

**NAVIGASI OTONOM *ROBOT SOCCER* MENGGUNAKAN KAMERA  
BERBASIS SEGMENTASI WARNA *HUE SATURATION VALUE***

**SKRIPSI**

**Oleh:**

**MUHAMMAD HAIKAL AKBAR AT-TAUFIEQY**  
**NIM. 210605110099**



**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2025**

**NAVIGASI OTONOM *ROBOT SOCCER* MENGGUNAKAN KAMERA  
BERBASIS SEGMENTASI WARNA *HUE SATURATION VALUE***

**SKRIPSI**

Diajukan kepada:

Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang  
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam  
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)

Oleh:

**MUHAMMAD HAIKAL AKBAR AT-TAUFIEQY**  
**NIM. 210605110099**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2025**

## HALAMAN PERSETUJUAN

### NAVIGASI OTONOM *ROBOT SOCCER* MENGGUNAKAN KAMERA BERBASIS SEGMENTASI WARNA *HUE SATURATION VALUE*

#### SKRIPSI

Oleh :

**MUHAMMAD HAIKAL AKBAR AT-TAUFIEQY**  
**NIM. 210605110099**

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:  
Tanggal: 16 Juni 2025

Pembimbing I,



Shoffin Nahwa Utama, M.T  
NIP. 19860703 20201210 03

Pembimbing II,



Dr. M. Imamudin Lc., M.A  
NIP. 19740602 200901 1 010

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Informatika  
Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang



  
Dr. Fachrul Kurniawan, M.MT., IPU  
NIP. 19771020 200912 1 001

## HALAMAN PENGESAHAN

### NAVIGASI OTONOM *ROBOT SOCCER* MENGGUNAKAN KAMERA BERBASIS SEGMENTASI WARNA *HUE SATURATION VALUE*

#### SKRIPSI

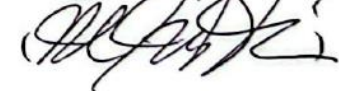
Oleh :

**MUHAMMAD HAIKAL AKBAR AT-TAUFIEQY**  
**NIM. 210605110099**

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi  
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Komputer ( S.Kom )  
Tanggal: 20 Juni 2025

#### Susunan Dewan Penguji

|                     |                                                                           |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Ketua Penguji       | : <u>Dr. Ir. Yunifa Miftachul Arif, M.T</u><br>NIP. 19830616 201101 1 004 |
| Anggota Penguji I   | : <u>Johan Ericka Wahyu Prakasa, M.Kom</u><br>NIP. 19831213 201903 1 004  |
| Anggota Penguji II  | : <u>Shoffin Nahwa Utama, M.T</u><br>NIP. 19860703 20201210 03            |
| Anggota Penguji III | : <u>Dr. M. Imamudin Lc., M.A</u><br>NIP. 19740602 200901 1 010           |

(  )  
(  )  
(  )  
(  )

Mengetahui dan Mengesahkan,  
Ketua Program Studi Teknik Informatika  
Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang



  
Dr. Hs Fachrul Kurniawan, M.MT., IPU  
NIP. 19771020 200912 1 001

## PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Haikal Akbar At-taufieqy  
NIM : 210605110099  
Fakultas / Program Studi : Sains dan Teknologi / Teknik Informatika  
Judul Skripsi : Navigasi Otonom *Robot Soccer* Menggunakan  
Kamera Berbasis Segmentasi Warna *Hue Saturation Value*

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan data, tulisan, atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini merupakan hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 16 Juni 2025

Yang membuat pernyataan,



M. Haikal Akbar At.  
NIM. 210605110099

## **MOTTO**

*“Don’t go crying to your mama, 'cause you’re on your own in the real world.”*

*-paramore*

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Alhamdulillah rabbil ‘alamin. Segala puji bagi Allah SWT atas limpahan rahmat, hidayah, dan kekuatan-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.

Shalawat dan salam semoga tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, sang pembawa cahaya ilmu dan petunjuk hidup bagi seluruh umat manusia.

Skripsi ini kupersembahkan untuk Ayah dan Ibu tercinta. Terima kasih atas kasih sayang, doa, dan dukungan yang tiada henti. Segala pencapaian ini tak lepas dari pengorbanan Ayah dan Ibu.

Untuk saudara-saudaraku, terima kasih atas semangat dan kebersamaan yang selalu menguatkan.

Kepada dosen pembimbing dan seluruh dosen Teknik Informatika, terima kasih atas ilmu, bimbingan, dan kesabarannya selama proses studi ini.

Untuk teman-teman seperjuangan, terima kasih atas kebersamaan, tawa, dan semangat yang kita bagi selama ini.

Terakhir, untuk diriku sendiri. Terima kasih telah bertahan, terus berjuang, dan tidak menyerah.

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Segala puji dan rasa syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Shalawat dan salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, semoga kita semua kelak memperoleh syafaat beliau di hari kiamat. Aamiin.

Penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini. Ucapan terima kasih ini penulis disampaikan kepada:

1. Prof. Dr. M. Zainuddin, M.A., selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Prof. Dr. Hj. Sri Harini, M.Si., selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Ir. Fachrul Kurniawan, M.MT., IPU selaku Ketua Program Studi Teknik Informatika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Shoffin Nahwa Utama, M.T., selaku dosen pembimbing 1 serta mentor yang telah memberikan bimbingan, saran, kesabaran dan dukungan yang sangat berarti bagi penulis selama proses penelitian.
5. Dr. M. Imamudin LC, MA., selaku dosen pembimbing 2, atas arahan dan pencerahan yang sangat membantu dalam menyempurnakan karya ini.

6. Dr. Yunifa Miftachul Arif, M.T., selaku dosen Penguji I dan Johan Ericka Wahyu Prakasa, M.Kom, selaku dosen Penguji II yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun dalam penyusunan skripsi ini.
7. Seluruh staf dan dosen Program Studi Teknik Informatika yang telah memberikan ilmu, dukungan, dan fasilitas kepada penulis selama masa studi.
8. Ayahanda Asep M. Taufiq, Ibunda Ade Rohayati, dan saudara-saudara penulis yang senantiasa menjadi sumber semangat, memberikan dukungan tanpa henti, serta menyertai dengan doa-doa terbaik, sehingga penulisan skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Semoga Allah SWT senantiasa menganugerahkan kesehatan dan perlindungan, agar senantiasa dapat mendampingi setiap langkah dan pencapaian penulis ke depannya.
9. Teman seperjuangan dan sepembimbingan, yang beranggotakan Amirul, Asrul, Rizal, dan terkhusus Fuaidil Ikhrom yang telah membantu banyak dalam proses pengerjaan skripsi ini, semoga selalu diberikan kesehatan.
10. Rekan seperjuangan “Kontrakan Pria Tampan”, yang beranggotakan Reyhan, Fuaidil, Noviansyah, Gianda, Safril, Musa, Khalif, Zufar, Rafi, Al, Fauzil, Amirul, Daffa dan Dika. Terima kasih telah menemani hari-hari penulis dan terima kasih sudah mau menemani suka duka serta berbagi tawa dan air mata. Sukses untuk kalian semua.
11. Alfred Rajendra Wijaya, yang telah dengan sukarela meminjamkan komputernya untuk membantu kelancaran proses pengerjaan skripsi ini.

Terima kasih atas kebaikan dan bantuannya. Semoga segala kebaikan dibalas dengan keberkahan dan kemudahan dalam setiap urusan.

12. Seluruh keluarga besar Teknik Informatika, khususnya Angkatan 2021 “ASTER”, atas segala ilmu, semangat, serta pengalaman berharga yang telah dibagikan selama masa perkuliahan. Semoga tali silaturahmi ini senantiasa terjaga, dan kita semua dapat menggapai cita-cita dan impian bersama.

13. Seluruh pihak yang telah terlibat, baik secara langsung maupun tidak langsung dari awal perkuliahan hingga akhir penulisan skripsi ini

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat di masa yang akan datang. Penulis juga menyadari bahwa karya ini masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka terhadap segala bentuk masukan dan saran yang membangun untuk pengembangan lebih lanjut.

*Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.*

Malang, 16 Juni 2025

Penulis

## DAFTAR ISI

|                                                                                                                     |             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>NAVIGASI OTONOM <i>ROBOT SOCCER</i> MENGGUNAKAN KAMERA BERBASIS SEGMENTASI WARNA <i>HUE SATURATION VALUE</i></b> | <b>ii</b>   |
| <b>HALAMAN PERSETUJUAN</b>                                                                                          | <b>iii</b>  |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN</b>                                                                                           | <b>iv</b>   |
| <b>PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN</b>                                                                                  | <b>v</b>    |
| <b>MOTTO</b>                                                                                                        | <b>vi</b>   |
| <b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b>                                                                                          | <b>vii</b>  |
| <b>KATA PENGANTAR</b>                                                                                               | <b>viii</b> |
| <b>DAFTAR ISI</b>                                                                                                   | <b>xi</b>   |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b>                                                                                                | <b>xiii</b> |
| <b>DAFTAR TABEL</b>                                                                                                 | <b>xiv</b>  |
| <b>ABSTRAK</b>                                                                                                      | <b>xv</b>   |
| <b>ABSTRACT</b>                                                                                                     | <b>xvi</b>  |
| <b>الملخص</b>                                                                                                       | <b>xvii</b> |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b>                                                                                            | <b>1</b>    |
| 1.1 Latar Belakang                                                                                                  | 1           |
| 1.2 Pernyataan Masalah                                                                                              | 6           |
| 1.3 Batasan Masalah                                                                                                 | 7           |
| 1.4 Tujuan Penelitian                                                                                               | 7           |
| 1.5 Manfaat Penelitian                                                                                              | 7           |
| <b>BAB II STUDI PUSTAKA</b>                                                                                         | <b>8</b>    |
| 2.1 Penelitian Terkait                                                                                              | 8           |
| 2.2 <i>Robot Soccer</i>                                                                                             | 12          |
| 2.3 Navigasi Otonom                                                                                                 | 14          |
| 2.4 <i>Computer Vision</i> Dalam Robotika                                                                           | 15          |
| 2.5 Segmentasi Warna Berbasis <i>HSV</i>                                                                            | 16          |
| 2.6 <i>Raspberry Pi</i>                                                                                             | 18          |
| <b>BAB III METODE PENELITIAN</b>                                                                                    | <b>20</b>   |
| 3.1 Desain Sistem                                                                                                   | 20          |
| 3.2 Akuisisi Data Visual                                                                                            | 21          |
| 3.3 Desain Perangkat Keras                                                                                          | 23          |
| 3.4 Implementasi Segmentasi Warna <i>HSV</i>                                                                        | 26          |
| 3.4.1 Parameter <i>HSV</i>                                                                                          | 26          |
| 3.4.2 Metode Segmentasi                                                                                             | 28          |
| 3.4.3 Proses Deteksi dan Penentuan Koordinat                                                                        | 34          |
| 3.5 Pengambilan Keputusan dan Kontrol Navigasi Otonom                                                               | 36          |
| 3.6 Skenario Pengujian                                                                                              | 41          |
| 3.6.1 Uji Akurasi Deteksi Bola                                                                                      | 41          |
| 3.6.2 Uji Ketahanan terhadap Variasi Pencahayaan                                                                    | 42          |
| 3.6.3 Uji Kecepatan Respon                                                                                          | 42          |
| 3.6.4 Pengujian Terhadap Variasi Latar Belakang                                                                     | 43          |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>                                                                                  | <b>45</b>   |
| 4.1 Hasil Pengujian                                                                                                 | 45          |
| 4.1.1 Hasil Uji Akurasi Deteksi Bola                                                                                | 45          |
| 4.1.2 Uji Ketahanan Terhadap Variasi Pencahayaan                                                                    | 48          |

|                                                                                 |           |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.1.3 Uji Kecepatan Respon.....                                                 | 50        |
| 4.1.4 Uji Ketahanan Terhadap Variasi Latar Belakang.....                        | 51        |
| 4.2 Pembahasan .....                                                            | 53        |
| 4.3 Integrasi Islam.....                                                        | 56        |
| 4.3.1 Hubungan Manusia dengan Allah ( <i>Muamalah Ma'a Allah</i> ) .....        | 56        |
| 4.3.2 Hubungan Manusia dengan Manusia Lain ( <i>Muamalah Ma'a Annas</i> ) ..... | 57        |
| <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>                                         | <b>60</b> |
| 5.1 Kesimpulan .....                                                            | 60        |
| 5.2 Saran .....                                                                 | 61        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b>                                                           |           |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2. 1 Raspberry Pi.....                                      | 18 |
| Gambar 3. 1 Desain Sistem.....                                     | 21 |
| Gambar 3. 2 Rangkaian Komponen Elektronik .....                    | 24 |
| Gambar 3. 3 Desain Chassis .....                                   | 24 |
| Gambar 3. 4 Implementasi Perangkat Keras.....                      | 25 |
| Gambar 3. 5 Flowchart Segmentasi Warna HSV .....                   | 26 |
| Gambar 3. 6 Slider Parameter.....                                  | 27 |
| Gambar 3. 7 Sebelum dan Setelah Tresholding Warna .....            | 32 |
| Gambar 3. 8 Hasil Operasi Morfologi Pada Citra Biner.....          | 34 |
| Gambar 3. 9 Centroid Pada Pusat Bola.....                          | 36 |
| Gambar 3. 10 Flowchart Pengambilan Keputusan Navigasi Otonom ..... | 40 |
| Gambar 3. 11 Variasi Warna Latar Belakang .....                    | 44 |
| Gambar 4. 1 Arena Pengujian Robot Soccer .....                     | 45 |
| Gambar 4. 2 Grafik Hasil Pengujian Ketahanan Cahaya.....           | 49 |
| Gambar 4. 3 Grafik Waktu Respon Sistem.....                        | 51 |
| Gambar 4. 4 Pengujian Latar Putih dan Hijau Kebiruan .....         | 53 |
| Gambar 4. 5 Pengujian Latar Kuning Kehijauan.....                  | 53 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2. 1 Penelitian Terkait.....                                 | 10 |
| Tabel 3. 1 Uji Coba Kombinasi Parameter HSV dan Hasil Deteksi..... | 27 |
| Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Akurasi Menggunakan Bola. ....          | 46 |
| Tabel 4. 2 Pengujian Akurasi Dalam Bentuk Confussion Matrix. ....  | 47 |
| Tabel 4. 3 Hasil Ketahanan Terhadap Variasi Cahaya. ....           | 48 |
| Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Variasi Latar Belakang.....             | 52 |

## ABSTRAK

Attaufieqy, Muhammad Haikal Akbar. 2025. **Navigasi Otonom Robot Soccer Menggunakan Kamera Berbasis Segmentasi Warna Hue Saturation Value**. Skripsi. Program Studi Teknik Informatika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Shoffin Nahwa Utama, M.T (II) Dr. M. Imamudin Lc, MA.

**Kata Kunci:** Navigasi Otonom, Segmentasi Warna *HSV*, Robot Soccer, Computer Vision, Deteksi Objek.

Perkembangan teknologi robotika telah memberikan dampak besar dalam berbagai bidang, termasuk dalam dunia olahraga melalui *robot soccer*. Salah satu tantangan utama dalam pengembangan *robot soccer* adalah menciptakan sistem navigasi otonom yang mampu menggantikan kendali manual yang bergantung pada kecepatan respon manusia. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem navigasi otonom berbasis segmentasi warna *HSV* (*Hue, Saturation, Value*) yang mampu mendeteksi bola dan mengarahkan robot bergerak secara mandiri. Sistem ini menggunakan *Raspberry Pi* dan kamera sebagai unit pemrosesan dan akuisisi data visual, serta menerapkan metode segmentasi warna *HSV* untuk mendeteksi bola tenis berwarna hijau. Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu mendeteksi bola secara akurat pada jarak 50 hingga 250 cm dengan akurasi sebesar 93,33% dan tidak terdapat kesalahan *false negative*. Selain itu, sistem juga menunjukkan ketahanan terhadap variasi pencahayaan dengan tingkat keberhasilan 100% pada kondisi terang (390 lux), 90% pada pencahayaan sedang (200 lux), dan 70% pada pencahayaan redup (16 lux). Rata-rata waktu respon sistem adalah 83,1 milidetik, yang menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara real-time. Hasil ini menunjukkan bahwa pendekatan segmentasi warna *HSV* dapat digunakan secara efektif untuk navigasi otonom robot berbasis kamera dalam lingkungan *indoor* dengan pencahayaan dan jarak yang bervariasi.

## ABSTRACT

Attaufieqy, Muhammad Haikal Akbar. 2025. **Autonomous Navigation of a Soccer Robot Using a Camera Based on Hue, Saturation, and Value Color Segmentation.** Thesis. Informatics Engineering Faculty of Science and Technology Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisors: (I) Shoffin Nahwa Utama, M.T (II) Dr. M. Imamudin LC, MA.

