hough circle* method using *emgucv*. The development method used refers to the ADDIE modification in the development of the ball speak robot. The results of this development are field robots and goalkeeping robots. The results show that ball detection has an average percentage of 80%, while the ability to block the ball is 90%. The application of the *hough circle* method consists of several processes, namely: (1) looking for the color characteristics of the ball, the next step is to use ROI and objects other than ROI are covered with black; (2) objects that have been in the ROI are then detected through color conversion to HSV form by providing a color detection distance on the Hue channel to detect the Return color; (3) image filters use *dilate* to clean image noise; (4) detecting the edge of the ball using *canny* detection to see a circular contour; and (5) using *Hough Circle* to detect orange color with a ball shape. The *hough circle* method in detecting orange balls has been successfully applied. For future development, it is necessary to pay attention to technical mechanics so as not to limit the movement of the robot.

Keywords: camera, *Hough Circle*, *Emgucv*, HSV

ABSTRAK

Robot penjaga gawang bertugas untuk dapat menghadang bola berwarna oranye memasuki gawang. Robot tersebut harus mampu mendeteksi bola dengan akurat untuk menentukan pergerakan robot selanjutnya. Artikel ini mendeskripsikan pengembangan robot penjaga gawang yang mampu mendeteksi warna dan bentuk boladengan metode *hough circle* menggunakan *emgucv*. Metode pengembangan yang dilakukan merujuk pada modifikasi ADDIE pada pengembangan robot speak bola. Hasil dari pengembangan ini adalah lapangan robot dan robot penjaga gawang. Hasil unjuk kerja menunjukkan pendeteksian bola memiliki presentase rerata sebesar 80%, sedangkan kemampuan menghadang bola sebesar 90%. Penerapan metode *hough circle* terdiri atas beberapa proses yaitu: (1) mencari ciri warna bola, langkah selanjutnya dengan menggunakan ROI dan objek selain ROI ditutupi dengan warna hitam; (2) objek yang sudah di ROI lalu dideteksi melalui konversi warna ke bentuk HSV dengan memberikan jarak deteksi warna pada channel Hue untuk mendeteksi warna Kembali; (3) filter gambar menggunakan *dilate* untuk membersihkan *noise* pada gambar; (4) mendeteksi tepi bola menggunakan *canny* detection untuk melihat contour berbentuk lingkaran; dan (5) menggunakan *Hough Circle* untuk mendeksi warna orange dengan bentuk bola. Metode *hough circle* dalam pendeteksian bola oranye berhasil diterapkan. Untuk pengembangan ke depan, perlu diperhatikan terkait teknis mekanik agar tidak membatasi pergerakan robot.

Kata kunci: kamera, *Hough Circle*, *EmguCV*, HSV

PENDAHULUAN

Perkembangan robot dari masa-kemasa teruslah berkembang. Hal tersebut didukung salah satunya dengan penyelenggaraan perlombaan robot. Kontes Robot Indonesia (KRI) adalah media nyata yang dapat mendorong eksistensi dan pengembangan teknologi robotika di kalangan mahasiswa [1]. KRI merupakan kompetisi bidang robotika untuk melakukan rancang bangun dan rekayasa yang diikuti tim mahasiswa dari institusi atau Perguruan Tinggi Negeri dan Swasta yang

terdaftar di Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi yang bertujuan menumbuhkan dan meningkatkan kreatifitas mahasiswa di perguruan tinggi [2]. Kontes Robot Sepakbola Indonesia Beroda (KRSBI Beroda) adalah salah satu kompetisi sepak bola robot yang menggunakan roda dalam pengeraknya.

Robot sepak bola dirancang untuk melakukan permainan sepak bola dengan seperangkat aturan tertentu menggunakan roda sebagai sistem penggerak yang digunakan [3].

Robot sepak bola merupakan robot berbasis visi (*robot vision*) yang mengkombinasikan kamera dengan algoritma komputasional tertentu untuk mendapatkan data visual yang digunakan untuk proses analisis misalnya pendeteksian dan pelacakan objek [4]. Pada permainan sepak bola terdapat dua tim saling memperebutkan bola dan memasukan ke gawang lawan sebanyak-banyaknya agar meraih kemenangan di pertandingan tersebut. Dilain pihak, pada KRSBI Beroda terdapat maksimal 3 robot yang terdiri atas robot penyerang berjumlah dua robot dan satu robot sebagai penjaga gawang.

Robot penjaga gawang merupakan bagian dari tim robot sepak bola yang memiliki tugas untuk menanggapi bola dengan benar dan efektif [5]. Dengan pertahanan dalam menahan bola masuk ke gawang, maka memperbesar peluang menang. Tugas tersebut diterapkan dengan pembacaan posisi bola (pendeteksian) dan menentukan jarak antara posisi bola dengan robot. Posisi robot selanjutnya menyesuaikan dengan posisi lurus dan diupayakan lurus dengan bola agar bola dapat ditangkap dengan baik. Terdapat gawang yang membatasi pergerakan robot. Pergerakan robot berada didepan gawang, sehingga Batasan pergerakan adalah area gawang dan tiang gawang. Respon penangkapan citra yang cepat dibutuhkan robot penjaga gawang untuk mengahadang bola yang datang ke arah gawang. Lokalisasi objek bola diperlukan untuk mendapatkan lokasi dalam hal ini berbentuk koordinat secara akurat dan presisi. Hasil tersebut digunakan untuk menentukan rencana pergerakan robot selanjutnya. Jarak antara bola dan robot harus diketahui secara akurat oleh robot penjaga gawang.

