

## **PENERAPAN TEKNOLOGI REAL TIME COMPUTER VISION PADA ROBOT CERDAS PENYELEKSI DAN PEMUNGUT BOLA BERDASARKAN WARNA**

**Fitria Nur Hasanah**

Fakultas Teknologi Industri dan Informatika, Program Studi Teknik Informatika  
Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka  
Email: [fitrianh04@gmail.com](mailto:fitrianh04@gmail.com)

**Akhmad Rizal Dzikrillah\***

Fakultas Teknologi Industri dan Informatika, Program Studi Teknologi Rekayasa Mekatronika  
Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka  
Email: [ahmad.rizal@uhamka.ac.id](mailto:ahmad.rizal@uhamka.ac.id)  
\*Penulis Korespondensi

**Ade Davy Wiranata**

Fakultas Teknologi Industri dan Informatika, Program Studi Teknik Informatika  
Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka  
Email: [adedavy@uhamka.ac.id](mailto:adedavy@uhamka.ac.id)

**Rafi Diandra Dani Rahardjo**

Fakultas Teknologi Industri dan Informatika, Program Studi Teknik Informatika  
Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka  
Email: [rafidiandra1972@gmail.com](mailto:rafidiandra1972@gmail.com)

### **ABSTRAK**

Visi komputer merupakan salah satu teknologi terbaru dalam kecerdasan buatan yang banyak digunakan dalam bidang otomasi, deteksi objek, dan robotika. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan robot cerdas berbasis visi komputer real-time yang mampu mendeteksi, memilah, dan memungut bola berdasarkan warna pada kontes ABU Robocon 2024. Sistem robot ini dirancang dengan menggunakan kamera Pixy CMUCam5 yang dilengkapi algoritma Color Connected Component (CCC) untuk mendeteksi objek berwarna merah dan biru sesuai dengan standar bola kontes. Robot beroda yang dikendalikan oleh mikrokontroler Arduino Uno, memanfaatkan roda mekhanum untuk manuver, sementara mekanisme pemungut bola menggunakan silinder karet yang digerakkan motor DC. Pengujian dilakukan melalui dua skenario: deteksi bola yang bergerak dan pengambilan bola yang diam di beberapa jarak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa robot mampu mendeteksi dan merespon objek berwarna dalam jangkauan tertentu. Namun, kamera Pixy memiliki keterbatasan dalam mendeteksi bentuk atau pola objek, hanya mendasarkan seleksi pada warna. Penelitian ini berhasil menunjukkan implementasi algoritma deteksi warna berbasis visi komputer pada robot cerdas, meskipun masih perlu peningkatan dalam kemampuan pengenalan bentuk.

**Kata kunci:** Visi computer, Deteksi warna, Robot cerdas, Pixy CMUCam5, Pemrosesan real-time, ABU Robocon

### **ABSTRACT**

*Computer vision is one of the latest technologies in artificial intelligence, widely used in automation, object detection, and robotics. This study aims to develop an intelligent robot based on real-time computer vision that can detect, sort, and pick up balls based on color for the ABU Robocon 2024 contest. The robot system is designed using the Pixy CMUCam5 camera, equipped with a Color Connected Component (CCC) algorithm to detect red and blue objects according to the contest's ball standards. The wheeled robot, controlled by an Arduino Uno microcontroller, utilizes mekhanum wheels for maneuvering, while the ball-picking mechanism uses rubber cylinders driven by DC motors. Testing was conducted through two scenarios: detecting moving balls and picking up stationary balls at various distances. The results indicate that the robot can detect and respond to colored objects within a certain range. However, the Pixy camera has limitations in detecting the shape or pattern of objects, only basing selection on color. This study successfully demonstrates the implementation of a color-detection algorithm using computer vision in an intelligent robot, although improvements in shape recognition are still needed.*