**Key Words:** Autonomous Navigation, HSV Color Segmentation, Robot Soccer, Computer Vision, Object Detection.

The advancement of robotics technology has significantly impacted various fields, including sports through robot soccer. One of the main challenges in developing robot soccer is designing an autonomous navigation system that replaces manual control, which depends on human reaction speed. This research aims to design and implement an autonomous navigation system based on HSV (Hue, Saturation, Value) color segmentation capable of detecting a ball and guiding the robot to move independently. The system uses a Raspberry Pi and a camera as the main processing and visual acquisition units, and applies HSV color segmentation to detect a green tennis ball. Based on the test results, the system can accurately detect the ball at a distance of 50 to 250 cm with an accuracy of 93.33% and no false negative errors. Additionally, the system demonstrates robustness to lighting variations, achieving 100% success in bright conditions (390 lux), 90% in moderate lighting (200 lux), and 70% in low light (16 lux). The average response time is 83.1 milliseconds, indicating that the system operates in real-time. These results suggest that HSV-based color segmentation can be effectively used for autonomous robot navigation using cameras in indoor environments with varying lighting and distance condition.

## الملخص

التوفيقى، محمد هيكمل أكبر. 2025. التنقل الذاتي للروبوت كره القدم باستخدام كاميرا قائمه على التجزئة اللونية لتدرج اللون، و التشبع و القيمة (HSV) . الرسالة الجامعية. قسم دراسات هندسة المعلوماتية، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرفان: (1) صافين نحوى أوتاما، الماجستير. (2) الدكتور محمد إمام الدين، الليسانس، الماجستير.

**الكلمات الرئيسية :** التنقل الذاتي، تدرج اللون، والتشبع و القيمة (HSV) ، روبوت كره القدم، الرؤية الحاسوبية، كشف الأجسام.

لقد أحدث تطور تكنولوجيا الروبوتات تأثيراً كبيراً في مختلف المجالات، بما في ذلك عالم الرياضة من خلال روبوت كره القدم. إحدى التحديات الرئيسية في تطوير روبوت كره القدم هي إنشاء نظام تنقل ذاتي قادر على استبدال التحكم اليدوي المعتمد على سرعة استجابة الإنسان. تهدف هذه الدراسة إلى تصميم وتنفيذ نظام تنقل ذاتي قائم على التجزئة اللونية للقيمة التشبع اللونية (تدرج اللون، والتشبع، والقيمة) قادر على اكتشاف الكرة وتوجيه الروبوت للتحرك بشكل مستقل. يستخدم النظام راسبيري باي وكاميرا كوحدة معالجة واستحواذ بيانات بصرية، ويطبق طريقة التجزئة اللونية لتدرج اللون، والتشبع، والقيمة لاكتشاف كره التنس الخضراء. بناءً على نتائج الاختبار، يمكن للنظام اكتشاف الكرة بدقة على مسافة تتراوح بين 50 إلى 250 سم بدقة 93.33٪ ولا توجد أخطاء سلبية كاذبة. إضافة إلى ذلك، أظهر النظام مقاومة للتغيرات في الإضاءة بمعدل نجاح 100٪ في ظروف الإضاءة الساطعة (390 لوكس)، و 90٪ في الإضاءة المتوسطة (200 لوكس)، و 70٪ في الإضاءة الخافتة (16 لوكس). متوسط وقت استجابة النظام هو 83.1 مللي ثانية، مما يشير إلى أن النظام قادر على العمل في الوقت الفعلي. تشير هذه النتائج إلى أن نهج التجزئة اللونية لتدرج اللون، والتشبع، والقيمة يمكن استخدامه بفعالية للتنقل الذاتي للروبوت القائم على الكاميرا في البيئات الداخلية مع اختلاف الإضاءة والمسافة.

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Perkembangan teknologi di bidang robotika mengalami percepatan yang sangat pesat dalam beberapa dekade terakhir, membawa pengaruh besar terhadap berbagai sektor kehidupan manusia. Salah satu sektor yang turut merasakan dampak dari kemajuan ini adalah dunia olahraga. Inovasi dalam bidang robotika tidak hanya terbatas pada sektor industri dan layanan, tetapi juga merambah ke ranah hiburan dan edukasi, seperti pada aplikasi *robot soccer*. *Robot soccer* merupakan salah satu implementasi teknologi robotika yang tidak hanya memberikan nilai hiburan semata, tetapi juga menjadi wahana penelitian dan pengembangan dalam bidang kecerdasan buatan. Melalui *robot soccer*, para peneliti dan pengembang dapat menguji serta menyempurnakan algoritma-algoritma kompleks, seperti algoritma navigasi otonom, sistem pengambilan keputusan secara *real-time*, serta strategi koordinasi antar robot dalam sebuah tim. Dari berbagai komponen yang terlibat dalam sistem robot soccer, navigasi otonom memegang peranan penting sekaligus menjadi tantangan tersendiri. Hal ini dikarenakan robot dituntut untuk mampu bergerak secara independen di area permainan, menyesuaikan arah dan kecepatan sesuai kondisi di lapangan, menghindari berbagai jenis rintangan, mengenali dan mendeteksi keberadaan bola dengan akurat, serta mampu berinteraksi dan bekerja sama dengan robot lain secara efektif dan efisien (Yinka-Banjo et al., 2022).

Di Indonesia sendiri, perkembangan dalam bidang robotika semakin mendapatkan perhatian dan dukungan, salah satunya melalui penyelenggaraan berbagai kompetisi seperti Kontes Robot Indonesia (KRI). Dalam kompetisi ini, terdapat beberapa divisi, salah satunya adalah Kontes Robot Sepak Bola Indonesia Beroda (KRSBI-B) yang bertujuan untuk mendorong peserta dalam merancang robot yang mampu beroperasi secara otonom tanpa intervensi manusia (Edy Surya Prabowo et al., 2022). Meski demikian, beberapa kompetisi robot sepak bola lainnya, seperti Technocorner yang diselenggarakan oleh Universitas Gadjah Mada, masih mengandalkan sistem kendali manual berbasis *remote control*. Pendekatan ini memungkinkan operator untuk mengarahkan robot secara langsung, namun di sisi lain, sistem seperti ini memiliki sejumlah keterbatasan, antara lain ketergantungan pada kecepatan respon manusia, dan potensi terjadinya kesalahan dalam pengoperasian. Sebaliknya, penggunaan sistem navigasi otonom mampu memberikan sejumlah keunggulan seperti efisiensi yang lebih tinggi, konsistensi dalam pergerakan, dan kemampuan untuk mengambil keputusan secara mandiri tanpa bantuan operator (Nirmala & Hidayati, 2024).

Salah satu landasan filosofis pengembangan teknologi navigasi otonom dapat ditemukan pada QS. Al-Baqarah ayat 31:

وَعَلَّمَ آدَمَ الْأَسْمَاءَ كُلَّهَا ثُمَّ عَرَضَهُمْ عَلَى الْمَلَائِكَةِ فَقَالَ أَنْبِئُونِي بِأَسْمَاءِ هَؤُلَاءِ إِنْ كُنْتُمْ صَادِقِينَ

“Dia mengajarkan kepada Adam nama-nama (benda) seluruhnya, kemudian Dia memperlihatkankannya kepada para malaikat, seraya berfirman, “Sebutkan kepada-Ku nama-nama (benda) ini jika kamu benar!” (QS. Al-Baqarah:31).

Berdasarkan tafsir Kementerian Agama RI, ayat ini menunjukkan salah satu sisi keutamaan manusia, yaitu kemampuan untuk mengenali, memahami, dan menamai benda-benda serta memanfaatkannya dalam kehidupan (Kementerian Agama Republik Indonesia, n.d.). Kemampuan ini mencerminkan potensi manusia dalam mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi yang dapat menjadikan bumi lebih layak huni dan produktif.

Dalam konteks teknologi modern, ayat ini mengisyaratkan pentingnya pengetahuan sebagai dasar dari penciptaan dan inovasi. Kemampuan untuk memahami lingkungan sebagaimana Adam diajarkan nama-nama benda adalah inti dari sistem navigasi otonom. Sistem ini dirancang agar robot dapat mengenali dan menafsirkan objek di sekitarnya, kemudian mengambil keputusan berdasarkan pemahaman tersebut.

Di lingkungan Program Studi Teknik Informatika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, pengembangan teknologi robotika terus menunjukkan kemajuan yang positif, salah satunya melalui keberadaan komunitas ONTAKI (Otomasi dan Robotika UIN Maliki) yang telah berdiri sejak tahun 2009. Komunitas ini menjadi wadah bagi mahasiswa yang memiliki minat dan ketertarikan di bidang otomasi dan robotika untuk menyalurkan ide-ide kreatif dan inovatif mereka. Berbagai jenis robot telah berhasil dikembangkan oleh komunitas ini. Tidak hanya sebatas pengembangan internal, ONTAKI juga aktif berpartisipasi dalam berbagai ajang kompetisi robotika baik di tingkat nasional maupun internasional, yang menunjukkan kualitas dan kapabilitas mahasiswa dalam bersaing secara global di bidang teknologi robotika.

Meskipun komunitas ini memiliki tingkat aktivitas dan produktivitas yang tinggi, realitasnya masih terdapat keterbatasan dalam hal jumlah mahasiswa yang memilih untuk melakukan penelitian di bidang robotika sebagai topik skripsi. Kondisi ini menunjukkan adanya potensi besar yang belum sepenuhnya dimanfaatkan. Situasi ini membuka peluang yang luas bagi pengembangan lebih lanjut, baik dalam hal penelitian, eksperimen, maupun inovasi di bidang robotika, termasuk eksplorasi terhadap sistem navigasi otonom yang kini menjadi salah satu topik penting dalam pengembangan robot cerdas.

Navigasi otonom pada *robot soccer* memanfaatkan berbagai pendekatan dalam bidang *computer vision*, yang memungkinkan robot untuk memahami lingkungan sekitar melalui analisis data visual. *Computer vision* memberikan kemampuan kepada robot untuk mengenali objek, melacak pergerakan, dan membuat keputusan berdasarkan data visual secara *real-time* (Masril & Caniago, 2023). Salah satu pendekatan yang sering digunakan adalah segmentasi warna *HSV*, di mana objek seperti bola, gawang, dan robot lawan dapat dikenali berdasarkan karakteristik warnanya. Namun, teknik ini menghadapi tantangan seperti sensitivitas terhadap perubahan pencahayaan dan kemiripan warna antar objek.

Sebelumnya, segmentasi warna telah dilakukan menggunakan ruang warna *RGB*, yang menghasilkan akurasi di atas 80% untuk warna hijau dan coklat, namun hanya mencapai kurang dari 60% untuk objek berwarna gelap (Heryanto & Gunadi, 2020). Perbedaan utama antara ruang warna *RGB* dan *HSV* adalah stabilitas *HSV* terhadap variasi pencahayaan, sehingga ruang warna ini lebih cocok untuk navigasi otonom di lingkungan yang dinamis. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk

mengembangkan dan mengevaluasi algoritma navigasi otonom berbasis kamera yang memanfaatkan segmentasi warna *HSV* dengan tingkat adaptasi terhadap variasi kondisi lapangan.

Di samping penggunaan metode segmentasi warna berbasis *HSV*, berbagai pendekatan lain juga telah dikembangkan dan diimplementasikan dalam sistem navigasi *robot soccer*, seperti teknik berbasis *deep learning* dan model deteksi yang mengandalkan fitur-fitur visual tertentu. Pendekatan *deep learning*, khususnya menggunakan arsitektur *convolutional neural networks (CNN)*, menawarkan kemampuan deteksi objek yang sangat akurat serta adaptasi yang lebih baik terhadap variasi bentuk dan kondisi lingkungan. Selain itu, metode berbasis fitur, seperti *SIFT (Scale-Invariant Feature Transform)* atau *HOG (Histogram of Oriented Gradients)*, juga banyak digunakan untuk mengenali pola visual dari objek-objek tertentu yang menjadi target navigasi.

Meskipun metode lain memiliki kelebihan masing-masing, segmentasi warna *HSV* masih menjadi salah satu pilihan utama dalam banyak sistem navigasi robotik, terutama untuk robot yang menggunakan kamera sebagai input visual. Hal ini disebabkan oleh keunggulan utamanya dalam hal efisiensi komputasi. Metode ini relatif ringan dan tidak membutuhkan sumber daya pemrosesan yang besar, sehingga sangat cocok diterapkan pada platform perangkat keras dengan daya terbatas, seperti *Raspberry Pi* (Htet et al., 2020).

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang bermakna bagi kemajuan bidang robotika, khususnya di lingkungan Program Studi Teknik Informatika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang. Tidak hanya bertujuan untuk

mengembangkan aspek teknis dari sistem navigasi otonom, tetapi juga dapat mendorong atmosfer akademik yang lebih aktif dan produktif dalam ranah penelitian robotika. Dengan adanya karya ilmiah ini, diharapkan mahasiswa lain akan terdorong untuk lebih berani menjajaki topik-topik penelitian yang berkaitan dengan robotika, baik dari sisi hardware, pemrograman, maupun algoritma berbasis computer vision dan kecerdasan buatan. Hal ini penting mengingat robotika merupakan salah satu bidang yang terus berkembang secara global dan memiliki prospek aplikasi yang luas di masa depan.

Lebih lanjut, hasil dari penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata terhadap pengembangan sistem robot soccer yang lebih mandiri dan cerdas. Sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini memiliki potensi untuk diaplikasikan dalam berbagai kebutuhan, tidak hanya terbatas pada kompetisi robotika seperti Kontes Robot Indonesia (KRI), tetapi juga pada skenario pembelajaran, eksperimen laboratorium, atau bahkan pengembangan teknologi edukatif interaktif. Dengan pendekatan yang sederhana namun efektif, penelitian ini berupaya menyediakan dasar yang kuat bagi pengembangan sistem robotika yang lebih kompleks dan adaptif di masa mendatang.

## **1.2 Pernyataan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, maka pernyataan masalah dalam penelitian ini adalah sistem navigasi *robot soccer* berbasis *remote control* yang masih bergantung pada kecepatan respon manusia dan potensi kesalahan pengoperasian.

### 1.3 Batasan Masalah

1. Penelitian dilakukan dalam lingkungan yang terkendali, yaitu di dalam arena tertutup tanpa gangguan eksternal.
2. Penelitian dilakukan menggunakan bola tenis berwarna hijau dengan diameter 60 mm.
3. Penelitian dilakukan dalam arena yang berukuran 300 cm x 175 cm, dengan dasar berwarna putih dan tembok yang terbuat dari kayu triplek.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem navigasi otonom *robot soccer* untuk menghilangkan ketergantungan navigasi pada kecepatan respon manusia dan meminimalkan kesalahan pengoperasian.

### 1.5 Manfaat Penelitian

1. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan di bidang robotika, khususnya pada algoritma navigasi otonom berbasis segmentasi warna. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi referensi untuk penelitian-penelitian selanjutnya.
2. Meningkatkan kemampuan *robot soccer* dalam mendeteksi dan mengenali objek secara akurat, sehingga dapat diaplikasikan pada berbagai kompetisi robotika.
3. Mendukung pengembangan robotika di lingkungan Teknik Informatika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang dan memotivasi mahasiswa untuk lebih aktif melakukan penelitian di bidang ini

## **BAB II**

### **STUDI PUSTAKA**

#### **2.1 Penelitian Terkait**

Saputra (2023) menggabungkan algoritma *SIFT* dan *Kalman Filter* untuk mendeteksi objek bola. *SIFT* digunakan untuk mendeskripsikan keypoint dan membandingkan kemiripan bola, sedangkan *Kalman Filter* untuk memprediksi arah pergerakan bola dari frame sebelumnya. Hasil pengujian menunjukkan sistem dapat mendeteksi bola hingga jarak 190 cm dengan rata-rata error prediksi 1.06 untuk koordinat x dan 7.34 untuk y. Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan adalah metode segmentasi warna yang digunakan, yaitu menggunakan ruang warna *HSV* (*Hue saturation value*) tanpa algoritma *SIFT*.

Putra et al (2021). melakukan penelitian tentang sistem deteksi dan pelacakan bola dengan metode *Hough circle Transform* menggunakan kamera *Omnidirectional* pada robot sepak bola beroda. Penelitian mereka mengkombinasikan deteksi warna menggunakan konversi *RGB* ke *HSV* dan metode *Hough circle Transform* untuk mendeteksi bentuk lingkaran bola. Hasil pengujian menunjukkan sistem dapat mendeteksi bola dengan error rata-rata 0,14% pada koordinat deteksi, akurasi dan presisi 100% untuk deteksi dari berbagai arah, serta mampu mendeteksi bola hingga 75% tertutup oleh robot lain. Sistem juga berhasil mendeteksi bola pada berbagai kondisi pencahayaan mulai dari 50 Lux hingga 179 Lux. Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan adalah tidak menggunakan

kamera *Omnidirectional* melainkan *Raspberry Pi Camera* dengan fokus pada segmentasi warna *HSV*.

Septiyanda et al (2022). melakukan penelitian tentang Sistem Pendeteksi Target Berdasarkan Warna Pada *Autonomous Robot Gun (ARO-GUN)* menggunakan metode pengolahan citra digital. Penelitian mereka menggunakan *webcam* beresolusi 1080p yang terhubung dengan *Raspberry Pi 3b+* untuk mendeteksi target berdasarkan warna. Mereka mengatasi masalah variasi pencahayaan dengan mengkonversi citra *RGB* ke *HSV* dan menerapkan proses morfologi (erosi dan dilatasi) untuk mengurangi *noise*. Hasil eksperimen menunjukkan sistem memiliki akurasi deteksi target sebesar 100% pada rentang intensitas cahaya 750-1000 lux, dengan kemampuan *tracking* yang akurat untuk pergerakan target ke berbagai arah (kanan, kiri, atas, dan bawah). Para peneliti menyimpulkan bahwa sistem pendeteksian berbasis warna menggunakan *HSV* memberikan hasil yang akurat dan presisi sehingga dapat meminimalisir kesalahan penembakan pada aplikasi militer. Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan adalah objek yang dideteksi dan tujuan aplikasinya, yaitu menggunakan bola tenis untuk navigasi *robot soccer*.