Pada permainan sepak bola KRI divisi KRSBI Beroda, robot diharuskan mencari bola berwarna sesuai dengan ketetapan panitia KRI. Terdapat beberapa warna pada perlombaan tersebut secara detail yaitu: (1) oranye merupakan warna bola yang dideteksi; (2) hijau merupakan warna lapangan; (3) putih sebagai garis lapangan dan tiang; dan (4) hitam yang merepresentasikan robot pemain [6]. Beberapa pemodelan warna pada pengolahan citra digital

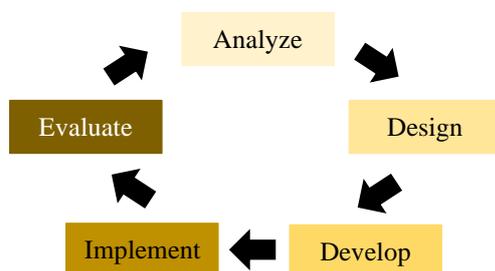
adalah RGB, CMY dan HSV [7]. Robot diharuskan mencari dan mengidentifikasi bola secara otomatis menggunakan kamera sebagai pendeteksi bola. Apabila pada pertandingan sepakbola, seorang pemain harus mencari bola dan menendangnya ke gawang lawan, maka robot tersebut harus mencari bola dan menendanya ke gawang lawan. Pada pertandingan tahun 2017 robot mendeteksi bola dengan warna yang menghasilkan respon yang cepat dalam pergerakan robot tersebut, namun pada saat pertandingan banyak sekali gangguan seperti cahaya lampu yang menyorot di lapangan pertandingan, lampu indikator dari robot lawan yang berwarna sama seperti bola yang membuat robot mendeteksi lampu indikator sebagai bola, dan gerakan robot yang lambat dalam menentukan arah datangnya bola yang menuju ke arah penjaga gawang. Pendeteksian dengan warna sebelumnya dirasa belum cukup baik dalam mendeteksi bola dengan menggunakan warna sebagai pendeteksi utama.

Beberapa metode yang digunakan untuk pendeteksian bola sebagai objek yang dideteksi telah dilakukan sebelumnya, yaitu penggunaan teknik trigonometri berdasarkan formula matematis trigonometri untuk memprediksi arah pergerakan bola pada robot penjaga gawang [8]. Pada artikel ini dibahas lebih lanjut mengenai penggunaan metode *hough circle*. Paul Hough pada tahun 1962 memperkenalkan metode yang efisien untuk mendeteksi garis dalam gambar biner [9]. Selanjutnya dikembangkan menjadi *Hough Transform* (HT). HT dirancang untuk bekerja pada sistem berbasis *frame* seperti kamera digital [10]. Meskipun penggunaan asli HT untuk mendeteksi garis, akan tetapi metode tersebut telah berkembang untuk mengidentifikasi bentuk analitis lain seperti lingkaran dan elips [11]. Baik HT maupun transformasi *hough circle* atau *circular hough transform* (CHT) bergantung pada konversi citra grayscale ke citra biner dan menggunakan teknik deteksi tepi berupa sobel atau canny [12]. Pada artikel ini, transformasi *hough circle* digunakan untuk mendapatkan koordinat kartesius dan diameter bola.

Beberapa penggunaan metode *hough circle* pada robot visi penjaga gawang adalah: (1) penggunaan metode *Circle Hough Transform* untuk mendeteksi bola dan metode *camshaft* untuk melakukan pelacakan bola pada robot visi [4]; (2) pendeteksian jarak bola dengan berbasis *raspberry pi*, diameter bola yang terdeteksi dan diameter bola pada referensi dibandingkan untuk mendapatkan jarak antara bola dan robot penjaga gawang [5]; (3) penggunaan filter warna dengan HSV dan pendeteksian bentuk lingkaran bola dengan HCT [6]; (4) penggunaan metode *hough circle* untuk mendeteksi bola dengan warna apapun [13]; dan (5) penginderaan visual robot untuk mendeteksi objek berbentuk lingkaran dengan metode *hough circle* [14].

Artikel ini meneliti tentang pendeteksi warna dan bentuk bola pada robot penjaga gawang dengan metode *hough circle* melalui penggunaan *EmguCV*. Hal tersebut digunakan untuk mengatasi permasalahan pada robot KRSBI Beroda dalam melakukan pendeteksian bola berwarna oranye. Terdapat penggunaan metode *hough circle* sebagai pendeteksi bentuk dan warna dengan *EmguCV* sebagai library. Penerapan metode tersebut dapat meminimalisir *error* yang terjadi ketika mendeteksi bola dan arah datang bola pada perlombaan KRSBI Beroda.

METODE



Gambar 1. Modifikasi model ADDIE pada robot sepakbola [15]

Gambar 1 merupakan tahapan pada model ADDIE. Metode ADDIE terdiri atas: (1) *Analyze*, (2) *Design*, (3) *Development*, (4) *Implementation*, dan (5) *Evaluation*. Model ADDIE yang dimodifikasi oleh Mohan et al. menunjukkan hasil pengembangan dan evaluasi

kinerja yang baik pada robot sepakbola [15]. Pada model modifikasi ADDIE tersebut, beberapa komponen analisis yang dikaji adalah permasalahan, tujuan pengembangan, lingkungan penerapan dan persyaratan terkait robot sepak bola. Beberapa pertanyaan yang dianalisis adalah domain aplikasi, kebutuhan interaksi, modalitas kontrol yang digunakan, jadwal penyelesaian dan kendala yang ada. Pada perancangan harus sistematis dan spesifik dengan langkah-langkah terdiri atas pendokumentasian strategi-strategi untuk roboto sepak bola, perancangan antarmuka dan perancangan prototipe. Pada tahap pengembangan dilakukan penyelesaian pembuatan robot, termasuk melakukan peninjauan dan perbaikan. Pada tahap implementasi, pelatihan dilakukan tentang penggunaan robot sepakbola. Tahapan evaluasi digunakan untuk mengetahui keefektifan robot sepakbola dalam pencapaian tujuan yang telah ditetapkan. Terdapat dua jenis evaluasi, yaitu formatif dan sumatif. Evaluasi formatif dilakukan pada setiap tahapan model ADDIE, sedangkan evaluasi sumatif dilakukan setelah tahapan implementasi untuk mengetahui keefektifan robot sepakbola.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Domain penerapan robot sepakbola dalam artikel ini adalah robot penjaga gawang. Robot bertugas menahan bola agar tidak masuk ke dalam gawang. Robot membaca jarak dan arah datang bola agar robot dapat bergerak pada posisi lurus dengan bola dengan tetap berada di depan gawang dan tidak menabrak tiang gawang. Beberapa komponen yang dibutuhkan dalam pengembangan adalah: (1) perangkat teknis berupa lapangan robot dan robot penjaga gawang berupa rangka, base roda, dudukan roda omni, dudukan sensor, dudukan kamera, dudukan Mini PC, tempat elektronik, tempat baterai; (2) perangkat keras elektronik berupa Shield Mikrokontroler, Shield Fuse Motor, Power Supply, Motor Driver, LCD 20×4, Voltmeter Indikator baterai, Sensor Proximity, Sensor Jarak (HC-SR04), Sensor proximity dan

rangkaian penendang; dan (3) perangkat lunak berupa aplikasi pemrograman pengolahan citra digital dan aplikasi program penggerak arah robot.