**Keywords:** Computer vision, Color detection, Intelligent robot, Pixy CMUCam5, Real-time processing, ABU Robocon

## **1. PENDAHULUAN**

Teknologi penglihatan komputer (computer vision) merupakan suatu teknologi yang ingin mengimitasi sistem penglihatan pada makhluk hidup kepada komputer [1], [2]. Tujuannya adalah agar sebuah komputer dapat mengambil suatu keputusan respon tertentu terhadap suatu citra objek yang terindra. Jenis respon dari prosesor dapat berupa gerak mekanik terhadap objek-objek yang terindra, sehingga teknologi ini sering digunakan pada robot-robot cerdas yang mampu mengambil keputusan secara independen tanpa pengaruh dari kecerdasan manusia[2]. Visi komputer dan kecerdasan buatan telah menjadi hal yang penting berhasil digunakan untuk mengoperasikan sistem robot yang kompleks di banyak karya. Misalnya, dalam penelitian yang dilakukan Y.-Z. Hsieh[1] dan Sridharan[3], penelitian penelitian ini menggunakan teknologi computer vision pada robot agar robot dapat membuat keputusan independen dari manusia berdasarkan objek tertentu yang terindra.

Perkembangan teknologi penglihatan komputer telah berkembang hingga pengolahan data secara real-time dan pemilahan warna. Komputer tidak lagi hanya mampu mengolah data citra digital dengan waktu tunda, tetapi juga mampu mengolah data citra digital bergerak dan meresponnya dalam waktu terkini. Seperti yang dilakukan pada penelitian yang dilakukan oleh Kadoura [4] , peneltitain tersebut menggunakan computer vision secara real time pada dunia industri untuk meningkatkan produktivitas.

Teknologi penglihatan komputer juga telah mampu untuk memilah citra berdasarkan warna[5], [6]. Dalam penelitian oleh SD Perkasa, P. Megantoro dan HA Winarno, penulis mengeksplorasi konsep membangun robot yang dapat melacak objek berwarna. Objek berwarna cerah memiliki desain dasar. Robot beroda telah dirancang dengan memanfaatkan motor dan roda. Robot beroda berbasis Pixy 2 dengan sensor digunakan untuk mendeteksi objek dengan warna yang berbeda. Robot ini bergerak ke arah yang sama dengan gerakan benda yang ditempelinya. Dalam hal mobilitas, robot ini memiliki dua roda, yaitu satu di setiap sisi (kanan dan kiri). Mikroprosesor papan Arduino Uno bertugas mengendalikan pergerakan robot[1].

Teknologi real time computer vision dibutuhkan untuk mendukung kinerja sistem cerdas yang dituntut untuk merespon langsung terhadap pengindraan suatu citra objek tertentu[6]. Objek yang perlu direspon terkadang memiliki karakteristik warna dan bentuk tertentu, sehingga sistem cerdas membutuhkan teknologi pemilahan warna. Sebagai contoh pada Kontes Robot ABU Indonesia tahun 2024[7], robot yang dikonteskan harus mampu untuk memungut bola-bola di lantai dengan warna tertentu dan menghiraukan bola-bola berwarna lain.

Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan teknologi real-time computer vision pada robot cerdas sehingga memiliki kemampuan memilah dan memunggut bola berdasarkan warna yang diberikan. Impelementasi akan dibatasi pada spesifikasi robot cerdas yang dikonteskan pada kontes robot ABU Indonesia tahun 2024.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang bangun sistem robot yang menerapkan teknologi *real time computer vision* sehingga robot dapat mendeteksi dan merespon suatu objek berdasarkan warna. Berdasarkan tujuan penelitian tersebut maka penelitian ini termasuk dalam klasifikasi penelitian pengembangan sistem (*system development*).

Berdasarkan metode penelitian yang dipilih, maka tahapan penelitian yang mengacu pada penelitian pengembangan sistem (*system development*) adalah identifikasi spesifikasi sistem, perancangan sistem, implementasi sistem, dan pengujian. Metode evaluasi sistem kinerja yang telah dirancang bangun adalah penelitian eksperimental.