Kang et al. (2021) mengusulkan algoritma segmentasi warna berbasis *HSV* untuk mendeteksi dan melokalisasi objek secara otomatis dalam lingkungan industri. Penelitian ini menunjukkan bahwa ruang warna *HSV* lebih stabil dibandingkan *RGB* dalam kondisi pencahayaan yang berubah-ubah, sehingga efektif untuk mendeteksi objek dalam berbagai kondisi lingkungan. Namun, penelitian ini hanya berfokus pada deteksi dan lokalisasi objek tanpa

mempertimbangkan aspek navigasi robot setelah objek terdeteksi. Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan adalah penerapan segmentasi warna *HSV* dalam sistem navigasi otonom *robot soccer*, di mana setelah objek (bola) terdeteksi, robot akan bergerak secara mandiri menuju target dengan strategi navigasi tertentu.

Setyawan et al (2022). menggunakan metode *Particle Filter Localization (PFL)* untuk menentukan posisi robot sepak bola beroda secara akurat. Proses ini didukung oleh Omni-vision dan segmentasi warna *HSV* untuk mendeteksi landmark seperti garis lapangan dan bola. *PFL* digunakan untuk memperkirakan posisi robot berdasarkan distribusi partikel dan data visual dari kamera, dengan tingkat error rata-rata sebesar 15%. Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan terletak pada pendekatan navigasinya, di mana penelitian ini fokus pada navigasi otonom berbasis segmentasi warna *HSV* tanpa menggunakan algoritma *PFL*. Rangkuman dari penelitian-penelitian terkait dirangkum dalam tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Penelitian Terkait

| No | Nama Penelitian           | Judul Penelitian                                                                                                                                     | Metode yang digunakan           | Perbedaan                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | (Saputra, 2023)           | Implementasi Algoritma <i>SIFT</i> (Scale-Invariant Feature Transform) Dan Algoritma <i>Kalman Filter</i> Dalam Mendeteksi Objek Bola                | <i>SIFT &amp; Kalman Filter</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Menggunakan algoritma <i>SIFT</i> dan <i>Kalman Filter</i></li> <li>- Berfokus pada deteksi dan pelacakan objek sedangkan penelitian yang akan dilakukan befokus pada deteksi objek dan navigasi otonom</li> </ul> |
| 2  | (Putra & Puriyanto, 2022) | Sistem Deteksi dan Pelacakan Bola dengan Metode <i>Hough circle Transform</i> Menggunakan Kamera <i>Omnidirectional</i> pada Robot Sepak Bola Beroda | <i>Hough Circle Transform</i>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Menggunakan metode <i>Hough circle Transform</i> dan <i>color filtering</i></li> </ul>                                                                                                                             |

| No | Nama Penelitian           | Judul Penelitian                                                                                      | Metode yang digunakan                                           | Perbedaan                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                           |                                                                                                       |                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Menggunakan kamera <i>Omnidirectional</i></li> <li>- Berfokus pada deteksi dan pelacakan objek, sedangkan penelitian yang akan dilakukan berfokus pada deteksi objek dan navigasi otonom.</li> </ul>                                                                                                                                                       |
| 3  | (Septiyanda et al., 2022) | Sistem Pendeteksi Target Berdasarkan Warna Pada <i>Autonomous Robot Gun (ARO-GUN)</i>                 | Segmentasi Warna <i>HSV</i>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Berfokus pada deteksi dan penguncian target otomatis pada sistem <i>Autonomous Robot Gun</i>, sedangkan penelitian yang akan dilakukan berfokus pada deteksi objek dan navigasi otonom <i>robot soccer</i>.</li> <li>- Objek yang digunakan adalah target berbentuk lingkaran hijau, sedangkan objek yang digunakan peneliti adalah bola tenis.</li> </ul> |
| 4  | (Kang et al., 2021)       | <i>HSV Color-Space-Based Automated Object Localization for Robot Grasping without Prior Knowledge</i> | Segmentasi Warna <i>HSV &amp; automated object localization</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Menggunakan metode Segmentasi Warna <i>HSV &amp; automated object localization</i>, sedangkan peneliti menggunakan metode segmentasi warna <i>HSV</i> dengan</li> </ul>                                                                                                                                                                                    |

| No | Nama Penelitian         | Judul Penelitian                                                                 | Metode yang digunakan                                                            | Perbedaan                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                         |                                                                                  |                                                                                  | konfigurasi manual.<br>- Diaplikasikan pada robot industri, sedang penelitian yang akan dilakukan diaplikasikan pada <i>robot soccer</i> .                                                                                                                                                      |
| 5  | (Setyawan et al., 2022) | Navigasi Robot Sepak Bola Beroda Menggunakan <i>Particle Filter Localization</i> | Segmentasi Warna <i>HSV</i> , <i>HSL</i> , & <i>Particle Filter Localization</i> | - Menggunakan metode segmentasi warna <i>HSV</i> , <i>HSL</i> & <i>Particle Filter Localization</i> , sedangkan peneliti menggunakan metode segmentasi warna <i>HSV</i> saja<br>- Mendeteksi lapangan, bola, garis, dan kontur <i>landmark</i> , sedangkan peneliti berfokus pada deteksi bola. |

## 2.2 Robot Soccer

Robot dapat didefinisikan sebagai suatu perangkat mekanis yang dirancang untuk menjalankan berbagai macam tugas secara otomatis, baik melalui pemrograman dasar maupun dengan dukungan sistem kecerdasan buatan untuk menjalankan fungsi-fungsi yang lebih kompleks dan adaptif. Kemampuan robot untuk bekerja tanpa campur tangan manusia secara langsung menjadikannya alat yang sangat potensial dalam berbagai bidang, mulai dari industri manufaktur hingga eksplorasi ruang angkasa. Dalam ranah aplikasi yang lebih spesifik, terdapat

konsep *robot soccer*, yaitu sistem robotika yang dirancang untuk menirukan jalannya pertandingan sepak bola, di mana robot-robot yang terlibat memiliki kemampuan untuk mendeteksi bola, menggiringnya, serta menembakkan bola ke arah gawang lawan secara mandiri (Amri et al., 2021).

*Robot soccer* tidak hanya menjadi ajang kompetisi teknologi, tetapi juga telah berkembang menjadi platform penelitian multidisipliner yang menggabungkan berbagai cabang ilmu pengetahuan dan teknik. Bidang-bidang seperti *artificial intelligence* (kecerdasan buatan), *computer vision* (pengolahan citra digital), sistem kontrol otomatis, serta sistem tertanam (*embedded systems*), semuanya terlibat dalam perancangan dan pengembangan *robot soccer* (Nurrohmah et al., 2020). Dalam implementasinya, robot-robot yang digunakan dapat diatur untuk bermain secara otonom, mengandalkan sensor dan algoritma untuk memahami lingkungan dan membuat keputusan atau dikendalikan secara manual melalui sistem *remote control*. Untuk robot otonom, tantangan yang dihadapi menjadi jauh lebih kompleks, karena mereka harus mampu melakukan deteksi objek secara akurat, menghindari berbagai rintangan di lapangan, menjalin koordinasi dengan robot lain dalam satu tim, serta menyusun strategi permainan dan mengambil keputusan secara cepat dalam waktu nyata. Kompleksitas inilah yang membuat *robot soccer* menjadi medan yang ideal untuk mengeksplorasi berbagai konsep teknologi modern dalam konteks yang menantang sekaligus aplikatif.

### 2.3 Navigasi Otonom

Navigasi otonom merupakan kemampuan penting dalam sistem robotik yang memungkinkan sebuah robot untuk bergerak dan mengambil keputusan secara mandiri tanpa adanya intervensi langsung dari manusia. Kemampuan ini dicapai melalui integrasi antara berbagai jenis sensor dan algoritma cerdas yang dirancang untuk mengenali lingkungan sekitar, menyusun rencana lintasan, serta menentukan tindakan atau respons yang tepat secara waktu nyata atau *real-time* (Nirmala & Hidayati, 2024). Dalam konteks aplikasi pada *robot soccer*, navigasi otonom menjadi sangat krusial karena menentukan sejauh mana robot dapat menjalankan perannya dalam permainan secara efektif. Dengan sistem navigasi yang canggih, robot mampu mendeteksi dan memperkirakan posisi bola di lapangan, mengenali keberadaan dan posisi rintangan seperti tembok arena atau robot lawan, menjalin koordinasi dengan rekan setim, serta menyusun dan menjalankan strategi permainan secara dinamis menyesuaikan kondisi lapangan yang berubah-ubah.

Untuk dapat melakukan navigasi otonom secara optimal, diperlukan serangkaian proses bertahap yang mencakup tiga komponen utama: persepsi lingkungan, pengambilan keputusan, dan pengendalian gerak. Tahapan pertama, yaitu persepsi lingkungan, dilakukan dengan memanfaatkan data sensor, terutama sensor visual seperti kamera, yang berfungsi menangkap citra lapangan secara terus-menerus. Citra ini kemudian dianalisis untuk mendeteksi elemen-elemen penting dalam permainan, seperti bola, garis gawang, dan keberadaan robot lain. Proses ini sering melibatkan penerapan teknik *computer vision*, yang memungkinkan sistem mengenali objek berdasarkan bentuk, warna, atau posisi

relatif di dalam bidang pandang kamera. Data yang diperoleh dari hasil persepsi visual ini menjadi dasar bagi robot dalam memahami kondisi sekitar dan menyesuaikan strategi pergerakannya, sehingga ia dapat bergerak secara terarah dan responsif terhadap dinamika permainan di lapangan.

## **2.4 *Computer Vision* Dalam Robotika**

*Computer vision* merupakan salah satu cabang dari kecerdasan buatan yang berfokus pada kemampuan sistem komputer atau perangkat robotik untuk menangkap, memproses, dan memahami informasi visual dari lingkungan sekitarnya (Dipura et al., 2024). Teknologi ini memungkinkan mesin untuk "melihat" seperti halnya manusia, namun dengan kemampuan pemrosesan yang sistematis dan cepat. Dalam konteks robotika modern, *computer vision* memiliki peran yang sangat vital, terutama dalam mendukung proses navigasi mandiri, deteksi serta identifikasi objek, pelacakan pergerakan, hingga pengambilan keputusan secara visual. Keunggulan dari teknologi ini adalah kemampuannya dalam memberikan fleksibilitas operasional bagi robot agar dapat berinteraksi dengan lingkungannya secara adaptif dan responsif. Teknologi ini telah banyak diterapkan dalam berbagai bidang, seperti sistem produksi otomatis di industri manufaktur, kendaraan otonom yang mampu mengemudi tanpa sopir, hingga robot layanan yang digunakan di bidang kesehatan dan perhotelan (Maric, 2012).

Dalam implementasinya di sistem robotika, *computer vision* bekerja dengan memanfaatkan kamera atau sensor visual lainnya untuk menangkap citra lingkungan sekitar. Data visual tersebut kemudian diproses menggunakan berbagai algoritma pengolahan citra digital, seperti segmentasi warna, pelacakan objek, dan

deteksi tepi, guna mengekstraksi informasi penting dari gambar yang diperoleh. Salah satu metode yang umum digunakan adalah segmentasi warna, yang berguna untuk membedakan objek berdasarkan karakteristik warna tertentu—misalnya membedakan bola dari latar belakang berdasarkan warnanya. Selain itu, algoritma pelacakan objek memungkinkan sistem untuk memantau posisi dan pergerakan suatu objek dari waktu ke waktu, sedangkan analisis gerakan membantu dalam mengenali arah dan kecepatan pergerakan objek. Dengan semua informasi tersebut, robot kemudian dapat membuat keputusan strategis yang disesuaikan dengan kondisi lapangan, seperti menghindari rintangan, mengikuti arah bola, atau berinteraksi secara dinamis dengan objek maupun robot lain di sekitarnya. Pendekatan berbasis visual ini menjadikan robot lebih mandiri dan cerdas dalam menjalankan tugasnya.

## **2.5 Segmentasi Warna Berbasis *HSV***

Segmentasi warna berbasis *HSV* merupakan salah satu teknik yang banyak digunakan dalam bidang *computer vision* untuk tujuan mendeteksi dan membedakan objek berdasarkan ciri khas warnanya (Panggabean et al., 2020). Metode ini memanfaatkan ruang warna *HSV*, yaitu *Hue* (warna dasar), *Saturation* (tingkat kejenuhan warna), dan *Value* (tingkat kecerahan), untuk mengidentifikasi objek tertentu dalam sebuah citra digital. Keunggulan utama ruang warna *HSV* dibandingkan dengan ruang warna *RGB* (*Red*, *Green*, *Blue*) terletak pada kemampuannya yang lebih tahan terhadap perubahan pencahayaan (Hamzah & Wahyusari, 2023). Dalam ruang warna *RGB*, intensitas cahaya dapat sangat memengaruhi nilai warna, sehingga membuat deteksi objek menjadi tidak

konsisten. Sebaliknya, ruang *HSV* memisahkan informasi warna murni dari tingkat kecerahan, sehingga menjadikan proses segmentasi lebih stabil dan akurat, terutama ketika objek yang dideteksi memiliki warna yang khas, seperti bola berwarna hijau dalam sistem navigasi *robot soccer*.

Dalam implementasinya, proses segmentasi warna berbasis *HSV* diawali dengan langkah konversi citra dari format *RGB* ke *HSV*. Langkah ini penting untuk mempermudah proses identifikasi warna yang ditargetkan. Setelah konversi selesai, dilakukan proses *thresholding* atau pembatasan nilai, yaitu dengan menetapkan rentang nilai *Hue*, *Saturation*, dan *Value* tertentu yang sesuai dengan warna objek yang ingin dideteksi. Piksel-piksel yang berada dalam rentang tersebut akan dipertahankan, sedangkan piksel lainnya akan dihilangkan, menghasilkan citra biner yang hanya menampilkan objek target. Namun, hasil segmentasi awal ini biasanya masih mengandung *noise* atau gangguan berupa titik-titik kecil yang bukan bagian dari objek utama. Oleh karena itu, dilakukan operasi morfologi seperti *erosion* (pengikisan tepi objek untuk menghilangkan noise kecil) dan *dilation* (pelebaran kembali objek agar lebih utuh dan solid). Kombinasi dari kedua operasi ini dapat secara signifikan meningkatkan kualitas hasil segmentasi.

Teknik segmentasi warna *HSV* ini telah banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang robotika, seperti sistem navigasi otonom, pelacakan objek bergerak, serta pengenalan pola visual. Keunggulannya dalam mendeteksi objek secara *real-time* dengan akurasi yang tinggi menjadikannya pilihan ideal bagi sistem yang berjalan pada perangkat dengan keterbatasan daya dan sumber daya komputasi, seperti *Raspberry Pi* (Htet et al., 2020). Dengan demikian, teknik ini

tidak hanya efisien secara teknis, tetapi juga praktis untuk diterapkan dalam sistem robotik skala menengah hingga kecil.

## 2.6 Raspberry Pi

*Raspberry Pi* merupakan elemen sentral dalam arsitektur sistem navigasi otonom yang berbasis *computer vision*. Perangkat ini berperan sebagai unit pemrosesan utama (*main processing unit*) yang mengatur dan mengoordinasikan seluruh komponen dalam sistem robot. Dalam skema kerja robot, *Raspberry Pi* bertugas untuk menerima input visual dari kamera yang terhubung, memproses citra yang diperoleh, melakukan segmentasi warna berbasis *HSV* dan kemudian mengambil keputusan berdasarkan hasil analisis tersebut. Selanjutnya, *Raspberry Pi* akan meneruskan instruksi dalam bentuk sinyal kendali ke *motor driver*, yang akan mengatur arah dan kecepatan pergerakan robot sesuai perintah yang diberikan oleh sistem.



Gambar 2. 1 Raspberry Pi

Salah satu keunggulan utama *Raspberry Pi* adalah kemampuannya dalam menangani pemrosesan citra secara *real-time* dengan konsumsi daya yang relatif rendah. Hal ini sangat penting dalam aplikasi robotik portabel, di mana efisiensi daya menjadi pertimbangan utama. Selain itu, *Raspberry Pi* dikenal karena tingkat

fleksibilitas dan skalabilitasnya yang tinggi. Perangkat ini mendukung koneksi dengan berbagai jenis sensor dan modul tambahan, seperti sensor ultrasonik, sensor jarak, modul komunikasi nirkabel, hingga perangkat aktuator lainnya. Dukungan terhadap *GPIO (General Purpose Input/Output)* serta kompatibilitas dengan sistem operasi berbasis *Linux* memungkinkan pengguna untuk dengan mudah menyesuaikan dan memperluas fungsionalitas sistem sesuai dengan kebutuhan spesifik proyek yang sedang dikembangkan (Rohadi et al., 2018).