Lapangan robot digunakan untuk sebelum lomba berlangsung, dan mencoba program yang sudah dibuat sebelumnya. Lapangan juga sebagai tempat kalibrasi sebelum ke tempat pertandingan berlangsung. Pada Kontes Robot Indonesia terkadang keterangan lapangan berubah panjangnya atau lebarnya. Maka panjang dan lebar lapangan harus menyesuaikan rule yang terakhir diubah agar robot yang telah dibuat bisa menyesuaikan lapangan yang akan ditandingkan.

Dalam perancangan robot ini, robot digunakan sebagai media pengidentifikasi bola yaitu robot penjaga gawang. Rangka dibutuhkan sebagai kerangka dari robot dan penyangga robot. Komponen elektronik dan komponen lain berada pada rangka robot tersebut. Base roda dibutuhkan sebagai tempat dimana motor berada. Robot menggunakan roda 3 omni. Roda 3 omni agar robot bisa bergerak ke segala arah dengan mudah. Robot mempunyai beberapa sensor yang membutuhkan tempat untuk menaruh sebuah sensor agar sensor stabil dan tepat pada penaruhannya dikarenakan banyak sensor yang sensitif dalam suatu hal tertentu.

Terkait robot penjaga gawang, kamera berperan penting untuk akuisisi data citra. Kamera pada robot memerlukan dudukan agar pada saat pengolahan citra tidak terjadi noise akibat getaran yang terjadi pada robot. Dudukan mini PC untuk pengolahan citra memerlukan tempat yang sangat sensitif. Maka dari itu dudukan mini PC harus diletakan pada robot dan terjaga dari bola maupun hal yang tidak diinginkan lainnya karena jika terkena gangguan maka mini PC tidak dapat mengirim data ke mikrokontroler yang menyebabkan robot error. Tempat elektronik berfungsi sebagai tempat penaruhan elektronik yang digunakan pada robot. Tempat elektronik juga harus terhindar dari bola dan benturan sesama robot agar tidak terjadi hal yang tidak diinginkan karena elektronik yang mengolah data dan

mengendalikan motor. Tempat baterai berfungsi sebagai tempat pelindung baterai dari tabrakan yang terjadi sesama robot dan tempat menjaga dari bola yang mengarah ke robot di lapangan.

Selain perangkat teknis, terdapat perangkat elektronika yang dibutuhkan dengan fungsi-fungsi tertentu. Shield fuse motor berfungsi sebagai pengaman pada motor ketika terjadi tabrakan atau yang lainnya. Agar motor driver tetap aman dan tidak terjadinya kerusakan pada motor driver. Rangkaian power supply dibutuhkan untuk memberikan catu daya ke rangkaian elektronik pada robot. Pada robot elektronik membutuhkan supply tegangan 5 volt, 12 volt, 16 volt, dan 24 volt DC. Motor driver digunakan untuk mengatur kecepatan pada motor. Pada robot digunakan motor driver untuk mengatur kecepatan sesuai dengan penggunaan yang dibutuhkan. Liquid Crystal Display (LCD) untuk memonitoring program yang sedang berjalan secara langsung, menggunakan LCD agar program yang dijalankan termonitoring dengan baik. Voltmeter indikator baterai digunakan untuk memonitoring tegangan baterai yang sedang digunakan pada robot, agar tidak terjadinya tegangan drop (tegangan minimal) yang dapat menyebabkan baterai rusak.

Komponen pemroses yang digunakan adalah mikrokontroler. Selain itu terdapat rangkaian penendang. Mikrokontroler terdapat sebuah IC yang berguna untuk mencontrol dan mengolah data namun jalur pada IC sangat lah kecil. Maka dari itu shield digunakan untuk mempermudah perkabelan pada mikrokontroler ke elektronik lain. Rangkaian dimana ketika bola berada tempat didepan robot lalu mikrokontroler akan mengirim sinyal untuk menendang dan rangkaian penendang memberikan tendangan ke bola agar bola jauh dari robot penjaga gawang.

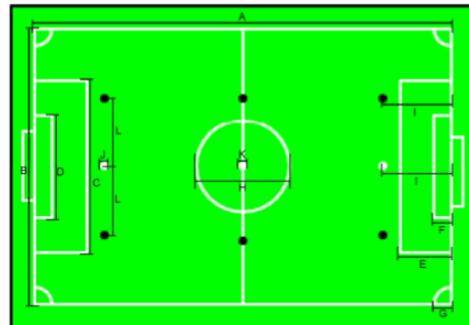
Beberapa sensor yang digunakan adalah sensor proximity dan sensor jarak. Sensor proximity digunakan untuk mendeteksi jarak pada benda disekitar robot. Sensor proxymty digunakan karena sensor tersebut mempunyai kecepatan yang cepat dalam pembacaan jarak. Sensor jarak pada proyek akhir ini menggunakan sensor (HC-SR04) yaitu sensor yang

menggunakan sensor ultrasonik dengan cara kerja transmitter mengirimkan gelombang ultrasonik dan diterima oleh receiver ultrasonik dan dihitung lama gelombang memantul ke receiver ultrasonik yang diterima dari penerimaan gelombang ultrasonik setelah itu dirumus dan didapatkan data jarak dari sensor tersebut. Ketika sensor menerima jarak maka robot akan menyesuaikan jarak antar gawang dan robot.