### 2.1 Identifikasi Spesifikasi Sistem

Spesifikasi mekanik robot menyesuaikan dengan ukuran dan warna bola standar ABU Robocon 2024. Berdasarkan standar ABU Robocon 2024, diameter bola adalah 190 mm, dengan berat 325 gram, berbahan kulit. Warna bola terdiri dari 3 jenis yaitu bola merah gelap (C1 M100 Y100), bola biru gelap (C93 M69 Y1) , dan bola ungu (C41 M76 Y13 K1). Bola yang harus diambil adalah bola merah gelap dan bola biru gelap, sedangkan bola ungu tidak perlu diambil. Bola akan dibawa lalu dimasukkan ke keranjang dengan tinggi 525 cm. Standar warna bola ABU Robocon 2024 dapat dilihat pada Gambar 1.



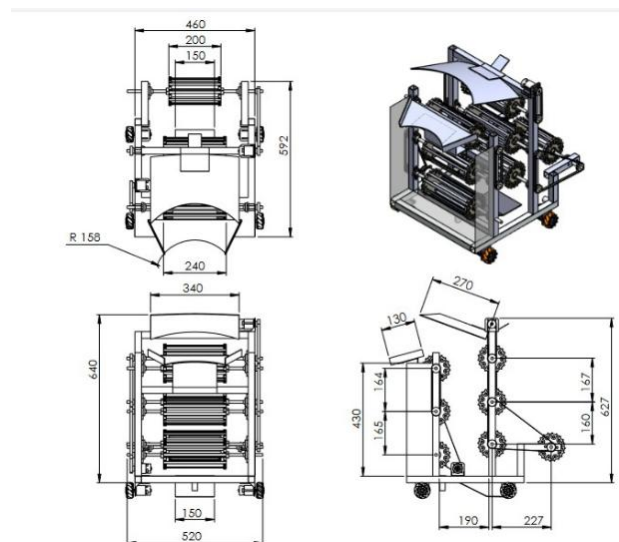
**Gambar 1. Warna Bola Standar ABU ROBOCON 2024 [1]**

## 2.2 Perancangan Sistem

Perancangan sistem terdiri dari 3 bagian yaitu perancangan mekanik, perancangan elektrik, dan perancangan algoritma kendali.

### 2.2.1 Perancangan Mekanik

Mekanisme robot cerdas untuk memungut bola adalah melalui putaran silinder-silinder karet yang digerakkan oleh motor-motor DC. Susunan silinder karet terdiri dari satu silinder karet di bagian depan robot yang berfungsi untuk memungut menarik bola di lantai ke bagian dalam robot dan enam silinder karet yang tersusun vertikal agar dapat mengangkat bola dari bagian bawah ke bagian atas robot. Roda-roda untuk gerak maju robot menggunakan roda jenis mehanum dan digerakkan masing masing oleh motor DC. Agar sesuai dengan ukuran bola standar bola Kontes robot ABU Robocon 2024, maka peneliti melakukan perancangan mekanik robot seperti dapat dilihat pada gambar 2.