Dengan kombinasi antara kapasitas pemrosesan yang mumpuni, harga yang terjangkau, dan komunitas pengembang yang luas, *Raspberry Pi* menjadi solusi ideal untuk proyek-proyek robotika yang mengandalkan *computer vision*. Perangkat ini mampu menjalankan algoritma segmentasi warna *HSV* dengan cukup efisien, bahkan pada resolusi citra dan frekuensi frame yang cukup tinggi. Oleh karena itu, *Raspberry Pi* sering dijadikan pilihan utama dalam pengembangan sistem robotik skala kecil hingga menengah, khususnya yang membutuhkan respons cepat, ketepatan navigasi, dan adaptasi terhadap lingkungan sekitar secara visual.

## BAB III

### METODE PENELITIAN

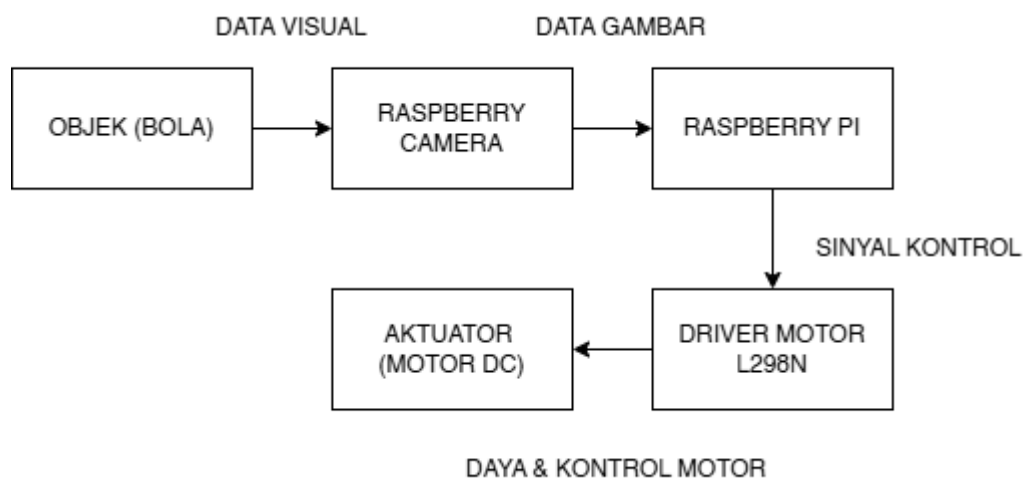
#### 3.1 Desain Sistem

Proses kerja sistem navigasi otonom ini diawali dengan identifikasi objek utama yang menjadi target deteksi, yaitu sebuah bola. Deteksi bola merupakan fokus utama karena bola berfungsi sebagai titik referensi bagi robot untuk menentukan arah pergerakan. Untuk mendapatkan informasi visual dari lingkungan sekitarnya, sistem menggunakan *Raspberry Pi Camera* yang terhubung langsung dengan *Raspberry Pi* sebagai unit pemrosesan utama. Kamera ini memiliki peran penting dalam menangkap citra atau gambar dari area permainan secara terus-menerus. Gambar yang ditangkap kemudian dikirimkan dalam bentuk data digital ke *Raspberry Pi* untuk dianalisis lebih lanjut.

Setelah citra diterima, *Raspberry Pi* menjalankan proses pengolahan visual menggunakan algoritma segmentasi warna berbasis *HSV*. Tujuannya adalah untuk mengenali dan mendeteksi posisi bola secara tepat di dalam bidang pandang kamera. Dengan memanfaatkan karakteristik warna bola yang telah ditentukan sebelumnya, algoritma ini dapat memisahkan bola dari latar belakang sehingga posisi bola dapat diketahui secara akurat. Informasi posisi ini menjadi dasar bagi sistem dalam merespons lingkungan sekitarnya.

Berdasarkan hasil deteksi tersebut, *Raspberry Pi* kemudian menghasilkan sinyal kendali yang digunakan untuk mengatur pergerakan robot. Sinyal ini dikirimkan ke *driver motor L298N*, sebuah modul pengendali motor yang bertugas

untuk mengatur besarnya arus dan arah putaran dari motor DC yang digunakan untuk menggerakkan robot. *Driver motor* akan menerjemahkan sinyal dari *Raspberry Pi* ke dalam bentuk daya yang sesuai agar motor dapat berputar sesuai instruksi, baik untuk bergerak maju, berbelok, atau berhenti. Selanjutnya, sinyal listrik dari *driver motor* akan diteruskan ke aktuator, yaitu komponen mekanik yang secara langsung menggerakkan roda atau bagian tubuh robot untuk berpindah mendekati bola. Dengan alur kerja yang terkoordinasi ini, sistem memungkinkan robot untuk bergerak secara otonom menuju target tanpa memerlukan kendali manual dari operator. Diagram desain sistem dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Desain Sistem

### 3.2 Akuisisi Data Visual

Dalam sistem navigasi otonom berbasis *computer vision* ini, proses akuisisi data visual dilakukan menggunakan perangkat *Raspberry Pi Camera* yang memiliki spesifikasi resolusi sebesar 640x480 piksel dan mendukung kecepatan tangkapan gambar hingga 30 frame per detik (fps). Kamera ini memainkan peran yang sangat krusial dalam menangkap citra dari lingkungan sekitar robot,

khususnya untuk mendeteksi dan mengenali objek utama, yakni bola yang menjadi titik acuan navigasi. Pemilihan *Raspberry Pi Camera* sebagai sensor visual utama bukan tanpa alasan. Kamera ini dikenal memiliki kinerja yang efisien dalam menangkap dan mentransfer gambar secara *real-time*, serta memiliki tingkat kompatibilitas tinggi dengan *Raspberry Pi* sebagai prosesor utamanya, sehingga integrasinya dalam sistem menjadi lebih stabil dan optimal (Rifandi et al., 2021).

Tahapan awal dari proses akuisisi ini dimulai dengan pengambilan gambar secara langsung dari area permainan, di mana kamera diarahkan ke medan tempat bola berada. Resolusi 640x480 piksel dipilih karena dinilai mampu memberikan keseimbangan ideal antara kejernihan gambar dan kecepatan pemrosesan. Resolusi ini cukup tinggi untuk memungkinkan deteksi objek secara visual yang akurat, namun tidak terlalu besar sehingga masih memungkinkan *Raspberry Pi* untuk memprosesnya dengan cepat tanpa beban komputasi berlebih (Ansyori & Veramasary, 2014).

Selain itu, dengan frame rate sebesar 30 fps, sistem dapat menangkap dan memperbarui citra secara kontinu dalam waktu yang sangat singkat, sekitar 33 milidetik per frame. Hal ini menjadikan aliran data visual yang diperoleh dari kamera bersifat langsung dan berkelanjutan, sehingga objek seperti bola yang bergerak cepat dapat dideteksi dengan presisi tinggi. Kecepatan ini juga memungkinkan sistem untuk merespons perubahan posisi bola atau kondisi lapangan secara dinamis dan tepat waktu (Andrew et al., 2017). Dengan demikian, spesifikasi kamera yang digunakan sudah sangat mendukung kebutuhan sistem

untuk bekerja dalam mode *real-time* dan menghasilkan performa navigasi robot yang adaptif dan responsif terhadap perubahan lingkungan.

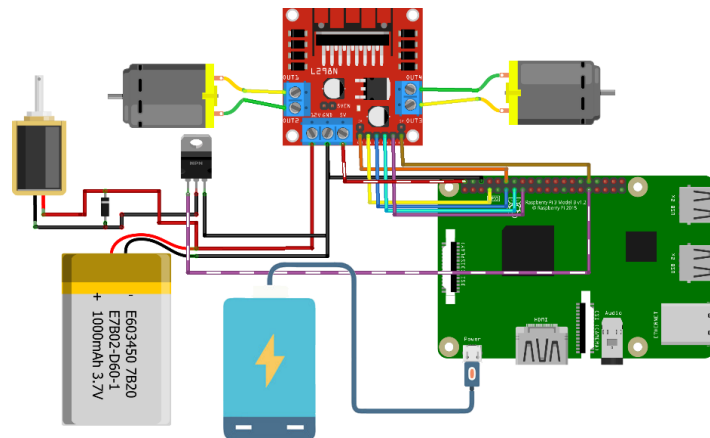
### 3.3 Desain Perangkat Keras

Rancangan perangkat keras (*hardware*) dari sistem navigasi otonom ini terdiri dari beberapa komponen utama yang saling terintegrasi untuk membentuk sistem robotik yang fungsional dan efisien. Komponen-komponen tersebut meliputi: *Raspberry Pi* sebagai otak sistem, *Raspberry Pi Camera* sebagai sensor visual, *driver motor L298N* sebagai pengendali motor, dua buah motor DC N20 dengan kecepatan 70 RPM untuk menggerakkan robot, *solenoid* sebagai mekanisme penendang bola (*kicker*), baterai LiPo 3 sel sebagai sumber daya utama untuk *motor* dan *solenoid*, serta *powerbank* sebagai sumber daya untuk *Raspberry Pi*. Semua komponen ini dirakit dalam sebuah rangka robot berbahan akrilik yang dirancang sedemikian rupa untuk menjaga stabilitas dan manuverabilitas selama robot bergerak di lapangan.

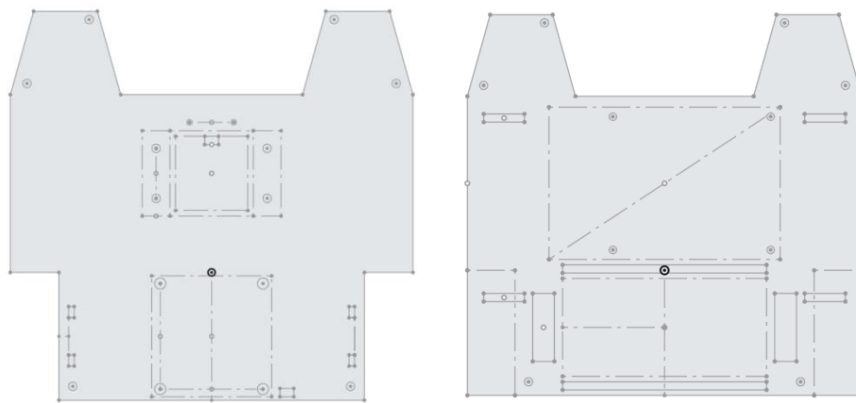
Peran utama *Raspberry Pi* dalam sistem ini adalah sebagai unit pemrosesan pusat (*central processing unit*) yang menjalankan logika pengambilan keputusan, pemrosesan citra dari kamera, serta pengaturan pergerakan motor. Untuk mengontrol dua *motor DC* dan *solenoid*, *Raspberry Pi* dihubungkan ke *driver motor L298N* menggunakan pin *General Purpose Input Output (GPIO)* dengan konfigurasi sebagai berikut:

1.  $GPIO18 \rightarrow ENA$
2.  $GPIO04 \rightarrow IN1$
3.  $GPIO17 \rightarrow IN2$

4. *GPIO27* → *IN3*
5. *GPIO22* → *IN4*
6. *GPIO12* → *ENB*
7. *GPIO6* → *Base Transistor*



Gambar 3. 2 Rangkaian Komponen Elektronik



Gambar 3. 3 Desain Chassis

*Driver motor L298N* berfungsi sebagai jembatan antara *Raspberry Pi* dan *motor DC*. Komponen ini mengatur arus dan tegangan yang dialirkan ke motor, sehingga kecepatan dan arah putaran motor dapat dikendalikan secara presisi sesuai instruksi yang dikirimkan oleh *Raspberry Pi*. Di samping itu, *solenoid* berfungsi

sebagai aktuator tambahan untuk melakukan tendangan bola secara otomatis saat robot berada dalam jarak yang cukup dekat dengan bola.

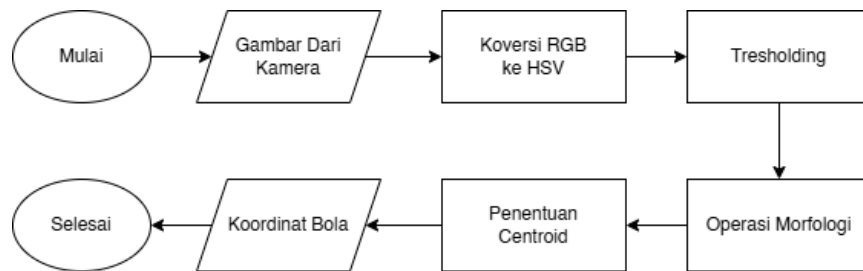
Dari sisi catu daya, sistem menggunakan konfigurasi daya terpisah untuk menjaga kestabilan performa. *Raspberry Pi* mendapat pasokan daya dari *powerbank*, sementara *motor DC* dan *solenoid* disuplai oleh baterai LiPo 3 sel, yang mampu menyediakan arus tinggi sesuai kebutuhan komponen mekanik. Pemisahan sumber daya ini penting untuk mencegah fluktuasi tegangan yang dapat mengganggu kinerja *Raspberry Pi* saat motor menyala.

Koneksi antar komponen elektronik sistem ini dapat dilihat secara lebih rinci pada Diagram Rangkaian Koneksi Sistem Gambar 3.2, sementara desain dari rangka robot ditampilkan dalam Gambar 3.3 yang mendukung kestabilan dan manuverabilitas robot. Implementasi perangkat keras ditunjukkan pada gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Implementasi Perangkat Keras.

### 3.4 Implementasi Segmentasi Warna *HSV*



Gambar 3. 5 Flowchart Segmentasi Warna HSV

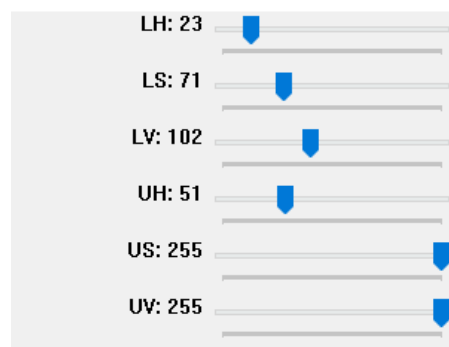
Penerapan segmentasi warna berbasis *HSV* dalam sistem ini ditujukan untuk mendeteksi objek bola yang menjadi fokus utama dalam proses navigasi otonom. Tahapan segmentasi dilakukan dengan memanfaatkan metode *thresholding* sederhana untuk memisahkan warna bola dari latar belakang. Setelah *thresholding*, sistem melanjutkan dengan menerapkan operasi morfologi guna mengurangi gangguan visual atau *noise* yang muncul pada citra hasil segmentasi. Selanjutnya, dilakukan perhitungan titik pusat objek atau *centroid* guna menentukan koordinat posisi bola dalam bidang pandang kamera. Seluruh alur proses segmentasi ini digambarkan secara menyeluruh pada ilustrasi yang ditampilkan dalam Gambar 3.5.

#### 3.4.1 Parameter *HSV*

Penggunaan ruang warna *HSV* (*Hue, Saturation, Value*) dalam penelitian ini dipilih karena memiliki keunggulan dalam hal kestabilan terhadap perubahan intensitas pencahayaan dibandingkan dengan ruang warna *RGB* (*Red, Green, Blue*). *HSV* memisahkan informasi warna (*hue*) dari elemen pencahayaan (*value*), sehingga memungkinkan sistem untuk tetap mengenali objek meskipun kondisi cahaya di sekitar berubah-ubah. Stabilitas ini sangat penting dalam sistem navigasi

otonom yang bergantung pada deteksi visual yang konsisten, terutama dalam lingkungan *indoor* dengan tingkat pencahayaan yang tidak selalu seragam (Khamdi et al., 2017).

Dalam pelaksanaannya, parameter *HSV* pada sistem ini disesuaikan secara manual melalui proses pengamatan dan pengujian terhadap objek yang menjadi target, yaitu bola tenis berwarna hijau. Penyesuaian dilakukan dengan cara mencoba beberapa kombinasi nilai *hue*, *saturation*, dan *value* menggunakan slider (Gambar 3.6), hingga diperoleh rentang nilai yang paling optimal dalam mendeteksi bola secara akurat. Pendekatan manual ini dipilih karena lebih fleksibel dan memungkinkan penyesuaian langsung terhadap kondisi lapangan yang digunakan dalam pengujian. Untuk mendapatkan parameter terbaik, dilakukan beberapa kali percobaan dengan kombinasi rentang nilai *HSV* yang berbeda. Hasilnya disajikan dalam tabel 3.1.



Gambar 3. 6 Slider Parameter

Tabel 3. 1 Uji Coba Kombinasi Parameter *HSV* dan Hasil Deteksi

| No | Hue (H) | Saturation (S) | Value (V) | Hasil Deteksi | Keterangan                     |
|----|---------|----------------|-----------|---------------|--------------------------------|
| 1. | 20–50   | 60–255         | 100–255   | Tidak stabil  | Banyak <i>noise</i> di latar   |
| 2. | 25–55   | 80–255         | 90–255    | Kurang akurat | Bola sebagian tidak terdeteksi |
| 3. | 23–51   | 71–255         | 102–255   | Stabil        | Bola terdeteksi utuh           |

|    |       |        |         |                              |                                   |
|----|-------|--------|---------|------------------------------|-----------------------------------|
| 4. | 30–60 | 90–255 | 120–255 | Over-segmentasi              | Banyak area latar ikut terdeteksi |
| 5. | 21–48 | 65–240 | 95–255  | Stabil namun sensitif cahaya | Terpengaruh pencahayaan rendah    |

Dari percobaan tersebut, kombinasi dengan rentang *Hue* 23–51, *Saturation* 71–255, dan *Value* 102–255 dipilih sebagai parameter final karena memberikan hasil segmentasi yang paling stabil dan akurat terhadap bola tanpa mendeteksi objek lain di latar belakang. Kombinasi ini juga menunjukkan toleransi yang baik terhadap perubahan pencahayaan di lingkungan *indoor*.