Dalam pengolahan citra digital proyek akhir ini menggunakan Visual Studio 2012 sebagai Compiler dari bahasa C# dan EmguCV sebagai library pengolahan citra digital. Program penggerak arah robot penjaga gawang menggunakan software codevision AVR sebagai compiler bahasa C yang dikhususkan untuk IC ATmega. Codevision AVR mikrokontroler digunakan sebagai pengolahan sensor dan alat control motor sebelum motor driver. Kendala yang ditemukan saat analisis adalah perubahan warna objek menjadi warna oranye pada KRSBI saat ini. Selain itu terdapat batasan pergerakan robot terkait gawang.

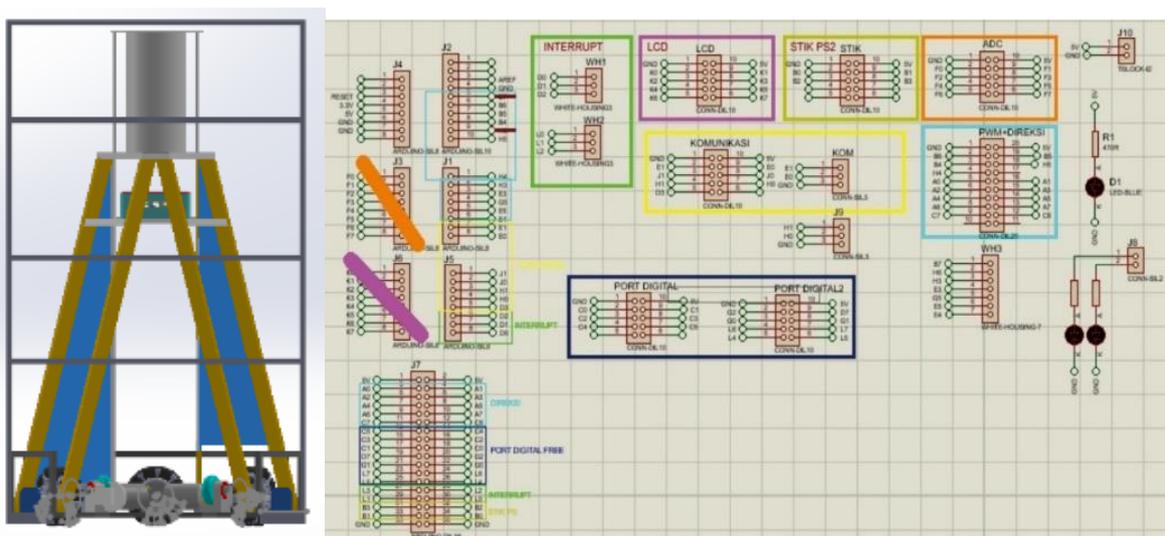
Setelah analisis dilakukan, selanjutnya dilakukan perancangan. Lapangan robot menggunakan triplek 3 lapis dengan

menggunakan kayu balok sebagai penyangga disamping lapangan. Lapangan menggunakan karpet berwarna hijau dengan tambahan garis berwarna putih sesuai pada peraturan KRI 2018 seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Perancangan Lapangan Robot

Penggerak robot dan pengiring bola ditunjang dengan motor Planetary Gear diameter 45 dan diameter 36. Mekanik robot menggunakan besi Stainless dengan ketebalan 1×2cm dan 1×1cm meter, dengan mesin las sebagai penyambung rangka besi pada robot, dan plat untuk tempat elektronik dan penutup robot. Gambar 2(a) adalah desain awal mekanik robot berupa motor pengiring dan 3 Omni Wheel.



Gambar 2. (a) Rancangan Awal Mekanik Robot dan (b) Rancangan Shield Mirkokontroler

Perancangan elektronik membutuhkan desain shield yang bertujuan agar dapat bekerja sesuai dengan kebutuhan dari robot tersebut dan untuk merapihkan perkabelan pada robot agar

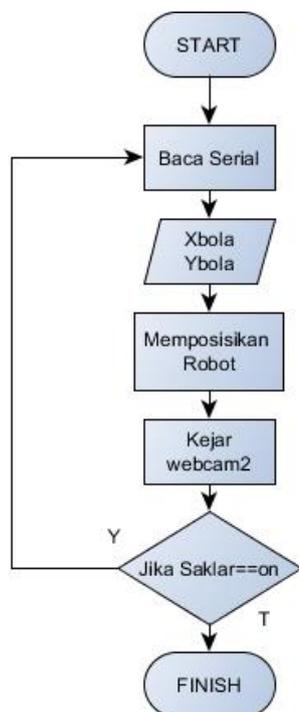
tidak mengganggu mekanik pada robot. Desain shield mikrokontroler menggunakan soket Insulation Displacement Connector (IDC) pin 10 dan pin 20. Tabel 1 merupakan tabel

kebutuhan elektronik dari input dan output ATmega. Gambar 2(b) merupakan rancangan dari shield ATmega sesuai dengan kebutuhan elektronik yang digunakan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kebutuhan I/O ATmega

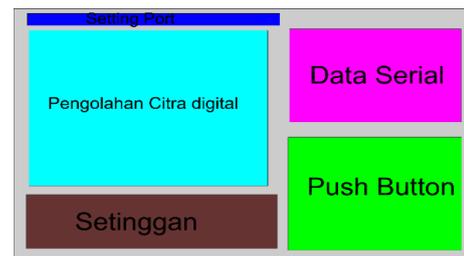
Kebutuhan	Keterangan
Direksi Motor	10 PORT Output (5 Motor)
PWM Motor	5 PORT PWM (5 Motor)
Sensor Proximity	5 Sensor Digital
Encoder Motor	6 PIN Interup (3 Motor)
LCD 4×20	7 PORT
USB to TTL	2 PIN Komunikasi
PUSB Button	12 PIN Digital
Trigger penendang	2 PORT Digital
Sensor Jarak (GP2Y0A02YK0F)	1 PIN Analog
Kamera Pixy	3 PIN ADC
Total	54 I/O

Proses pertama dari sistem program robot robot penjaga gawang adalah dari pengolahan citra pada NUC / PC yang menghasilkan output kordinat dari bola yang telah diolah sedemikian rupa. Setelah itu kordinat Xbola dan Ybola akan dikirim secara serial ke mikrokontroler untuk diolah menjadi gerak untuk menghadang bola. Gambar 4 menunjukkan ketika serial sudah terbuka maka robot akan memposisikan ke dalam gawang dari garis kiri luar gawang.