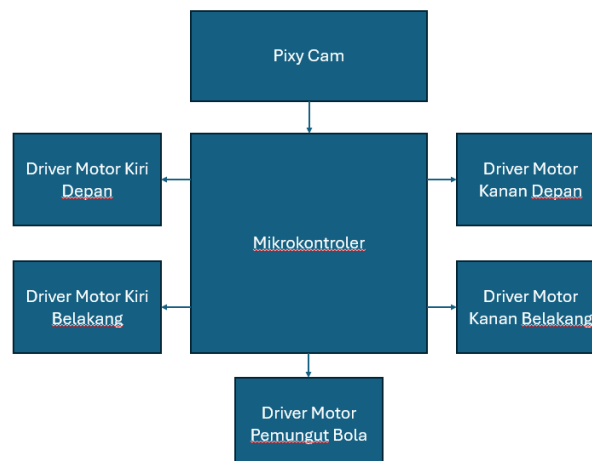


**Gambar 2. Desain Mekanik Robot [2]**

Secara volume, robot memiliki tinggi 627 mm, lebar 460 mm, dan panjang 592 mm

### 2.2.2 Perancangan Elektrik

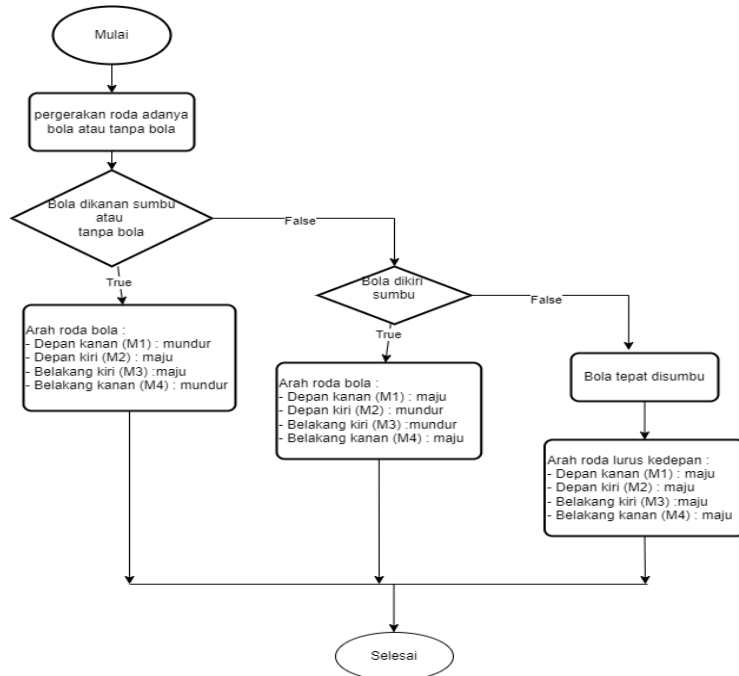
Alat pengindraan robot terhubung dengan mikrokontroler. Luaran dari prosesor arduino adalah sinyal kendali untuk driver-driver motor DC penggerak roda dan pemungut bola. Rancangan sistem dapat dilihat pada gambar 3.



**Gambar 3. Rancangan Sistem Elektrik [3]**

### 2.2.3 Perancangan Algorithma Kendali

Peneliti selanjutnya merancang algorithma program kendali utama gerak robot. Algorithma kendali dirancang agar kombinasi gerak kombinasi roda robot dapat mengarahkan robot menuju ke objek bola berwarna yang terdeteksi. Robot akan berbelok mengarah ke kanan saat bola cenderung berada di kanan sumbu kamera robot. Robot akan berbelok mengarah ke kiri saat bola cenderung berada di kiri sumbu kamera robot. Robot akan terus berjalan maju jika bola berada tepat di sumbu kamera robot atau tidak menemukan bola. Rancangan algorithma kendali robot dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Rancangan Algorithma Kendali Robot [4]

### 2.3 Implementasi Sistem

Peneliti melakukan pembangunan perangkat mekanik robot terlebih dahulu lalu melakukan pemasangan sistem elektrik pada perangkat mekanik robot dengan komponen-komponen elektronik terpilih. Setelah sistem elektrik terinstalasi pada robot, peneliti mengimplementasikan perangkat lunak kendali robot pada mikrokontroler di sistem elektrik.

Alat penginderaan yang digunakan adalah kameru Pixy jenis CMUCam versi 5. Kamera Pixy menggunakan algorithma pemfilteran berbasis warna untuk mendeteksi objek yang disebut dengan algorithma Color Connected Components (CCC). Pixy2 menghitung warna (hue) dan saturasi setiap piksel RGB dari sensor gambar dan menggunakannya sebagai parameter pemfilteran utama[8]. Objek yang memiliki karakteristik warna dan saturasi yang mendekati parameter filter utama akan dikenali sebagai target yang akan direspon oleh mikrokontroler.

Pemrosesan citra pada pada kamera pixy memakai aplikasi bawaan pada pixy yaitu pixymoon. Pada pixymoon terdapat tahapan-tahapan untuk pengolahan citra dari pixy[9] [10]. Beberapa tahapan tersebut dapat dilihat pada Gambar 5 .