### 3.4.2 Metode Segmentasi

Proses segmentasi warna dalam sistem ini dimulai dengan tahapan konversi citra dari ruang warna *RGB* ke ruang warna *HSV*. Konversi ini bertujuan untuk meningkatkan ketahanan sistem terhadap fluktuasi intensitas cahaya yang sering terjadi di lingkungan nyata. Dibandingkan *RGB* yang sensitif terhadap pencahayaan, *HSV* memberikan pemisahan yang lebih jelas antara informasi warna dan tingkat kecerahan, sehingga membuat deteksi objek lebih konsisten meskipun pencahayaan berubah-ubah.

Setelah citra berhasil dikonversi ke format *HSV*, sistem kemudian menerapkan teknik *thresholding*, yaitu metode penyaringan nilai piksel untuk mengekstraksi area gambar yang sesuai dengan rentang *HSV* tertentu yang telah ditentukan sebelumnya. Piksel yang berada dalam rentang tersebut dianggap sebagai bagian dari objek (dalam hal ini, bola), sementara piksel di luar rentang

akan diabaikan. Hasil dari tahap ini berupa citra biner, di mana objek target tampil dalam warna putih, sedangkan latar belakang dalam warna hitam.

Namun, hasil *thresholding* sering kali masih mengandung *noise*, yaitu piksel acak yang dapat mengganggu proses deteksi. Oleh karena itu, tahap selanjutnya adalah penerapan operasi morfologi, seperti erosi dan dilation, yang bertujuan untuk membersihkan citra dari gangguan visual tersebut. Kombinasi dari langkah-langkah ini memungkinkan sistem menghasilkan hasil segmentasi yang lebih bersih, akurat, dan siap digunakan dalam tahap deteksi lanjutan seperti penentuan posisi atau arah pergerakan robot.

#### 3.4.2.1 Konversi Warna

Gambar yang diambil dari *Raspberry Pi Camera* dikonversi dari ruang warna *RGB* ke *HSV*. Konversi ini bertujuan untuk memudahkan pemisahan objek berdasarkan warna karena *HSV* lebih stabil terhadap perubahan pencahayaan (Khamdi et al., 2017).

$$C_{max} = \max(R, G, B), C_{min} = \min(R, G, B) \quad (3.1)$$

$$\Delta = C_{max} - C_{min} \quad (3.2)$$

$$H = \begin{cases} 0, & \text{jika } \Delta = 0 \\ 60 \times \left( \frac{G-B}{\Delta} \bmod 6 \right), & \text{jika } C_{max} = R \\ 60 \times \left( \frac{B-R}{\Delta} + 2 \right), & \text{jika } C_{max} = G \\ 60 \times \left( \frac{R-G}{\Delta} + 4 \right), & \text{jika } C_{max} = B \end{cases} \quad (3.3)$$

$$S = \begin{cases} 0, & \text{jika } C_{max} = 0 \\ \frac{\Delta}{C_{max}}, & \text{lainnya} \end{cases} \quad (3.4)$$

$$V = C_{max} \quad (3.5)$$

Konversi warna dari *RGB* ke *HSV* dilakukan dengan menentukan nilai maksimum dan minimum dari tiga komponen warna *RGB* sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (3.1). Nilai maksimum  $C_{max}$  mewakili intensitas tertinggi dari salah satu warna merah, hijau, atau biru, sementara nilai minimum  $C_{min}$  menunjukkan intensitas terendah dari ketiga komponen tersebut. Selisih antara keduanya dihitung sebagai  $\Delta$ , yang merupakan perbedaan antara nilai maksimum dan minimum sebagaimana dinyatakan dalam Persamaan (3.2).

*Hue* ( $H$ ) dihitung berdasarkan komponen warna yang memiliki intensitas tertinggi. Jika tidak ada perbedaan antara komponen warna  $\Delta = 0$ , maka warna dianggap sebagai skala abu-abu, dan nilai *Hue* ditetapkan sebagai nol. Namun, jika terdapat perbedaan warna, nilai *Hue* dihitung sesuai dengan kondisi warna dominan, sebagaimana dinyatakan dalam Persamaan (3.3). Jika warna dominan adalah merah  $C_{max} = R$ , maka nilai *Hue* diperoleh dari ekspresi yang melibatkan selisih antara nilai hijau dan biru dibagi  $\Delta$ , dikalikan dengan 60 dan diambil *modulo* 6. Jika warna dominan adalah hijau  $C_{max} = G$ , maka perhitungannya disesuaikan dengan perbedaan antara biru dan merah, ditambah faktor koreksi 2. Sedangkan jika warna dominan adalah biru  $C_{max} = B$ , nilai *Hue* dihitung berdasarkan perbedaan antara merah dan hijau dengan faktor koreksi 4.

*Saturation* ( $S$ ) mengukur kejenuhan warna dan dihitung menggunakan Persamaan (3.4). Jika nilai maksimum  $C_{max}$  adalah nol, maka saturasi juga nol karena warna tersebut merupakan hitam. Namun, jika  $C_{max}$  lebih besar dari nol, saturasi dihitung dengan membagi  $\Delta$  dengan  $C_{max}$ . Nilai ini menunjukkan seberapa

pekat warna dibandingkan dengan putih, di mana semakin tinggi nilai  $S$ , semakin jenuh warnanya.

*Value* ( $V$ ) dalam model *HSV* mewakili tingkat kecerahan warna dan ditentukan langsung dari nilai  $C_{max}$ , sebagaimana dinyatakan dalam Persamaan (3.5). Semakin besar nilai  $V$ , semakin terang warna tersebut. Dengan menggunakan proses ini, konversi warna dari *RGB* ke *HSV* dapat dilakukan secara sistematis, memungkinkan segmentasi warna yang lebih akurat dan stabil terhadap perubahan pencahayaan.

#### 3.4.2.2 Thresholding

Setelah konversi, dilakukan *thresholding* dengan fungsi ditunjukkan pada persamaan 3.6. Fungsi ini membandingkan setiap piksel dengan rentang *HSV* yang telah ditentukan. Piksel yang berada dalam rentang tersebut akan diberi nilai putih (255), sedangkan piksel di luar rentang akan diberi nilai hitam (0), menghasilkan citra biner.

$$T(x,y) = \begin{cases} 1, & \text{jika } \text{Lower}_{HSV} \leq I(x,y) \leq \text{Upper}_{HSV} \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases} \quad (3.6)$$

*Thresholding* dilakukan dengan membandingkan setiap piksel dalam citra dengan nilai ambang yang telah ditentukan untuk ruang warna *HSV*. Persamaan (3.6) mendefinisikan proses ini secara matematis dengan menyatakan bahwa suatu piksel  $T(x,y)$  akan memiliki nilai 1 jika intensitasnya berada dalam rentang yang ditentukan oleh nilai batas bawah ( $\text{Lower}_{HSV}$ ) dan batas atas ( $\text{Upper}_{HSV}$ ). Artinya, piksel yang memenuhi kriteria ini akan dianggap sebagai bagian dari objek yang dicari dan diberikan nilai 1 (putih) dalam citra biner hasil segmentasi.

Sebaliknya, jika nilai intensitas piksel  $I(x, y)$  tidak berada dalam rentang yang telah ditentukan, maka piksel tersebut akan diberi nilai 0 (hitam), yang berarti bahwa piksel tersebut bukan bagian dari objek yang dideteksi. Proses ini menghasilkan citra biner yang hanya menampilkan objek dengan warna yang sesuai dengan rentang  $HSV$  yang telah ditentukan, sementara latar belakang dan elemen lainnya diabaikan. Dengan menggunakan metode ini, objek dapat dideteksi dengan lebih mudah dalam berbagai kondisi pencahayaan tanpa terganggu oleh warna lain yang tidak relevan dalam proses navigasi robot. Hasil dari thresholding warna dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3. 7 Sebelum dan Setelah Tresholding Warna

### 3.4.2.3 Operasi Morfologi

Untuk mengurangi *noise* yang mungkin muncul setelah thresholding, dilakukan operasi morfologi berupa *erosion* untuk menghilangkan *noise* kecil di sekitar objek dengan mengikis piksel tepi. Dan *dilation* untuk memperbesar area objek yang terdeteksi agar lebih solid. Ini membantu memperjelas objek setelah *erosion*.

$$A \ominus B = \{z \mid (B)_z \subseteq A\} \quad (3.7)$$

$$A \oplus B = \{z \mid (\hat{B})_z \cap A \neq \emptyset\} \quad (3.8)$$

Operasi *erosion* ( $\ominus$ ) bertujuan untuk menghilangkan piksel-piksel kecil yang tidak relevan dengan cara mengecilkan batas objek. Berdasarkan Persamaan (3.7), suatu piksel  $z$  akan tetap dipertahankan dalam citra hasil jika dan hanya jika seluruh elemen dalam struktur  $B$  yang dipusatkan pada  $z$  masih berada dalam area objek  $A$ . Dengan kata lain, *erosion* menyebabkan objek menjadi lebih kecil dengan menghapus bagian tepi dari objek, sehingga dapat menghilangkan *noise* kecil yang tidak signifikan.

Sebaliknya, operasi *dilation* ( $\oplus$ ) bertujuan untuk memperbesar area objek yang terdeteksi dengan menambahkan piksel baru di sekitar batas objek. Persamaan (3.8) menunjukkan bahwa suatu piksel  $z$  akan dimasukkan ke dalam hasil operasi *dilation* jika terdapat setidaknya satu elemen dalam struktur  $B$  yang memiliki irisan dengan objek  $A$ . Dengan cara ini, *dilation* memperluas objek yang telah dideteksi dan membantu mengisi celah kecil yang mungkin muncul akibat proses *erosion* atau *noise* pada citra.

Kombinasi dari kedua operasi ini dikenal sebagai opening (*erosion* diikuti dengan *dilation*), yang digunakan untuk menghilangkan *noise* kecil sekaligus mempertahankan bentuk objek utama, dan closing (*dilation* diikuti dengan *erosion*), yang berguna untuk mengisi celah dalam objek yang tidak seharusnya ada. Teknik ini sangat penting dalam segmentasi warna *HSV* untuk memastikan bahwa hasil deteksi objek lebih jelas dan tidak terpengaruh oleh gangguan kecil dalam citra.



Gambar 3. 8 Hasil Operasi Morfologi Pada Citra Biner

### 3.4.3 Proses Deteksi dan Penentuan Koordinat

Setelah proses segmentasi selesai dan sistem berhasil menghasilkan citra biner, di mana objek target (bola) telah dipisahkan dari latar belakang, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan koordinat pusat objek, atau yang dikenal dengan istilah *centroid*. *Centroid* merupakan titik tengah geometris dari area objek yang terdeteksi dalam citra biner, yang dihitung berdasarkan distribusi piksel putih (area objek) dalam citra tersebut.

Proses ini penting karena koordinat *centroid* menjadi parameter kunci dalam sistem navigasi, berfungsi sebagai referensi posisi objek dalam bidang pandang kamera. Dengan mengetahui posisi relatif bola terhadap pusat citra, sistem dapat menentukan apakah bola berada di sebelah kiri, kanan, atau tengah dari arah pandang robot. Informasi ini kemudian digunakan untuk menentukan arah dan sudut pergerakan yang harus diambil oleh robot agar dapat mendekati dan mengarahkan gerakannya secara presisi menuju bola.

#### 3.4.3.1 Momen Citra

$$M_{ij} = \sum_x \sum_y x^i y^j I(x, y) \quad (3.9)$$

Persamaan (3.9) mendefinisikan momen citra ( $M_{ij}$ ), yang merupakan ukuran distribusi intensitas piksel dalam suatu citra biner. Momen digunakan untuk mengekstrak informasi spasial dari objek yang terdeteksi, seperti ukuran, bentuk, dan posisi pusat massa (*centroid*).

Dalam persamaan ini, momen orde- $(i, j)$  dihitung dengan menjumlahkan hasil perkalian koordinat  $x^i y^j$  dengan nilai intensitas piksel  $I(x, y)$  di seluruh area citra. Koordinat  $x$  dan  $y$  mewakili posisi piksel dalam citra, sedangkan  $I(x, y)$  bernilai 1 jika piksel tersebut merupakan bagian dari objek yang terdeteksi, dan 0 jika merupakan latar belakang.

Momen nol-orde ( $M_{00}$ ) mewakili luas atau jumlah piksel objek dalam citra, sedangkan momen pertama ( $M_{10}$  dan  $M_{01}$ ) digunakan untuk menentukan lokasi pusat massa objek dalam koordinat  $x$  dan  $y$ . Dengan menggunakan momen ini, sistem dapat menentukan posisi objek secara presisi dalam bidang pandang kamera, yang menjadi dasar bagi navigasi robot dalam mengikuti atau mendekati objek target.

#### 3.4.3.2 Pusat Masa (*Centroid*)

Setelah menghitung momen citra dari suatu objek, langkah selanjutnya adalah menentukan pusat massa (*centroid*) dari objek tersebut dalam bidang citra. *Centroid* merupakan titik tengah dari distribusi piksel objek yang terdeteksi dan digunakan untuk mengetahui posisi objek dalam koordinat gambar.

$$C_x = \frac{M_{10}}{M_{00}}, C_y = \frac{M_{01}}{M_{00}} \quad (3.10)$$

Dalam Persamaan (3.10), koordinat pusat massa ( $C_x, C_y$ ) dihitung dengan membagi momen pertama ( $M_{10}, M_{01}$ ) dengan momen nol-orde ( $M_{00}$ ). Di mana momen  $M_{10}$  merupakan total dari hasil perkalian koordinat  $x$  dengan intensitas piksel, sedangkan  $M_{01}$  adalah total hasil perkalian koordinat  $y$  dengan intensitas piksel. Nilai  $M_{00}$  sendiri merupakan jumlah total piksel dalam objek, yang dapat dianggap sebagai "berat" dari distribusi piksel dalam sistem koordinat citra.

Secara sederhana, koordinat  $C_x$  menunjukkan di mana posisi bola berada secara horizontal (ke kiri atau ke kanan) dalam gambar, sedangkan  $C_y$  menunjukkan posisi bola secara vertikal (ke atas atau ke bawah). Dengan mengetahui titik pusat ini, robot bisa menentukan lokasi bola di dalam bidang pandang kameranya dan menggunakannya sebagai panduan untuk bergerak menuju bola. Perhitungan ini sangat penting dalam navigasi otonom karena membantu robot menyesuaikan arah gerakannya berdasarkan posisi bola dalam gambar yang ditangkap oleh kamera.



Gambar 3. 9 Centroid Pada Pusat Bola

### 3.5 Pengambilan Keputusan dan Kontrol Navigasi Otonom

Pada sistem navigasi otonom ini, pengambilan keputusan dilakukan berdasarkan hasil deteksi posisi bola yang diperoleh melalui segmentasi warna *HSV*

dan perhitungan *centroid*. Proses ini bertujuan untuk menentukan arah gerakan robot agar dapat menuju bola dengan presisi dan efisiensi. Robot bergerak berdasarkan koordinat pusat bola dalam bidang pandang kamera. Keputusan navigasi didasarkan pada posisi relatif bola terhadap sumbu tengah kamera. Jika bola berada di tengah bidang pandang, robot akan bergerak lurus ke depan. Namun, jika bola berada di sebelah kiri, robot akan berbelok ke kiri hingga bola kembali berada di tengah, sedangkan jika bola berada di sebelah kanan, robot akan berbelok ke kanan hingga bola kembali berada di tengah. Keputusan ini diimplementasikan dengan logika berbasis kondisi, di mana sistem mendeteksi posisi bola berdasarkan nilai *centroid*  $X(C_x)$ , lalu menyesuaikan arah gerakan *motor* menggunakan *Raspberry Pi* sebagai pusat kendali.