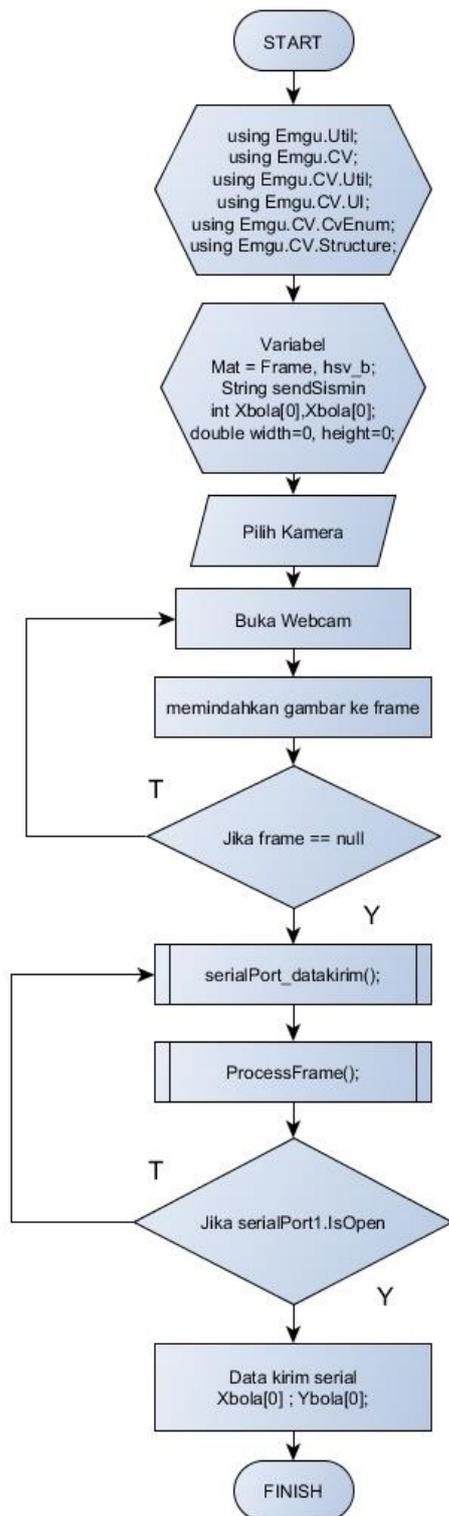
Gambar 4. Ringkasan Flowchart

Pembuatan Graphical User Interface (GUI) merupakan suatu interface yang finampilkan proses pada program untuk mempermudah dalam mengoprasikan perangkat lunak dalam implementasi pada robot. GUI dapat mempermudah monitoring program yang berjalan melalui tampilan visual pendeteksian bola pada kamera webcam dan melihat output pada bola. Rancangan GUI dapat dilihat di Gambar 5.



Gambar 5. Rancangan GUI

Pada *flowchart* terdapat deklarasi variabel untuk mengakses Library Emguvcv yang kemudian ditulis dideklarasikan untuk mengaktifkan fitur EmguCV itu tersendiri. Kemudian ketika webcam telah dibuka oleh program lalu gambar pada webcam akan dimasukan ke dalam variabel frame. Proses pertama mendeteksi warna dan mendeteksi kontur warna tersebut, jika terdeteksi maka langkah selanjutnya digunakan ROI yaitu memotong gambar tertentu yang telah terdeteksi saja. Proses kedua dari deteksi warna yaitu setelah gambar ROI didapat maka gambar selain pada ROI akan dimasking berwarna hitam. Proses ketiga Setelah warna terdeteksi maka proses selanjutnya dengan mendeteksi bentuk bola, pada proses mendeteksi bentuk bola adalah ketika warna diketahui maka gambar yang telah di ROI akan diproses untuk mendapatkan bentuk dengan mencari contour dan dilakukan HSV lalu ketika nilai HSV sudah didapat maka gambar tersebut diubah ke bentuk canny dan proses terakhir memanggil library *Hough Circle*. Ketika bentuk dan warna dideteksi maka posisi X bola dan Y bola dikirim serial ke mikrokontroler untuk diolah. Gambar 6 merupakan *flowchart* pengolahan citra,



Gambar 6. Flowchart Pengolahan Citra Digital

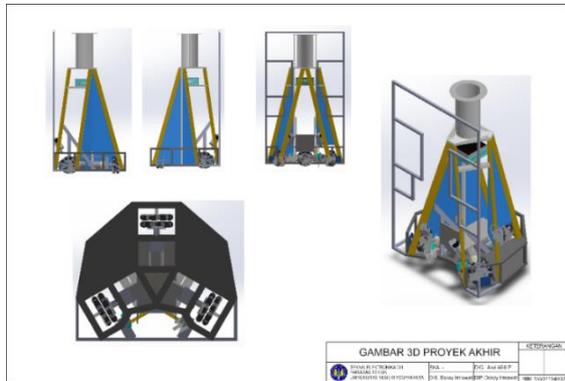
Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengembangan mekanik yaitu: (1) menyiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan dengan menganalisis kebutuhan elektronik; (2) merealisasikan rancangan bangun lapangan

robot sesuai dengan rancangan yang dibuat; (3) merealisasikan rancang bangun mekanik robot penjaga gawang dari rangka, base roda, dudukan sensor, dan dudukan Mini PC menggunakan besi Stainless steel; dan (4) menguji ketahanan mekanik dari benturan. Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengembangan elektronik yaitu: (1) menyiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan dengan menganalisis kebutuhan elektronik; (2) merealisasikan shield mikrokontroler, shield fuse menggunakan PCB dan desain yang sudah dirancang; (3) merealisasikan power supply menggunakan PCB yang sudah didesain dengan komponen yang telah dibutuhkan; dan (4) menguji unjuk kerja tiap komponen elektronik yang telah dibuat.