Tahapan Pemrosesan Citra Menggunakan Pixy Cam



Gambar 5. Tahapan Pemrosesan Citra Digital pada PixyCam [5]

Tahap pertama pemrosesan citra digital adalah peneliti akan memilih signature terlebih dahulu. Signature akan menjadi variabel penanda di program mikrokontroler yang merujuk pada suatu parameter filter utama. Tahap kedua adalah menentukan parameter filter utama dengan cara memblok bola berwarna merah dan biru standar kontes ABU Robocon 2024 menggunakan pixymoon. Parameter filter bola warna merah dan biru diberi signature yang berbeda. Tahap ketiga adalah menentukan konfigurasi untuk mentukan jangkauan dari blok yang sudah kita lakukan dan pencahayaan kamera pixy. Tahap keempat adalah memasukkan signature dan filter utama kedalam program.

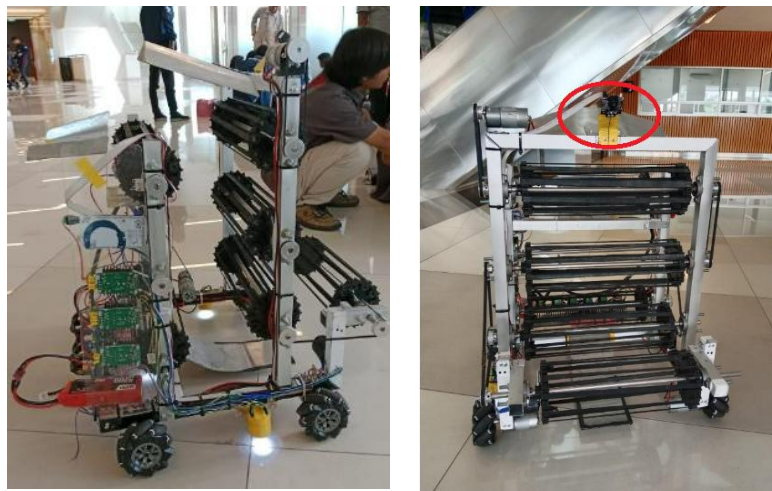
### 2.4 Pengujian

Metode pengujian dilakukan dengan 2 tahap skenario eksperimen pengujian. Skenario pertama yaitu dengan menggerakkan bola berwarna merah atau biru di depan kamera pengindra robot. Skenario pertama ingin menguji kemampuan deteksi sensor kamera dan respon gerakan robot dalam mengikuti gerak bola.

Skenario kedua adalah dengan meletakkan bola-bola diam berwarna merah atau biru di lantai. Bola diletakkan melalui dua cara yaitu bola merah diletakkan di kanan sumbu kamera kemudian diletakkan di kiri sumbu kamera. Skenario kedua ingin menguji kemampuan robot dalam menemukan lalu memunggut bola berwarna merah atau biru. Robot juga diharapkan mampu untuk memberikan respon yang sama pada bola berwarna merah maupun biru. Pada pengujian skenario kedua, bola-bola akan diletakkan pada beberapa jarak tertentu untuk mengukur jangkauan jarak kamera terjauh hingga robot tidak bisa lagi merespon. Jarak yang digunakan adalah 3, 6, dan 9 meter.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Peneliti melakukan pembuatan mekanik robot sesuai dengan hasil rancangan sebelumnya dan melakukan instalasi sistem elektrik. Gambar 6(a) menunjukkan badan mekanik robot pemungut bola yang telah dibuat beserta instalasi sistem elektrik. Gambar 6(b) menunjukkan peletakan perangkat pengindraan komputer kamera pixy yang diletakkan pada bagian atas robot.



**Gambar 6. Badan mekanik robot dan instalasi sistem elektrik (a) serta posisi peletakan kamera pixy pada bagian atas robot(b) [6]**

Untuk perangkat pengindraan, robot menggunakan kamera Pixy CMUCam versi 5 yang terhubung pada mikrokontroler arduino 2560. Mikrokontroler arduino 2560 terhubung dengan 4 driver motor DC yang menggerakkan masing-masing roda dan driver motor DC penggerak silinder-silinder penghisap. Power supply keseluruhan robot adalah baterai Lithium LiFePO4 12.6 V.