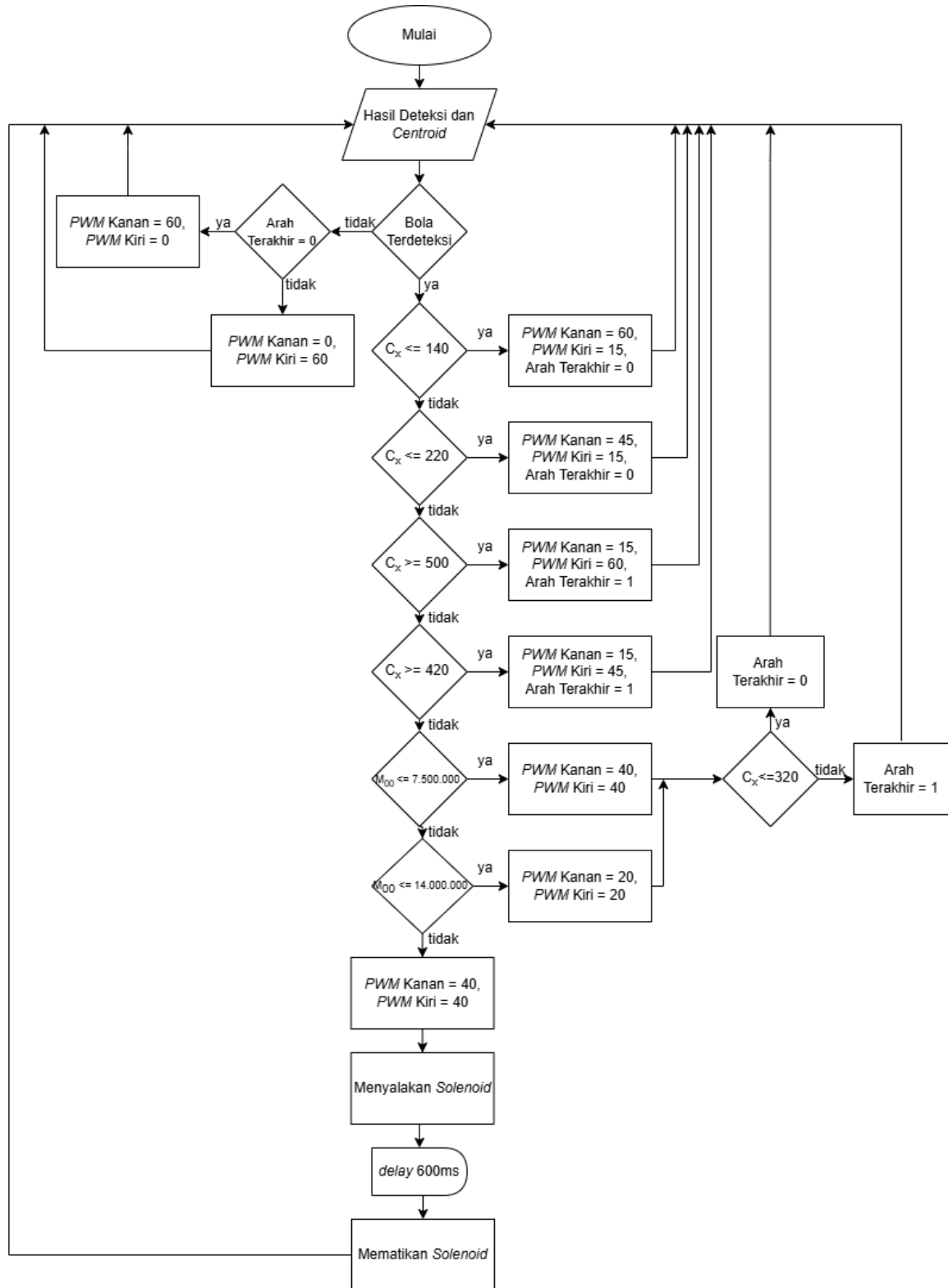
Jika nilai  $C_x$  lebih kecil atau sama dengan 140, bola berada sangat jauh di kiri, sehingga robot akan berbelok tajam ke kiri dengan mengatur *PWM motor* kanan sebesar 60 dan *motor* kiri sebesar 15. Jika nilai  $C_x$  berada dalam rentang 140 hingga 220, bola masih berada di kiri, tetapi tidak terlalu jauh, sehingga robot hanya sedikit berbelok ke kiri dengan *PWM motor* kanan sebesar 45 dan *motor* kiri sebesar 15. Sebaliknya, jika  $C_x$  lebih besar atau sama dengan 500, bola berada sangat jauh di kanan, sehingga robot akan berbelok tajam ke kanan dengan *PWM motor* kanan sebesar 15 dan *motor* kiri sebesar 60. Jika  $C_x$  berada dalam rentang 420 hingga 500, bola masih berada di kanan tetapi tidak terlalu jauh, sehingga robot hanya sedikit berbelok ke kanan dengan *PWM motor* kanan sebesar 15 dan *motor* kiri sebesar 45. Jika bola berada dalam rentang 220 hingga 420, yang berarti bola berada di area tengah bidang pandang kamera, maka robot akan bergerak lurus ke depan dengan

*PWM motor* kanan dan kiri masing-masing sebesar 40 untuk menjaga kestabilan pergerakan.

Sistem ini juga dilengkapi dengan mekanisme pencarian bola ketika bola menghilang dari pandangan kamera. Untuk itu, sistem menyimpan posisi terakhir centroid X sebelum objek tidak terdeteksi. Jika posisi terakhir tersebut berada di kiri ( $C_x \leq 0$ ), maka sistem menyimpan nilai variabel arah dengan nilai 0. Jika berada di kanan ( $C_x > 0$ ), maka nilai disimpan sebagai 1. Saat bola hilang dari deteksi, robot akan memutar ke arah yang sesuai berdasarkan nilai variabel tersebut: jika 0, robot akan berputar ke kiri; jika 1, robot akan berputar ke kanan. Robot akan terus memutar hingga objek kembali masuk dalam bidang pandang kamera, kemudian melanjutkan pergerakan sesuai posisi baru bola.

Selain berdasarkan posisi bola, sistem juga mempertimbangkan ukuran objek dalam citra untuk menentukan kapan robot harus berhenti dan melakukan aksi tambahan. Nilai  $M_{00}$  digunakan sebagai indikator kedekatan robot dengan bola. Jika nilai  $M_{00}$  kurang dari atau sama dengan 7.500.000, bola masih cukup jauh sehingga robot akan terus bergerak maju. Jika nilai  $M_{00}$  lebih besar dari 7.500.000 tetapi masih kurang dari 14.000.000, bola semakin dekat sehingga kecepatan robot dikurangi dengan *PWM motor* kanan dan kiri masing-masing sebesar 20 untuk mengurangi momentum gerakan. Namun, jika nilai  $M_{00}$  mencapai atau melebihi 14.000.000, yang menunjukkan bahwa bola sudah sangat dekat, maka sistem akan menghentikan pergerakan robot dengan mengatur *PWM motor* kanan dan kiri menjadi 0.

Setelah robot berhasil mencapai bola, sistem akan mengaktifkan solenoid untuk menangkap atau menendang bola. Solenoid akan dinyalakan dan tetap aktif selama 600 milidetik, kemudian dimatikan kembali untuk menyelesaikan proses interaksi dengan bola. Setelah aksi ini dilakukan, sistem navigasi dianggap selesai. Kontrol *motor* dilakukan dengan mengatur sinyal *PWM* (*Pulse Width Modulation*) pada pin GPIO *Raspberry Pi* yang terhubung ke *driver motor*. Perubahan nilai *PWM* menentukan kecepatan dan arah rotasi *motor*. Dengan menerapkan logika keputusan ini, sistem navigasi otonom dapat bekerja secara *real-time* untuk mendeteksi dan mendekati bola secara efisien tanpa memerlukan intervensi manusia. Robot dapat menyesuaikan pergerakannya berdasarkan analisis visual dari kamera, sehingga memungkinkan manuver yang lebih adaptif di dalam lapangan permainan. Alur lengkap dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3. 10 Flowchart Pengambilan Keputusan Navigasi Otonom

### 3.6 Skenario Pengujian

Skenario uji coba dirancang untuk mengevaluasi kinerja sistem segmentasi warna *HSV* dalam mendeteksi bola serta kecepatan sistem dalam memproses data dan merespons pergerakan robot. Pengujian ini mencakup tiga aspek utama, yaitu uji akurasi deteksi objek, uji ketahanan terhadap variasi pencahayaan, dan uji kecepatan pemrosesan sistem. Selain itu, dilakukan pula pengujian terhadap variasi warna latar belakang untuk mengetahui sejauh mana sistem mampu membedakan objek dari lingkungan sekitarnya yang memiliki warna serupa. Masing-masing pengujian dilakukan dengan metode yang terukur untuk memastikan bahwa sistem dapat bekerja secara optimal dalam berbagai kondisi lingkungan.

#### 3.6.1 Uji Akurasi Deteksi Bola

Pengujian ini dilakukan dengan menempatkan bola di berbagai posisi dalam area uji dan mengamati seberapa sering sistem dapat mendeteksi bola dengan benar. Evaluasi dilakukan menggunakan metode *Confusion Matrix*, yang mencatat jumlah *True Positive (TP)*, *False Positive (FP)*, *False Negative (FN)*, dan *True Negative (TN)* untuk menghitung tingkat keberhasilan deteksi. Akurasi sistem dihitung dengan menggunakan rumus 3.11.

$$Akurasi(\%) = \frac{TP+TN}{TP+FP+FN+TN} \times 100\% \quad (3.11)$$

Keterangan:

*TP (True Positive)* = jumlah deteksi bola yang benar.

*FP (False Positive)* = jumlah kesalahan mendeteksi bola yang tidak ada.

*FN (False Negative)* = jumlah bola yang tidak terdeteksi padahal ada.

*TN (True Negative)* = jumlah kondisi tidak mendeteksi bola yang tidak ada

Sistem dianggap memiliki performa yang baik jika tingkat akurasi deteksi mencapai minimal 90%. Jika nilai akurasi lebih rendah, maka diperlukan optimasi lebih lanjut pada parameter *HSV* atau penerapan teknik pemrosesan citra tambahan untuk meningkatkan keakuratan deteksi.

### 3.6.2 Uji Ketahanan terhadap Variasi Pencahayaan

Sistem diuji dalam tiga kondisi pencahayaan yang berbeda, yaitu redup ( $\pm 16$  lux), sedang ( $\pm 200$  lux), dan terang ( $\pm 390$  lux). Pada setiap kondisi, bola diletakkan dalam beberapa posisi, lalu sistem melakukan deteksi dalam beberapa kali percobaan. Persentase keberhasilan deteksi dihitung dengan rumus 3.12.

$$Keberhasilan(\%) = \frac{\text{JumlahPercobaanBerhasil}}{\text{TotalPercobaan}} \times 100\% \quad (3.12)$$

Keterangan:

Jumlah Percobaan Berhasil = jumlah percobaan di mana bola berhasil terdeteksi.

Total Percobaan = jumlah keseluruhan percobaan dalam setiap kondisi pencahayaan.

Jika tingkat keberhasilan deteksi turun lebih dari 10% dibandingkan kondisi pencahayaan normal, maka diperlukan optimasi lebih lanjut terhadap parameter *HSV* atau penerapan teknik adaptasi pencahayaan seperti penggunaan filter adaptif atau penyesuaian otomatis eksposur kamera.

### 3.6.3 Uji Kecepatan Respon

Uji ini bertujuan untuk mengukur selisih waktu antara saat bola pertama kali terdeteksi hingga robot mulai bergerak menuju bola. Pengukuran dilakukan dengan mencatat *timestamp* deteksi bola dan membandingkannya dengan *timestamp* saat

robot mulai bergerak. Rata-rata waktu reaksi sistem dihitung menggunakan rumus 3.13.

$$T_{rata-rata} = \frac{\sum(T_{mulai\_gerak} - T_{deteksi})}{N} \quad (3.13)$$

Keterangan:

$T_{deteksi}$  = waktu ketika bola pertama kali terdeteksi oleh sistem.

$T_{mulai\_gerak}$  = waktu ketika robot mulai bergerak setelah menerima hasil pemrosesan.

$N$  adalah jumlah total percobaan.

Hasil pengujian ini akan dibandingkan dengan standar respons sistem *real-time*, di mana robot diharapkan mulai bergerak dalam waktu kurang dari 250 ms setelah bola terdeteksi. Jika waktu reaksi lebih lambat dari standar tersebut, maka sistem memerlukan optimasi lebih lanjut pada komunikasi antar komponen atau efisiensi algoritma pemrosesan citra agar robot dapat bereaksi lebih cepat dalam navigasi otomatisnya.

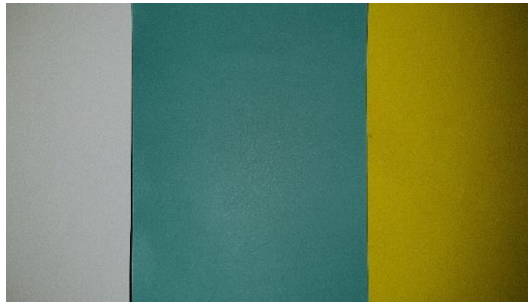
Dengan mengimplementasikan skenario uji coba ini, sistem dapat dievaluasi secara menyeluruh untuk memastikan bahwa algoritma segmentasi *HSV* bekerja dengan baik, sistem mampu beradaptasi dengan perubahan pencahayaan, dan kecepatan respons robot memenuhi standar *real-time*. Hasil pengujian ini akan menjadi dasar untuk menentukan efektivitas sistem dalam mendukung navigasi robot secara otonom.

#### 3.6.4 Pengujian Terhadap Variasi Latar Belakang

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi ketahanan sistem segmentasi warna *HSV* dalam mendeteksi objek ketika bola berada di atas latar belakang dengan warna yang berbeda-beda, termasuk warna yang memiliki kemiripan

spektrum dengan objek. Pengujian ini penting dilakukan mengingat dalam lingkungan nyata, kondisi latar belakang tidak selalu ideal dan dapat memengaruhi hasil segmentasi warna.

Digunakan tiga jenis warna latar belakang, yaitu putih polos (netral), hijau kebiruan (mendekati warna bola), dan kuning kehijauan (warna yang sangat mirip dengan bola) yang ditunjukkan pada gambar 3.10. Masing-masing warna latar diuji dengan menempatkan bola di posisi yang sama dan pencahayaan yang seragam. Setiap percobaan dilakukan sebanyak tiga kali untuk setiap jenis latar.



Gambar 3. 11 Variasi Warna Latar Belakang

Sistem diharapkan mampu mendeteksi bola secara konsisten, terutama pada latar yang kontras. Namun pada latar dengan warna mirip bola, sistem diprediksi mengalami kesulitan dalam membedakan antara objek dan latar. Hasil dari pengujian ini akan menjadi indikator sejauh mana segmentasi warna HSV dapat diandalkan dalam lingkungan visual yang kompleks atau tidak terkendali.

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Hasil Pengujian**

Penelitian ini menghasilkan sistem navigasi otonom berbasis segmentasi warna *HSV* yang mampu mendeteksi bola tenis berwarna hijau dan mengarahkan robot untuk bergerak secara mandiri.

Seluruh pengujian dilakukan di arena berbentuk persegi panjang dengan ukuran 300 cm x 175 cm, dasar berwarna putih dan tembok yang terbuat dari kayu triplek. Pencerayaan dalam arena menggunakan *LED* strip berwarna putih yang dilengkapi dengan *dimmer*, sehingga tingkat pencahayaannya bisa diatur. Dokumentasi arena yang digunakan ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Arena Pengujian Robot Soccer

##### **4.1.1 Hasil Uji Akurasi Deteksi Bola**

Tujuan pengujian ini adalah mengevaluasi akurasi sistem dalam mendeteksi bola yang diletakkan pada berbagai posisi di arena. Sistem segmentasi warna *HSV*

akan mendeteksi objek berdasarkan parameter warna yang telah ditentukan, kemudian memproses hasilnya dalam bentuk citra biner.

Pengujian dilakukan dengan dua skenario pada pencahayaan sedang (200 lux), yaitu deteksi bola pada berbagai jarak serta validasi sistem saat objek tidak ada. Pada pengujian pertama, bola diletakkan pada lima jarak berbeda dari kamera, yaitu 50 cm, 100 cm, 150 cm, 200 cm, dan 250 cm. Masing-masing jarak diuji sebanyak tiga kali, sehingga terdapat total 15 percobaan. Hasil percobaan dapat dilihat dalam tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Akurasi Menggunakan Bola.

| No. | Jarak  | Jumlah Percobaan | Deteksi Berhasil | Persentase Berhasil |
|-----|--------|------------------|------------------|---------------------|
| 1   | 50 cm  | 3                | 3                | 100%                |
| 2   | 100 cm | 3                | 3                | 100%                |
| 3   | 150 cm | 3                | 3                | 100%                |
| 4   | 200 cm | 3                | 3                | 100%                |
| 5   | 250 cm | 3                | 3                | 100%                |

Berdasarkan tabel 4.1, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil mendeteksi bola secara akurat pada seluruh percobaan di kelima jarak tersebut. Keberhasilan ini menunjukkan bahwa sistem segmentasi warna *HSV* yang digunakan memiliki stabilitas yang baik dalam mendeteksi objek bola, bahkan ketika ukuran visual bola menjadi lebih kecil pada jarak 250 cm. Ini menandakan bahwa parameter *HSV* yang ditentukan secara manual sudah cukup optimal untuk menangkap karakteristik warna bola secara konsisten dalam berbagai kondisi posisi.