Langkah-langkah yang digunakan dalam pengembangan program di CodeVision AVR adalah: (1) menyiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan dengan menganalisis kebutuhan baik untuk input, proses maupun output; (2) merealisasikan flowchart yang telah dirancang kebentuk program pada CodeVision AVR; (3) mensimulasikan program CodeVision AVR ke hardware yang telah dibuat; dan (4) menguji program CodeVision AVR baik ke gerak robot, ataupun menampilkan hasil output dari program. Langkah-langkah yang digunakan dalam pengembangan program di Microsoft Visual Studio adalah: (1) menyiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan dengan menganalisis kebutuhan baik untuk input, proses maupun output; (2) merealisasikan desain flowchart ke bentuk program dan mensimulasikan ke bentuk hardware; dan (3) menguji program dari Microsoft Visual Studio baik ke gerak robot, ataupun menampilkan hasil output dari program.

Sebagai hasil evaluasi formatif, desain lapangan dari robot penjaga gawang yang telah dibentuk PDF disertai ukuran setiap garis, tujuan untuk mempermudah perealisasikan lapangan robot. Gambar 7 merupakan desain dari robot penjaga gawang yang telah diubah dari bentuk 3D Solid Work kebentuk 2D, tujuan dirubah ke bentuk 2D untuk memudahkan pemahaman rancang bangun dari robot penjaga gawang. Robot penjaga gawang memiliki 3 roda omni

wheel, tujuan robot penjaga gawang memiliki 3 roda omni wheel untuk memudahkan gerak robot ke segala arah dan gerakan robot lebih fleksibel agar memudahkan menghadang bola saat bola mendekat.



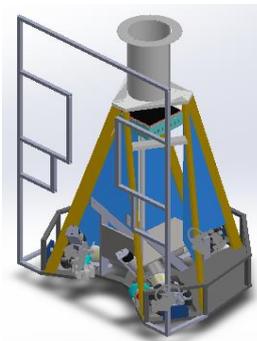
Gambar 7. Robot penjaga gawang

Hasil rancangan desain elektronik yang telah dibuat selanjutnya siap direalisasikan ke bentuk PCB. Software direalisasikan pada robot dan berada pada lapangan robot, menrealisasikan dengan cara mengupload program dari CodeVision AVR dan menjalankan program Microsoft Visual Studio. Lalu robot dijalankan sesuai dengan pengoperasian alat. Implementasi pada software menggunakan trial and error. Setelah diimplementasikan, dilakukan evaluasi.

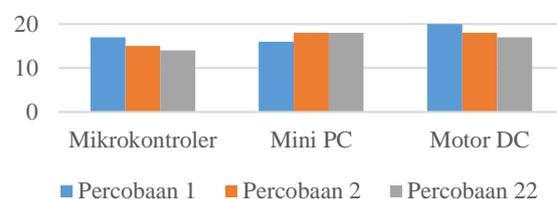
Karpet Lapangan robot yang dibuat bergelombang setelah dilakukan implementasi. Solusi yang dilakukan yaitu dengan menggunakan paku pada tiap karpet yang bergelombang, agar karpet tidak bergelombang saat dilakukan uji coba. Evaluasi pada bagian desain robot yang terdapat pada bagian besi yang melintang di depan robot yang membuat kamera terhalang oleh besi dan dapat mengganggu pendeteksian. Solusi yang dilakukan dengan memberikan ruang untuk kamera dalam mendeteksi bola seperti Gambar 8.

Evaluasi pada elektronik terdapat pada bagian sensor yang digunakan untuk mendeteksi jarak dinding gawang. Sensor HC-SR04 dalam mengakses jarak menggunakan program while yang membuat program terganggu dan membuat delay pada program. Solusi yang telah dilakukan

dengan mengabungkan sensor proximity ke arah belakang untuk mengetahui jarak antara dinding belakang, saat melakukan pendeteksian menggunakan proximity dan saat memposisikan tempat ditengah gawang menggunakan HC-SR04. Evaluasi pada bagian software terdapat pada bagian GUI untuk tidak menampilkan gambar, karena saat program berjalan gambar yang ditampilkan membuat pendeteksian yang lambat. Solusi yang telah dilakukan dengan menambahkan fitur untuk tidak menampilkan gambar pada GUI. Evaluasi sumatif selanjutnya dilakukan dengan melakukan pengujian.

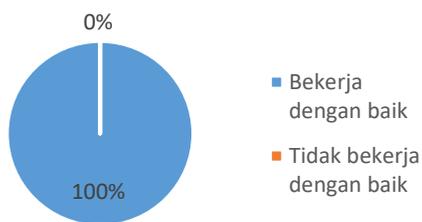


Gambar 8. Rancangan Akhir Mekanik Robot



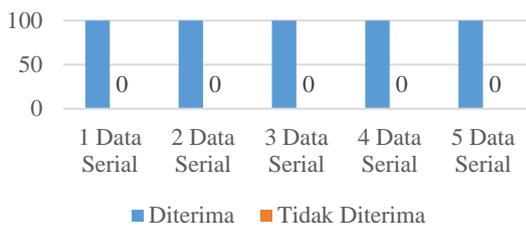
Gambar 9. Grafik Pengujian Catu Daya Baterai

Gambar 9 merupakan hasil data dari pengujian catu daya baterai untuk menguji ketahanan baterai pada proyek akhir ini. Gambar 9. Menunjukkan bahwa pengujian catu daya dalam 1 menit mikrokontroler 0,068 Volt, Mini PC 0,059 Volt, dan 0,057 Volt. Pengujian catu daya baterai pada tabel 14 merupakan uji ketahanan pada baterai dimana pada uji mikrokontroler dalam waktu 1 menit dari mikrokontroler dapat mensuplay rata-rata sebesar 0,068 Volt, untuk Mini PC dalam waktu 1 menit baterai mampu mensuplay rata-rata sebesar 0,059 Volt dalam waktu 1 menit, dan untuk motor dc mampu mensuplay rata-rata sebesar 0,057 Volt dalam 1 menit.