Setelah menetapkan signature dan parameter filter utama menggunakan pixymoon, peneliti membuat program kendali robot pada mikrokontroler dengan menggunakan signature dan parameter filter warna yang telah ditetapkan. Implementasi signature pada source code perangkat lunak kendali robot dapat dilihat pada gambar 7.

```
151 float pixyCheck() {
152     static int i = 0;
153     int j;
154     uint16_t blocks;
155     char buf[32];
156     // grab blocks!
157     blocks = pixy.ccc.getBlocks();
158
159     // If there are detect blocks, print them!
160     if (blocks)
161     {
162         for (j = 0; j < blocks; j++) {
163             signature = pixy.ccc.blocks[j].m_signature;
164             height = pixy.ccc.blocks[j].m_height;
165             width = pixy.ccc.blocks[j].m_width;
166             x = pixy.ccc.blocks[j].m_x;
167             y = pixy.ccc.blocks[j].m_y;
168             cx = (x + (width / 2));
169             cy = (y + (height / 2));
170             cx = mapfloat(cx, 0, 320, -1, 1);
171             cy = mapfloat(cy, 0, 200, 1, -1);
172             area = width * height;
173
174             if (signature == signColor) {
175                 // tarik();
176             } else if (signature == 2) {
177                 // // kode untuk tanda tangan 2
178             }
179         }
180     }
181 }
```

**Gambar 7. Implementasi signature sebagai referensi parameter filter utama pada perangkat lunak kendali robot**

Peneliti lalu memasukkan perangkat lunak kendali robot kepada mikrokontroler untuk mengendalikan roda-roda robot agar dapat merespon terhadap kecenderungan posisi bola. Kecenderungan posisi bola ditentukan oleh posisi bola terhadap sumbu kamera robot. Cuplikan source code perangkat lunak kendali robot dapat dilihat pada gambar 8.

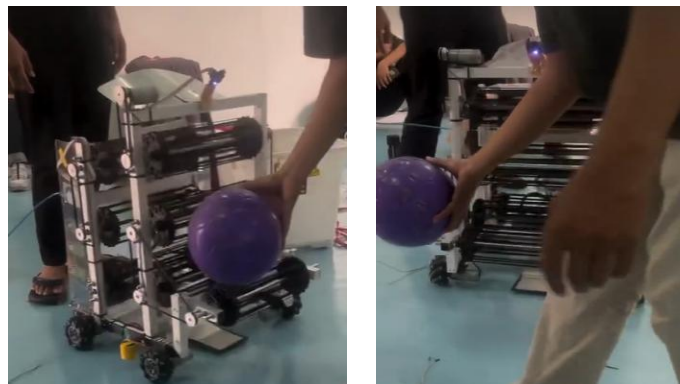
```

120 void loop() {
121   tarik();{
122     delay(5000);
123   }
124
125   if (digitalRead(10)==HIGH){
126     signColor =false;
127   }
128   float turn = pixyCheck();
129   if (turn > -deadZone && turn < deadZone) {
130     turn = 0;
131   }
132   if (turn < 0) {
133     servo.write(20); // kiri
134     moveRobot(-80, 170);
135     Serial.println("kiri");
136   }
137   else if (turn > 0) {
138     servo.write(150); // kanan
139     moveRobot(170, -80);
140     Serial.println("kanan");
141   }
142   else {
143     servo.write(90);
144     moveRobot(70, 70);
145     Serial.println("maju");
146   }
147   delay(1);
148 }

```

**Gambar 8. Cuplikan Source Code Bagian Algoritma Kendali Roda-Roda Robot [8]**

Pada pengujian skenario pertama, robot cerdas mampu untuk bergerak mengikuti gerak bola yang digerakkan oleh manusia. Gambar 5 menunjukkan gerak robot saat bola digerakkan ke kanan dan ke kiri.