Sementara itu pada pengujian kedua, dilakukan 15 percobaan tambahan dalam kondisi tanpa bola, dengan tujuan untuk mengukur potensi kesalahan deteksi (*false positive*). Hasilnya menunjukkan bahwa sistem berhasil tidak mendeteksi

bola sebanyak 13 kali, namun terdapat 2 kali kesalahan di mana sistem mendeteksi bola padahal objek tidak ada. Kemungkinan besar kesalahan ini disebabkan oleh latar belakang arena yang memiliki warna mirip dengan rentang *HSV* bola, sehingga sistem mengidentifikasi *background* secara keliru sebagai objek target. Rekapitulasi hasil pengujian keseluruhan dalam bentuk *Confusion Matrix* disajikan pada tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Pengujian Akurasi Dalam Bentuk Confussion Matrix.

| No. | Kategori            | Jumlah | Deskripsi                                            |
|-----|---------------------|--------|------------------------------------------------------|
| 1   | True Positive (TP)  | 15     | Bola ada dan berhasil dideteksi.                     |
| 2   | False Positive (FP) | 2      | Bola tidak ada, tetapi system mendeteksi seolah ada. |
| 3   | False Negative (FN) | 0      | Bola ada, tetapi tidak terdeteksi.                   |
| 4   | True Negative (TN)  | 13     | Bola tidak ada dan tidak terdeteksi.                 |

Berdasarkan data pada tabel 4.2, akurasi deteksi dihitung menggunakan persamaan 3.11.

$$Akurasi(\%) = \frac{TP + TN}{TP + FP + FN + TN} \times 100\%$$

$$Akurasi(\%) = \frac{15 + 13}{15 + 13 + 2 + 0} \times 100\%$$

$$Akurasi(\%) = 93,33\%$$

Nilai ini menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat keakuratan yang tinggi dalam mendeteksi keberadaan bola secara visual berdasarkan warna. Tidak ditemukannya kesalahan *False Negative* memperkuat bahwa setiap kali bola hadir, sistem selalu berhasil mendeteksinya. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pendekatan segmentasi warna *HSV* yang diterapkan terbukti efektif dan andal

dalam mendeteksi objek bola pada berbagai jarak dalam lingkungan yang terkendali.

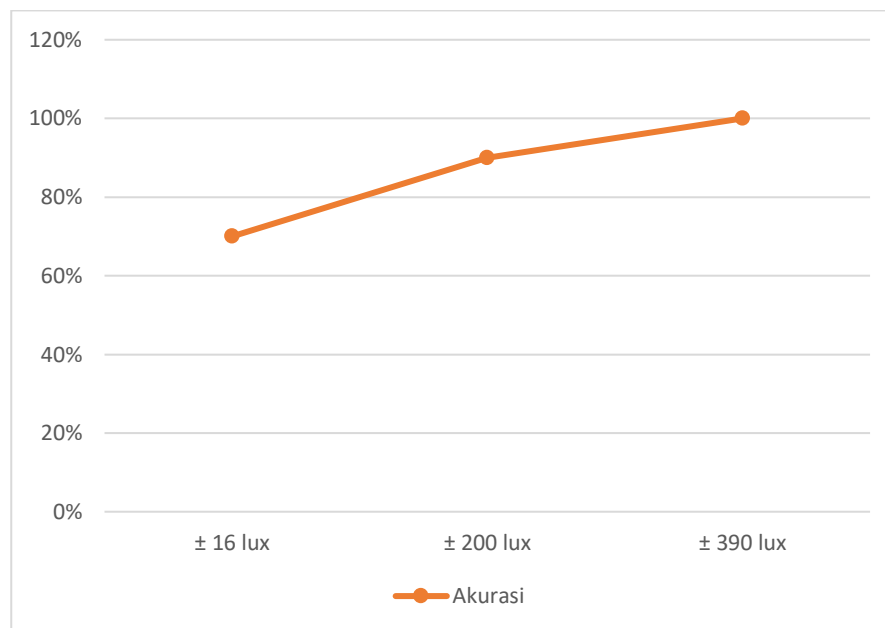
#### 4.1.2 Uji Ketahanan Terhadap Variasi Pencahayaan

Salah satu tantangan dalam sistem deteksi objek berbasis segmentasi warna adalah sensitivitas terhadap perubahan intensitas cahaya di lingkungan sekitar. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi seberapa baik sistem dapat mempertahankan performa deteksi bola dalam tiga kondisi pencahayaan yang berbeda, yaitu redup ( $\pm 16$  lux), sedang ( $\pm 200$  lux), dan terang ( $\pm 390$  lux). Masing-masing kondisi diuji sebanyak 10 kali dengan posisi bola tetap. Hasil Pengujian dirangkum dalam tabel 4.3

Tabel 4. 3 Hasil Ketahanan Terhadap Variasi Cahaya.

| No. | Kondisi Pencahayaan     | Percobaan | Deteksi Berhasil | Presentase Keberhasilan |
|-----|-------------------------|-----------|------------------|-------------------------|
| 1   | Redup ( $\pm 16$ lux)   | 10        | 7                | 70%                     |
| 2   | Sedang ( $\pm 200$ lux) | 10        | 9                | 90%                     |
| 3   | Terang ( $\pm 390$ lux) | 10        | 10               | 100%                    |

Hasil pengujian menunjukkan bahwa dalam kondisi pencahayaan terang (390 lux), sistem berhasil mendeteksi bola dalam 10 dari 10 percobaan, yang berarti tingkat keberhasilan mencapai 100%. Pada kondisi pencahayaan sedang (200 lux), sistem mendeteksi bola dengan benar dalam 9 dari 10 percobaan, sehingga tingkat keberhasilannya adalah 90%. Sedangkan pada kondisi pencahayaan redup (16 lux), sistem hanya berhasil mendeteksi bola sebanyak 7 kali dari 10 percobaan, dengan 3 kali kegagalan deteksi, yang menghasilkan tingkat keberhasilan sebesar 70%. Hasil pengujian divisualisasikan pada gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Grafik Hasil Pengujian Ketahanan Cahaya.

Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa sistem bekerja sangat baik pada kondisi pencahayaan terang hingga sedang, dengan tingkat keberhasilan deteksi bola yang berada di atas 90%. Namun, performa sistem menurun secara signifikan pada kondisi pencahayaan rendah, yang ditandai dengan keberhasilan deteksi hanya sebesar 70%. Penurunan performa ini diduga disebabkan oleh penurunan kejenuhan warna (*saturation*) dan peningkatan *noise* pada citra yang dihasilkan oleh kamera ketika cahaya sangat redup, sehingga menyebabkan objek bola tidak lagi memiliki karakteristik warna yang sesuai dengan rentang *HSV* yang telah ditentukan.

Secara keseluruhan, sistem segmentasi *HSV* menunjukkan daya tahan yang baik terhadap variasi pencahayaan, terutama dalam kisaran 200–390 lux. Untuk meningkatkan performa pada pencahayaan rendah, penelitian selanjutnya dapat mengintegrasikan *auto exposure*, *adaptive thresholding*, atau penggunaan sumber

cahaya tambahan yang stabil agar warna objek tetap terbaca secara konsisten oleh sistem.

#### 4.1.3 Uji Kecepatan Respon

Pengujian ini bertujuan untuk mengukur waktu respon sistem, yaitu waktu yang dibutuhkan mulai dari saat bola pertama kali terdeteksi oleh kamera hingga robot mulai bergerak menuju bola. Waktu respon merupakan parameter penting dalam sistem navigasi otonom karena memengaruhi kelincahan dan efektivitas *manuver* robot di lapangan.

Pengukuran dilakukan dengan mencatat dua *timestamp* pada setiap percobaan, yaitu *timestamp* deteksi bola oleh kamera, dan *timestamp* pergerakan pertama *motor*, sebagai respon terhadap hasil deteksi.

Percobaan dilakukan sebanyak 10 kali. Hasil selisih waktu antara dua *timestamp* tersebut memberikan nilai waktu respon dalam satuan milidetik (ms).

Berikut adalah hasil pengujian yang ditunjukkan pada tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Waktu Respon.

| No. | Waktu Deteksi<br>( <i>Timestamp</i> ) | Waktu Gerak<br>( <i>Timestamp</i> ) | Waktu Respon (ms) |
|-----|---------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|
| 1   | 16:04:277                             | 16:04:359                           | 82                |
| 2   | 16:04:602                             | 16:04:683                           | 81                |
| 3   | 16:04:794                             | 16:04:876                           | 82                |
| 4   | 16:06:882                             | 16:06:972                           | 90                |
| 5   | 16:10:384                             | 16:10:466                           | 82                |
| 6   | 16:10:696                             | 16:10:778                           | 82                |
| 7   | 16:10:894                             | 16:10:974                           | 80                |
| 8   | 16:15:883                             | 16:15:965                           | 82                |
| 9   | 16:17:892                             | 16:17:981                           | 89                |
| 10  | 16:18:101                             | 16:18:182                           | 81                |

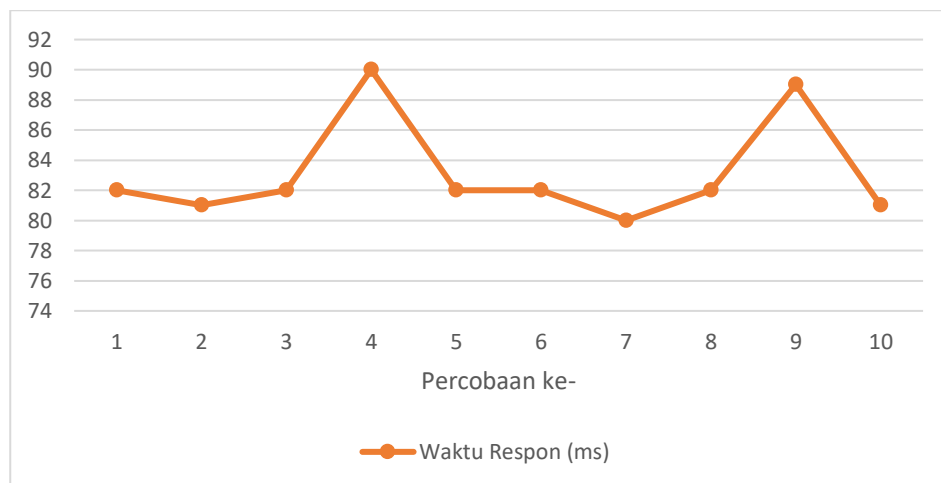
Rata-rata waktu respon dihitung dengan menjumlahkan seluruh waktu respon kemudian dibagi jumlah percobaan:

$$\text{Rata - rata waktu respon} = \frac{82 + 81 + 90 + 82 + 82 + 80 + 82 + 89 + 81}{10}$$

$$\text{Rata - rata waktu respon} = \frac{831}{10}$$

$$\text{Rata - rata waktu respon} = 83,1 \text{ ms}$$

Dengan rata-rata waktu respon sebesar 83,1 milidetik, sistem ini dapat dikategorikan sebagai real-time, karena mampu memberikan reaksi lebih cepat dibanding rata-rata waktu reaksi manusia terhadap stimulus visual, yaitu sekitar 250 milidetik (Zabalza et al., 2019). Batas ini sering dijadikan acuan dalam sistem kendali berbasis visi untuk memastikan bahwa robot dapat merespons lingkungan dengan kecepatan mendekati atau melampaui reaksi manusia terhadap rangsangan visual. Catatan waktu respon robot divisualisasikan pada gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Grafik Waktu Respon Sistem

#### 4.1.4 Uji Ketahanan Terhadap Variasi Latar Belakang

Pengujian terhadap variasi latar belakang dilakukan untuk mengetahui seberapa kuat sistem segmentasi warna *HSV* dalam mendeteksi bola pada kondisi lingkungan visual yang berbeda, khususnya pada latar belakang yang memiliki

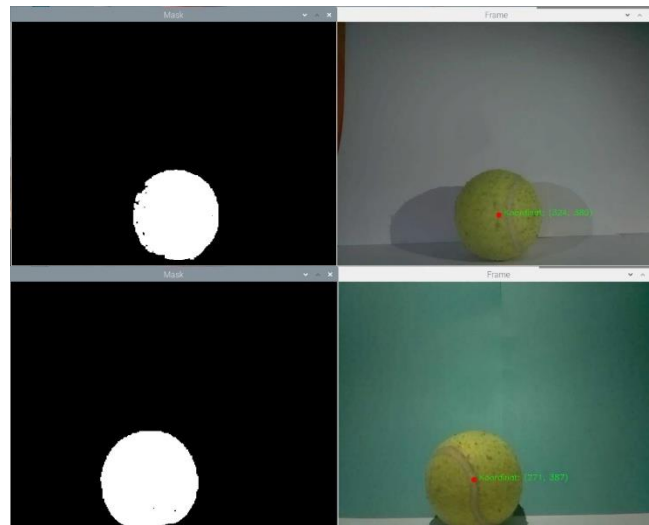
kemiripan warna dengan objek. Pengujian ini penting untuk mengidentifikasi potensi kelemahan sistem dalam situasi nyata di mana warna latar belakang tidak selalu netral.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan tiga jenis latar belakang, yaitu putih polos sebagai kondisi netral, hijau kebiruan sebagai warna yang masih dekat dengan objek namun masih memiliki perbedaan spektrum, dan kuning kehijauan sebagai latar yang sangat mirip dengan warna bola. Setiap pengujian dilakukan sebanyak tiga kali di bawah pencahayaan yang konstan. Hasil pengujian dirangkum pada tabel 4.4.

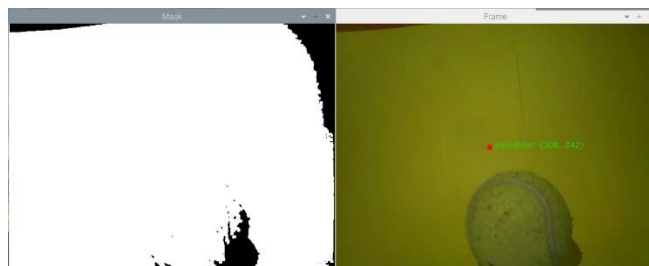
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Variasi Latar Belakang

| No. | Warna Latar Belakang | Percobaan | Deteksi Berhasil |
|-----|----------------------|-----------|------------------|
| 1   | Putih                | 3         | 3                |
| 2   | Hijau kebiruan       | 3         | 3                |
| 3   | Kuning kehijauan     | 3         | 0                |

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi bola dengan baik pada latar putih dan hijau kebiruan, dengan tingkat keberhasilan 100% (gambar 4.4). Namun, pada latar kuning kehijauan, sistem mengalami kegagalan deteksi pada seluruh percobaan (gambar 4.5). Hal ini disebabkan oleh spektrum *HSV* latar belakang yang terlalu mirip dengan warna bola, sehingga sistem tidak mampu membedakan objek dari latarnya.



Gambar 4. 4 Pengujian Latar Putih dan Hijau Kebiruan



Gambar 4. 5 Pengujian Latar Kuning Kehijauan

Temuan ini menegaskan bahwa metode segmentasi warna HSV memiliki keterbatasan dalam membedakan objek dari latar yang memiliki warna serupa. Oleh karena itu, sistem ini kurang efektif digunakan di lingkungan yang tidak terkontrol secara warna. Hasil ini juga menjadi dasar pertimbangan untuk pengembangan metode pendeteksian yang lebih *robust*, seperti penambahan klasifikasi berdasarkan bentuk ataupun kontur bola untuk pengembangan lanjutan.

## 4.2 Pembahasan

Berdasarkan rangkaian pengujian yang telah dilakukan, sistem navigasi otonom *robot soccer* berbasis segmentasi warna *HSV* menunjukkan performa yang

baik dalam tiga aspek utama: akurasi deteksi objek, ketahanan terhadap variasi pencahayaan, dan kecepatan respons sistem. Hasil-hasil ini menunjukkan bahwa pendekatan segmentasi warna *HSV* masih sangat relevan dan efektif untuk sistem navigasi otonom berbasis kamera dengan sumber daya terbatas seperti *Raspberry Pi*.

Dalam pengujian akurasi, sistem berhasil mendeteksi bola secara konsisten pada jarak 50 hingga 250 cm dengan tingkat keberhasilan 100%. Dari 15 percobaan tanpa bola, hanya dua kasus *false positive* yang tercatat. Secara keseluruhan, akurasi sistem mencapai 93,33%. Hasil ini lebih unggul dibandingkan penelitian oleh Putra dan Puriyanto (2022) yang menggunakan metode *Hough Circle Transform*, di mana akurasi hanya mencapai 88% pada jarak di atas 200 cm karena metode tersebut sensitif terhadap bentuk sempurna lingkaran dan sering terganggu oleh *noise visual*. Selain itu, sistem ini juga menunjukkan keunggulan dalam menghindari *false negative*, tidak seperti sistem berbasis *CNN* ringan pada penelitian Saputra et al. (2021) yang mencatat beberapa kesalahan deteksi akibat keterbatasan *dataset*.

Pada pengujian pencahayaan, sistem menunjukkan tingkat keberhasilan deteksi sebesar 70% pada 16 lux (redup), 90% pada 200 lux (sedang), dan 100% pada 390 lux (terang). Performa ini membuktikan bahwa meskipun segmentasi warna *HSV* memiliki kelemahan dalam pencahayaan rendah, parameter yang digunakan dalam penelitian ini masih cukup stabil dan adaptif pada kisaran pencahayaan umum di lingkungan *indoor*. Bila dibandingkan dengan penelitian oleh Ardiansyah dan Hidayat (2020) yang menggunakan metode *RGB thresholding*, sistem mereka hanya mampu mendeteksi dengan stabil pada kisaran di atas 300 lux,

sementara segmentasi *HSV* dalam penelitian ini sudah menunjukkan performa baik mulai dari 200 lux. Hal ini membuktikan bahwa *HSV* memang lebih unggul dalam mengisolasi warna dari pengaruh intensitas cahaya dibanding ruang warna *RGB*.

Pengujian kecepatan sistem juga menunjukkan hasil yang sangat memuaskan. Dengan rata-rata waktu respons sebesar 83,1 milidetik, sistem ini bekerja jauh lebih cepat dibandingkan sistem berbasis pengolahan konvolusional seperti *CNN* ringan yang dilaporkan oleh Rahmadani et al. (2022), di mana waktu inferensi mencapai lebih dari 300 ms karena keterbatasan komputasi di platform *Raspberry Pi*. Keunggulan kecepatan ini menjadikan sistem lebih layak digunakan dalam skenario *real-time* seperti *robot soccer*, yang membutuhkan reaksi cepat terhadap perubahan posisi objek.