Gambar 10. Grafik Pengujian Motor

Gambar 10 merupakan hasil data dari pengujian motor dc untuk menguji kelayakan motor pada proyek akhir ini. Data gambar 10 dapat dilihat bahwa lima motor yang diuji rata-rata bekerja dengan baik. Pengujian motor PG dengan melakukan pengujian pada 5 motor yang digunakan tidak terdapat kerusakan pada motor dan motor berfungsi sebagai mana mestinya. Penguji motor PG pada tabel 15 pada putaran motor sesuai dengan yang diharapkan dengan rata-rata motor bekerja dengan baik.



Gambar 11. Grafik Komunikasi Serial

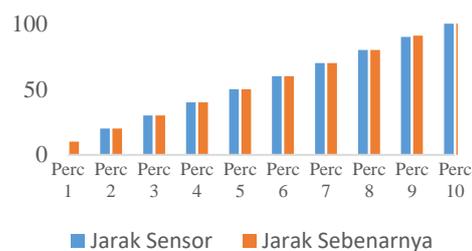
Gambar 11 merupakan hasil data yang diterima dari mikrokontroler dengan pengirim. Gambar 11 menunjukkan pengiriman data terima dan kirim berjalan dengan baik. Pengujian komunikasi serial pada tabel 16 pada proses pengirim data dari Mini PC data yang dikirim berupa variabel string yang dipisahkan oleh simbol “ ; “ lalu dikirimkan ke mikrokontroler, setelah data dikirim mikrokontroler menerima satu sampai lima data dengan jumlah rata-rata penerimaan berhasil dan tidak terdapat data yang tidak terbaca.

Gambar 12 merupakan hasil data yang diukur dengan mendekatkan robot dengan tiang batas gawang pada jarak tertentu yang sudah diatur. Gambar 12 menunjukkan bahwa sensor proximity bekerja dengan baik. Pengujian sensor proximity pada tabel 17 merupakan untuk

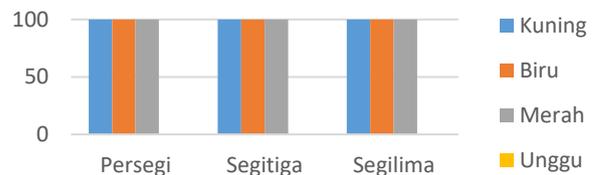
menguji tingkat akurasi dari sensor yang terpasang untuk mendeteksi tepi gawang sebagai batas untuk berhenti. Data hasil pengujian tabel 17 dari 1 sampai 10 tidak ada error yang terjadi pada proses pengujian sensor proximity, pada pengujian ini persent akurasi dari sensor proximity sebesar 100% yang berarti sensor berfungsi dengan baik.



Gambar 12. Grafik Pengujian Sensor Proximity



Gambar 13. Grafik Pengujian Sensor Jarak



Gambar 14. Grafik Pengujian Sensor Jarak

Gambar 13 merupakan hasil data yang diukur dengan membandingkan data pada alat pengukur jarak dengan sensor yang dibaca dengan program CodeVision AVR. Gambar 14 merupakan hasil data yang diukur dengan membandingkan data pada GUI dengan penglihatan manusia. Pengujian sensor jarak dengan menggunakan sensor gelombang suara yaitu sensor HC-SR04 dalam pengujian 1 sampai 8 pada tabel 18 sensor membaca jarak dengan deteksi dengan baik dan tidak acak tetapi pada pengujian sensor 9 dan 10 sensor membaca jarak dengan ± 1 dan ± 3 dikarenakan sensor yang

sudah lama dan bentuk fisik dari sensor yang sedikit rusak membuat pembacaan sensor proximity terganggu jika mendeteksi jarak lebih besari dari 80 Cm. Nilai akurasi pada sensor proximity sebesar 80% yang berarti sensor masih berfungsi sebagaimana mestinya.

Pengujian kamera merupakan pengujian deteksi pada kamera menggunakan object selain orange dan lingkaran dengan tujuan mengetahui apakah sensor kamera tidak mendeteksi warna lain selain warna orange dan lingkaran. Pada pengujian tabel 19 tidak terdapat error pada saat pendeteksian warna dan bentuk, nilai akurasi dari pengujian kamera sebesar 100% yang berarti kamera berfungsi sebagaimana mestinya. Setelah pengujian tiap komponen dilakukan, selanjutnya dilakukan pengujian unjuk kerja. Table 2 menunjukkan hasil uji tersebut.

Tabel 2. Hasil Uji Kerja Robot penjaga Gawang (D: Terdeteksi; TD: Tidak terdeteksi; dan H: Terhadang)

No	Jarak Bola dengan Robot	Hasil Uji		
		D	TD	H
1.	130 Cm	√	-	√
2.	220 Cm	√	-	-
3.	470 Cm	√	-	√
4.	675 Cm	-	-	√
5.	220 Cm	√	-	-
6.	130 Cm	√	-	√
7.	120 Cm	√	-	√
8.	150 Cm	√	-	√
9.	120 Cm	√	-	√
10.	450 CM	√	-	√
11.	450 Cm	√	-	√
12.	450 CM	√	-	√
13.	480 Cm	√	-	√
14.	650 Cm	-	-	√
15.	400 Cm	√	-	√
16.	380 CM	√	-	√
17.	400 Cm	√	-	√
18.	750 Cm	-	-	√
19.	610 Cm	√	-	√
20.	680 Cm	-	-	√

Pengujian unjuk kerja robot penjaga gawang mengacu pada tabel 20 dapat dilihat bahwa dalam pendeteksian objek dengan jarak 0 sampai 600 Cm sistem bekerja dengan baik namun ketika jarak lebih dari 600 Cm sistem tidak mengenali objek, ketika objek berjarak

lebih dari 600 Cm gambar pendeteksian sangatlah kecil dikarenakan penambahan lensa tambahan yang membuat pendeteksian bola pada jarak 600 Cm tidak terdeteksi. Gambar 15 merupakan Letak pengujian bola dimana bola secara random dilemparkan ke penjaga gawang.