**Gambar 9. Pengujian sensor kamera dengan menggerakkan bola berwarna ke kiri dan ke kanan sumbu kamera [9]**

Pada pengujian skenario kedua, bola merah diletakkan di lantai pada jarak 3 meter, 6 meter, 9 meter, dan 12 meter. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 1.

**Tabel 1. Hasil Eksperimen Pencarian Bola Berdasarkan Warna [10]**

| <i>Warna/ Signature</i>  | <i>Posisi Bola</i>        | <i>Jarak</i>             | <i>Respon Robot</i>                                              |
|--------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------|
| <i>Merah/Signature 1</i> | <i>Kanan sumbu kamera</i> | <i>3, 6, dan 9 meter</i> | <i>Berbelok kanan lalu bergerak lurus hingga posisi bola</i>     |
| <i>Merah/Signature 1</i> | <i>Kiri sumbu kamera</i>  | <i>3,6, dan 9 meter</i>  | <i>Berbelok kiri lalu bergerak lurus hingga posisi bola</i>      |
| <i>Biru/Signature 2</i>  | <i>Kanan sumbu kamera</i> | <i>3,6, dan 9 meter</i>  | <i>Berbelok kanan lalu bergerak lurus hingga posisi bola</i>     |
| <i>Biru/Signature 2</i>  | <i>Kiri sumbu kamera</i>  | <i>3,6, dan 9 meter</i>  | <i>Berbelok kiri lalu bergerak lurus hingga posisi bola</i>      |
| <i>Merah/Signature 1</i> | <i>Kanan/Kiri kamera</i>  | <i>sumbu 12 meter</i>    | <i>Tidak merespon, Berbelok setelah bola berwarna didekatkan</i> |
| <i>Biru/Signature 2</i>  | <i>Kanan/Kiri kamera</i>  | <i>sumbu 12 meter</i>    | <i>Tidak merespon, Berbelok setelah bola berwarna didekatkan</i> |

Terdapat juga suatu fenomena yang ditemui saat pengujian, yaitu robot sensitif terhadap warna dari objek lain yang memiliki warna yang hampir sama dengan parameter filter utama di signature, sehingga objek-objek pengganggu tersebut perlu disingkirkan terlebih dari pandangan kamera agar kinerja mendeteksi bola berwarna tidak terganggu.

Fenomena gangguan oleh objek berwarna sama ini merupakan kelemahan dari algoritma *color-connected-component* pada kamera Pixy CMUCam5 yang hanya mendeteksi objek berdasarkan kemiripan warna referensi yang tersimpan di signature. Penelitian-penelitian terbaru terkait penggunaan Pixy CMUCam5 memang lebih digunakan pada kasus-kasus deteksi objek berdasarkan warna, bukan pada pola dan bentuk objek [11][12]. Untuk kasus pengenalan objek berdasarkan pola dan warna, peneliti lain menggunakan algoritma selain *color-connected-component* [13].

#### 4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah bahwa dengan menggunakan algoritma *color-connected-component* yang dipakai pada kamera Pixy CMUCam5 maka dapat dibuat suatu perangkat lunak kendali robot beroda yang mampu untuk mendeteksi bola berwarna tertentu lalu menggerakkan robot untuk menuju ke lokasi bola. Berdasarkan hasil pengujian, warna bola yang mampu terdeteksi adalah warna bola warna merah dan biru sesuai standar bola pada Kontes Robot ABU ROBOCON 2025. Deteksi bola berwarna memiliki jangkauan terjauh tertentu sesuai ukuran dari bola. Untuk bola futsal ukuran diameter 190 mm, robot mampu mendeteksi hingga jarak terjauh 9 meter.

Kelemahan dari penelitian ini adalah hanya menggunakan algoritma *color-connected-component* yang mampu dilakukan pada kamera Pixy CMUCam5. Algoritma *color-connected-component* hanya mampu menyeleksi objek berdasarkan warna yang tersimpan pada signature tanpa mempedulikan pola, ukuran, dan bentuk dari objek yang bersangkutan.