Gambar 15. Letak Pengujian Unjuk Kerja

Pengujian program robot untuk menghadang bola untuk masuk kedalam gawang terdapat dua percobaan yang membuat robot tidak bisa menghadang bola yaitu ketika bola diarah kanan atau kiri dengan posisi robot berada dikanan atau kiri gawang. Robot tidak bisa menghadang bola dikarenakan terjadinya selip terhadap motor yang membuat robot tidak bergerak secara horizontal yang membuat robot error tidak diposisi menghadang kedepan yang membuat robot harus melakukan PID ke posisi menghadap depan lalu bergerak ke arah bola datang. Metode modifikasi ADDIE pada robot sepakbola [15] dapat diterapkan pada pengembangan robot penjaga gawang. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode hough circle dapat digunakan untuk mendeteksi posisi bola berwarna oranye pada KRSBI beroda dengan baik. Hal tersebut sesuai dengan penerapan metode pada robot speak bola oleh beberapa pengembang sebelumnya [4][5][6][13][14]. Penelitian pengembangan robot penjaga gawang berikutnya perlu memperhatikan pemilihan dan pemasangan komponen mekanik agar tidak mengganggu pergerakan robot (tidak selip).

SIMPULAN

Permasalahan perubahan warna bola (oranye) dan pergerakan dinamis bola dideteksi dengan metode *hough circle*. Pengembangan robot penjaga gawang pada artikel ini dapat diperoleh beberapa simpulan sebagai berikut: (1) pendeteksi warna dan bentuk bola pada robot penjaga gawang menggunakan EmguCV telah berhasil dibuat. Perangkat terbagi menjadi dua yaitu lapangan robot menggunakan triplek berlapis kain berwarna hijau, dan robot penjaga gawang dibuat dengan stainless steel ketebalan 1×2 Cm dan 1×1 Cm dengan mesin las sebagai penyambung stainless steel. Perangkat lunak menggunakan Microsoft Visual Studio dan CodeVision AVR; dan (2) unjuk kerja robot penjaga gawang dari 20 percobaan, dalam mengidentifikasi bola mempunyai presentase akurasi sebesar 80% sedangkan unjuk kerja robot penjaga gawang dalam menghadang bola dalam presentase akurasi sebesar 90%. Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa sistem pengolahan citra digital bekerja dengan baik sesuai dengan fungsinya dengan mengidentifikasi bola pada robot. Pengembangan ke depan perlu memperhatikan teknis secara detil khususnya pada pergerakan robot agar tidak terjadi selip.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. W. Nugroho and R. Syahputra, "Kata Pengantar Editor," in *Proceeding The 6th Indonesia Symposium on Robotic Systems and Control (ISRSC)*, 2018.
- [2] P. P. K. R. Indonesia, "Kontes Robot Indonesia," *kontesrobotindonesia.id*. [Online]. Available: <https://kontesrobotindonesia.id/index.html>.
- [3] I. K. Wibowo *et al.*, "Rancang Bangun Mekanik Penendang Pada Robot Soccer Beroda Menggunakan Solenoid," in *The 4th Indonesian Symposium on Robot Soccer Competition*, 2016, pp. 17–21.
- [4] M. Bukhori, A. Triwiyatno, and R. R. Isnanto, "The Design of Object Tracking System in Robot Vision Using Circle Hough Transform and CAMSHIFT Methods," in *Proceedings of the The 1st International Conference on Computer Science and Engineering Technology Universitas Muria Kudus*, 2018.
- [5] T. M. A. Triyono, H. Fitriyah, and M. H. H. Ichsan, "Deteksi Jarak Bola Pada Robot Kiper Sepak Bola Menggunakan Hough Circle Transformation Berbasis Raspberry Pi," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 3, no. 2, pp. 1381–1387, 2019.
- [6] Handriko, Irwan, and M. I. Nugraha, "Penerapan Metode Color Filtering HSV untuk Pendeteksian Bola pada Robot KRSBI Beroda," in *Proceeding The 6th Indonesia Symposium on Robotic Systems and Control (ISRSC)*, 2018, pp. 14–18.
- [7] M. Deswal and N. Sharma, "A Fast HSV Image Color and Texture Detection and Image Conversion Algorithm," *International J. Sci. Res.*, vol. 3, no. 6, pp. 1279–1284, 2014.
- [8] D. Bagus Setiawan *et al.*, "Ball Direction Prediction for Wheeled Soccer Robot Goalkeeper Using Trigonometry Technique," *Appl. Technol. Comput. Sci. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 39–51, Sep. 2019.
- [9] P. V. C. Hough, "Method and means for recognizing complex patterns," US3069654A, 1962.
- [10] S. Seifozzakerini, W.-Y. Yau, K. Mao, and H. Nejati, "Hough Transform Implementation For Event-Based Systems: Concepts and Challenges," *Front. Comput. Neurosci.*, vol. 12, Dec. 2018.
- [11] S. J. K. Pedersen, "Circular Hough Transform," in *Encyclopedia of Biometrics*, Boston, MA: Springer US, 2009, pp. 181–181.
- [12] Ilam S. Hassanein, S. Mohammad, M. Sameer, and M. E. Ragab, "A Survey on Hough Transform, Theory, Techniques and Applications," *Int. J. Comput. Sci. Issues*, vol. 12, no. 1, pp. 139–156, 2015.
- [13] A. Cornelia and I. Setyawan, "Ball detection algorithm for robot soccer based on contour and gradient hough circle transform," in *2017 4th International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE)*, 2017, pp. 136–141.
- [14] M. R. Naufal and H. S. Pramono, "Pengembangan Aplikasi Pendeteksi Objek Lingkaran Menggunakan Metode Houghcircle Sebagai Media Pembelajaran Penginderaan Visual Robot," in *Proceeding The 6th Indonesia Symposium on Robotic Systems and Control (ISRSC)*, 2018, pp. 193–201.
- [15] R. E. Mohan, C. A. A. Calderon, C. Zhou, T. Yang, L. Zhang, and Y. Yang, "Adapting ADDIE Model for Human Robot Interaction in Soccer Robotics Domain," in *Robot Soccer World Cup*, 2008, pp. 166–176.