Saran untuk penelitian penginderaan robot di masa depan adalah menggunakan algoritma lain yang mampu mendeteksi objek bukan hanya berdasarkan warna tapi juga pola, ukuran, dan bentuk dari objek yang dicari dengan menggunakan kamera lain yang mampu mengoperasikan algoritma yang lebih cerdas tersebut.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih diberikan kepada tim robot Uhamka 2024 yang telah mendukung kegiatan riset robotika ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdullah-Al-Noman, M., *et al.* Mar 2022. "Computer Vision-based Robotic Arm for Object Color, Shape, and Size Detection". *Journal of Robotics and Control (JRC)* vol. 3. no 2, pp. 180–186. doi: 10.18196/jrc.v3i2.13906.
- [2] R. Szeliski. (2021). *Computer Vision: Algorithms and Applications 2nd Edition*. Available: <https://szeliski.org/Book>,
- [3] M. Sridharan and P. Stone. 2005. "Real-Time Vision on a Mobile Robot Platform". *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. Available: <http://www.tzi.de/4legged>
- [4] A. Kadoura and E. P. Small. Jan 2022. "Tracking Productivity in Real-time Using Computer Vision," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng* vol. 1218. no 1, p. 012041. doi: 10.1088/1757-899x/1218/1/012041.
- [5] Juandri., and Anwar, N. 2023. "Pengenalan Warna Terhadap Objek Dengan Model Analisis Elemen Data Warna Gambar Berbasis Deep Neural Network". *BULLET: Jurnal Multidisiplin Ilmu* vol 2. no 1, hal 23-31.
- [6] M. Abrar Masril and D. Putra Caniago. 2023. "Optimasi Teknologi Computer Vision pada Robot Industri Sebagai Pemindah Objek Berdasarkan Warna". *Elkomika* vol. 11. no. 1, pp. 46–57. doi: 10.26760/elkomika.v11.i1.46.
- [7] Alfaruqiy, J.I., Endrasmono, J., and Ahmad Putra, ZM. September 2024. "Implementasi Robot Operating System pada Robot ABU ROBOCON 2024 dengan Metode High Precision Path Planning". *Jurnal Elkolind Volume 11*. pp. 1–12.
- [8] Pixy Cam, "Color Connected Components," [https://docs.pixycam.com/wiki/doku.php?id=wiki:v2:color\\_connected\\_components](https://docs.pixycam.com/wiki/doku.php?id=wiki:v2:color_connected_components).

- [9] Kurniawan, I.H., Haryanto, A., and Hayat, L. Desember 2024. “Penerapan Otomasi Industri Berbasis Programmable Logic Controller untuk Penyortiran Barang Berdasarkan Warna Menggunakan Sensor Vision”. *Jurnal Riset Rekayasa Elektro Volume 6. no.2*, hal. 177–182.
- [10] Perkasa, S.D., Megantoro, P., and Winarno, H.A. November 2021. “Implementation of a Camera Sensor Pixy 2 CMUcam5 to A Two Wheeled Robot to Follow Colored Object”. *Journal of Robotics and Control (JRC) Volume 2. Issue 6*, 496-501.
- [11] Harahap, N., *et al.* November 2024. “Troli Bagasi Otomatis dengan Pengenalan Objek dan Kendali Motor untuk Bandara”. *Information System Journal (INFOS) vol. 7. no 2*, pp. 118–126.
- [12] Sitompul, E., *et al.* March 2025. “Integration of Pixy2 Camera Sensor and Coordinate Transformation for Automatic Color-Based Implementation of a Pick-and-Place Arm Robot”. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika (JITEKI) vol. 11. no 1*, pp. 92–109.
- [13] Virgiawan, I., *et al.* Mei 2024. “Deteksi dan Tracking Objek secara Real-Time berbasis Computer Vision menggunakan Metode Yolo V3”. *Humantech: Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indoenesia vol. 3. no 3*.