Pengujian terhadap variasi latar belakang menunjukkan bahwa sistem berhasil mendeteksi bola pada latar putih polos dan hijau kebiruan secara konsisten (3 dari 3 percobaan berhasil). Namun, sistem gagal mendeteksi bola pada latar kuning kehijauan karena kesamaan spektrum *HSV* antara latar belakang dan objek, sehingga bola tidak dapat tersegmentasi dengan baik. Temuan ini mengonfirmasi bahwa pendekatan *HSV* rentan terhadap gangguan visual dari latar yang memiliki kemiripan warna dengan objek target.

Segmentasi warna *HSV* tetap kompetitif dalam hal efisiensi, stabilitas, dan responsivitas, terutama untuk sistem berbasis hardware ringan. Namun, seperti yang juga tercermin dari hasil pengujian latar belakang dan pencahayaan ekstrem, pendekatan ini memiliki batasan terhadap gangguan warna dan kondisi visual yang kompleks. Oleh karena itu, pengembangan lanjutan dapat diarahkan pada integrasi

metode pendukung seperti *adaptive lighting control* serta menambahkan validasi bentuk atau ukuran objek untuk meningkatkan daya tahan sistem dalam kondisi dunia nyata yang lebih dinamis dan tidak terkontrol.

### 4.3 Integrasi Islam

Penelitian dan pengembangan teknologi dalam konteks keilmuan tidak dapat dipisahkan dari nilai-nilai spiritual dan etika Islam. Tidak hanya mendorong umatnya untuk mencari ilmu, tetapi juga mengarahkan bagaimana ilmu tersebut digunakan secara bertanggung jawab, baik dalam hubungannya dengan Allah maupun sesama manusia. Oleh karena itu, sistem navigasi otonom robot *soccer* yang dikembangkan dalam penelitian ini tidak hanya dilihat dari sisi teknis, tetapi juga direfleksikan dalam konteks keimanan dan kemaslahatan.

#### 4.3.1 Hubungan Manusia dengan Allah (*Muamalah Ma'a Allah*)

Islam mengajarkan bahwa potensi akal, penglihatan, dan pendengaran yang diberikan oleh Allah bukanlah sesuatu yang sia-sia, melainkan memiliki tanggung jawab besar untuk digunakan dalam memahami, merenungi, dan mengelola ciptaan-Nya. Dalam QS Al-Mu'minun ayat 78, Allah SWT berfirman:

وَهُوَ الَّذِي أَنشَأَ لَكُمُ السَّمْعَ وَالْأَبْصَارَ وَالْأَفْئِدَةَ قَلِيلًا مَّا تَشْكُرُونَ

*“Dialah yang telah menciptakan bagimu pendengaran, penglihatan dan hati nurani, tetapi sedikit sekali kamu bersyukur.” (Al-Mu'minun: 78).*

Menurut Tafsir Al-Misbah, ayat ini menunjukkan bahwa Allah telah membekali manusia dengan perangkat dasar untuk mengenali dan memahami alam, yaitu pendengaran, penglihatan, dan hati (yang dalam konteks ini dimaknai sebagai

akal atau kesadaran). Namun, meski perangkat itu tersedia, banyak manusia yang lalai dalam mensyukurinya yakni dengan tidak menggunakannya untuk mengenal kebenaran dan menjalankan amanah sebagai khalifah di bumi (Shihab, 2000). Rasa syukur bukan hanya diucapkan, tetapi diwujudkan dalam bentuk penggunaan indera dan akal secara produktif dan bertanggung jawab.

Dalam konteks penelitian ini, sistem navigasi otonom robot yang dikembangkan menggunakan kamera sebagai "penglihatan", serta algoritma untuk memproses data dan membuat keputusan otomatis, secara tidak langsung meniru cara manusia menggunakan inderanya. Aktivitas ini merupakan bentuk dari penerjemahan potensi intelektual yang Allah berikan ke dalam karya nyata melalui ilmu pengetahuan dan teknologi. Penggunaan *computer vision* dan logika navigasi otonom adalah bentuk pemanfaatan ilmu yang bersumber dari kemampuan berpikir yang dalam ayat ini diisyaratkan sebagai "hati".

Penelitian ini dapat dimaknai sebagai bagian dari tanggung jawab spiritual seorang Muslim dalam mensyukuri nikmat akal dan ilmu. Dengan menyalurkan kemampuan tersebut ke arah yang memberi manfaat, peneliti tidak hanya menjalankan fungsi akademik, tetapi juga bentuk ibadah ilmiah. Penelitian ini menunjukkan bahwa pengembangan teknologi, ketika diniatkan dengan benar, bisa menjadi sarana penghambaan dan wujud syukur atas nikmat yang telah Allah berikan.

#### **4.3.2 Hubungan Manusia dengan Manusia Lain (*Muamalah Ma'a Annas*)**

Dalam Islam, hubungan sosial antar manusia tidak hanya dilandasi etika umum, tetapi juga merupakan bagian dari ajaran agama yang menjunjung tinggi

nilai tolong-menolong dalam kebaikan. Salah satu prinsip dasar yang mengatur interaksi sosial ini terdapat dalam QS Al-Ma'idah ayat 2, di mana Allah SWT berfirman:

...وَتَعَاوَنُوا عَلَى الْبِرِّ وَالتَّقْوَىٰ وَلَا تَعَاوَنُوا عَلَى الْإِثْمِ وَالْعُدْوَانِ

*“...Tolong-menolonglah kamu dalam (mengerjakan) kebajikan dan takwa, dan jangan tolong-menolong dalam berbuat dosa dan permusuhan...”(QS. Al-Ma'idah:2).*

Dalam Tafsir Ibnu Katsir, ayat ini dijelaskan sebagai perintah untuk saling membantu dalam setiap perkara yang dianggap baik menurut syariat dan dalam perkara yang mendorong kepada ketakwaan, seperti ketaatan, ibadah, dan menunaikan hak-hak sosial. Ibnu Katsir menegaskan bahwa ayat ini adalah landasan kuat bagi semangat kolaborasi dalam segala hal yang bermanfaat, baik dalam bentuk amal pribadi maupun kegiatan sosial, termasuk dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang bertujuan membawa kemaslahatan bagi umat manusia. Sebaliknya, ayat ini juga menjadi peringatan keras agar tidak ada kerja sama dalam perbuatan yang melanggar batas-batas hukum Allah, meskipun dilakukan secara kolektif (Ibnu Katsir, 2003).

Dalam konteks penelitian ini, sistem navigasi otonom yang dikembangkan tidak hanya sekadar produk teknis yang ditujukan untuk menyelesaikan permasalahan robotik, tetapi juga memiliki potensi yang besar untuk diterapkan dalam kehidupan sosial dan pendidikan. Teknologi yang mampu mendeteksi lingkungan, mengenali objek, dan bergerak secara mandiri sangat relevan untuk diterapkan dalam berbagai bidang, seperti robot edukasi, logistik otomatis, atau

perangkat bantu dalam proses pembelajaran. Tujuan dari teknologi ini adalah untuk memudahkan dan meringankan beban kerja manusia, serta menciptakan efisiensi dalam pelaksanaan tugas, yang sejalan dengan semangat Islam untuk membawa kemudahan, bukan kesulitan.

Dengan demikian, inovasi teknologi yang bermanfaat dan mempermudah urusan orang lain adalah bagian dari implementasi perintah Allah untuk saling tolong-menolong dalam kebajikan. Sistem yang dihasilkan dari penelitian ini tidak hanya memiliki nilai akademik, tetapi juga merupakan bentuk kontribusi nyata terhadap masyarakat. Hal ini menguatkan bahwa ilmu pengetahuan dan teknologi dalam perspektif Islam harus selalu diarahkan kepada nilai manfaat dan keberkahan, serta membawa dampak positif terhadap kehidupan bersama.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem navigasi otonom pada robot soccer berbasis segmentasi warna *HSV* yang mampu mendeteksi objek (bola) dan mengarahkan pergerakan robot secara mandiri tanpa kendali manual. Sistem ini dirancang sebagai solusi terhadap keterbatasan navigasi berbasis *remote control* yang bergantung pada kecepatan respons manusia dan rentan terhadap kesalahan pengoperasian.

Hasil pengujian menunjukkan performa kecepatan respons yang sangat baik, dengan rata-rata waktu respon sebesar 83,1 milidetik, lebih cepat dibanding rata-rata waktu reaksi manusia terhadap stimulus visual yang berada di kisaran 250 milidetik (Zabalza et al., 2019). Hal ini membuktikan bahwa sistem dapat merespons objek secara real-time dan bahkan melampaui ketergantungan terhadap pengendali manusia dalam konteks waktu reaksi.

Selain itu, sistem terbukti mampu mengurangi potensi kesalahan yang umum terjadi pada navigasi berbasis *remote control*. Dengan akurasi deteksi sebesar 93,33% dari total 30 skenario pengujian (15 dengan bola, 15 tanpa bola), sistem menunjukkan kestabilan dalam mengenali objek berdasarkan warna, dan hanya menghasilkan dua kasus false positive tanpa adanya false negative. Performa ini menunjukkan keunggulan dari sistem otonom berbasis penglihatan komputer dalam menghindari kesalahan pengoperasian yang disebabkan oleh keterlambatan,

kelelahan, atau persepsi keliru dari operator manusia, sebagaimana dijelaskan dalam literatur mengenai sistem persepsi aktif yang dapat merespons dan menyesuaikan tindakan secara mandiri (Bajcsy et al., 2018).

Sistem ini juga menunjukkan kemampuan adaptasi terhadap variasi kondisi di lapangan. Sistem mampu mendeteksi bola pada berbagai jarak (50 hingga 250 cm) dengan hasil yang konsisten, serta tetap dapat mengenali objek dalam pencahayaan rendah (16 lux) meskipun dengan sedikit penurunan performa. Selain itu, sistem juga diuji terhadap berbagai warna latar belakang untuk mengevaluasi ketahanannya terhadap gangguan visual. Hasil menunjukkan bahwa sistem tetap akurat saat bola diletakkan di atas latar putih dan hijau kebiruan, namun gagal mendeteksi bola pada latar kuning kehijauan karena kemiripan spektrum warna antara latar dan objek. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun sistem memiliki toleransi terhadap variasi pencahayaan dan jarak, kinerjanya masih sensitif terhadap kemiripan warna antara objek dan latar belakang, yang menjadi salah satu keterbatasan metode segmentasi warna *HSV*.

Secara keseluruhan, sistem navigasi otonom yang dikembangkan telah memenuhi tujuan penelitian, menggantikan kendali manual dengan sistem otomatis yang cepat dan presisi, serta mengurangi risiko kesalahan pengoperasian.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan serta berbagai temuan selama proses pengujian dan analisis, terdapat beberapa hal yang dapat dijadikan masukan untuk pengembangan dan penyempurnaan sistem ke depan. Saran-saran ini ditujukan untuk meningkatkan performa, keandalan, serta fleksibilitas sistem

navigasi otonom berbasis segmentasi warna HSV dalam menghadapi kondisi lapangan yang lebih beragam dan kompleks.

1. Menambahkan pencahayaan tambahan atau metode adaptive thresholding.

Sistem menunjukkan penurunan performa deteksi objek pada pencahayaan rendah (16 lux). Oleh karena itu, disarankan untuk menambahkan pencahayaan tambahan seperti LED ring light di sekitar kamera, atau menerapkan metode adaptive thresholding yang dapat menyesuaikan sensitivitas deteksi terhadap perubahan intensitas cahaya secara otomatis.

2. Menambahkan validasi bentuk atau ukuran objek.

Dalam pengujian tanpa bola, sistem masih mendeteksi objek palsu (*false positive*) sebanyak dua kali, terutama ketika terdapat elemen visual dalam latar yang memiliki kemiripan warna dengan bola. Hal ini juga diperkuat oleh hasil pengujian pada latar belakang kuning kehijauan, di mana sistem gagal mendeteksi bola yang sebenarnya ada, karena objek menyatu secara visual dengan latar. Untuk mengatasi hal ini, sistem perlu ditingkatkan dengan menambahkan logika validasi tambahan, seperti pemeriksaan bentuk kontur (misalnya melalui nilai *circularity* atau *aspect ratio*), serta filter berdasarkan ukuran area minimum.

3. Mengimplementasikan kontrol proporsional berbasis posisi objek.

Saat ini, sistem hanya membedakan arah gerak secara diskret (kiri, tengah, kanan) berdasarkan posisi centroid. Disarankan untuk menerapkan kontrol proporsional berdasarkan error pixel terhadap pusat frame kamera, sehingga arah belok robot lebih halus dan proporsional terhadap posisi objek.

4. Menggunakan estimasi ukuran bola sebagai indikator jarak.

Sistem saat ini belum memperhitungkan seberapa dekat atau jauh objek berdasarkan ukuran visual bola. Penambahan logika untuk memperkirakan jarak berdasarkan luas area kontur bola dapat digunakan untuk menyesuaikan kecepatan atau memicu aksi seperti berhenti atau menendang bola saat jarak dianggap sudah sangat dekat.

5. Melakukan pengujian pada lingkungan yang lebih kompleks.

Pengujian saat ini dilakukan dalam arena terbatas dan terkontrol. Untuk validasi lebih lanjut, sistem perlu diuji dalam kondisi nyata yang lebih kompleks seperti pencahayaan alami yang berubah-ubah, gangguan visual dari objek lain, atau pergerakan di lapangan luas, agar ketahanan sistem terhadap berbagai kondisi dapat diukur secara menyeluruh.

6. Mengembangkan sistem untuk mendeteksi gawang sebagai target tujuan navigasi.

Penelitian ini hanya berfokus pada deteksi bola sebagai objek utama navigasi. Penelitian selanjutnya disarankan mengintegrasikan deteksi gawang sebagai target akhir pergerakan robot. Deteksi gawang dapat dilakukan menggunakan metode segmentasi warna tambahan jika gawang memiliki warna khusus, atau dengan pendekatan pengenalan bentuk dan struktur menggunakan metode *contour matching*, *edge detection*, atau algoritma berbasis *machine learning* ringan. Ini memungkinkan sistem untuk tidak hanya mengikuti bola, tetapi juga menyusun strategi navigasi dan aksi berdasarkan posisi gawang secara otomatis.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amri, S., Budiyanto, N., & Zamhuri, M. (2021). Desain dan Implementasi Komunikasi Control Robot Soccer Beroda Menggunakan User Datagram Protocol (UDP). *Seminar Nasional Industri dan Teknologi*.
- Andrew, A., Buliali, J. L., & Wijaya, A. Y. (2017). Deteksi Kecepatan Kendaraan Berjalan di Jalan Menggunakan OpenCV. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), A415-420. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.23489>
- Ansyori, A., & Veramasary, S. (2014). *Pengolahan Citra Hasil Sistem Monitoring Real Time Home Surveillance Pada Smartphone*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:106413737>
- Bajcsy, R., Aloimonos, Y., & Tsotsos, J. K. (2018). Revisiting active perception. *Autonomous Robots*, 42(2), 177–196. <https://doi.org/10.1007/s10514-017-9615-3>
- Dipura, G. P. A., Amanda, F., Firmansyah, M. R., Rizky, M. R., & Jamal, M. N. K. (2024). Teknologi Komputer Vision dalam Kamera Pengawas. *Karimah Tauhid*, 3(3), 3754–3760. <https://doi.org/10.30997/karimahtauhid.v3i3.12292>
- Edy Surya Prabowo, K., Divayana, Y., & Rahardjo, P. (2022). Perancangan Aplikasi Base Station Dalam Sistem Koordinasi Robot Sepak Bola Beroda Dengan Multi Thread. *Jurnal SPEKTRUM*, 9(4), 17. <https://doi.org/10.24843/SPEKTRUM.2022.v09.i04.p3>
- Hamzah, F. A., & Wahyusari, R. (2023). Perbandingan Perbaikan Citra Magnetic Resonance Imaging (MRI) Menggunakan Ruang Warna RGB, HSV dan YCbCr Dengan Metode Histogram Equalization dan Contrast Streching. *JIIFKOM (Jurnal Ilmiah Informatika Dan Komputer)*, 2(2), 22–26. <https://doi.org/10.51901/jiifkom.v2i2.355>
- Heryanto, I. W. A., & Gunadi, G. A. (2020). Segmentasi Warna Dengan Metode Thresholding. *Jurnal Matematika*, 14(1).
- Htet, H. T. M., Thu, T. T., Win, A. K., & Shibata, Y. (2020). Vision-based Automatic Strawberry Shape and Size Estimation and Classification Using Raspberry Pi. *2020 59th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE)*, 360–365. <https://doi.org/10.23919/SICE48898.2020.9240317>
- Ibnu Katsir, I. bin U. (2003). *Tafsir Ibnu Katsir* (M. Abdul Ghoffar, Trans.; Vol. 3). Pustaka Imam Asy-Syafi'i.

- Kang, H.-C., Han, H.-N., Bae, H.-C., Kim, M.-G., Son, J.-Y., & Kim, Y.-K. (2021). HSV Color-Space-Based Automated Object Localization for Robot Grasping without Prior Knowledge. *Applied Sciences*, 11(16), 7593. <https://doi.org/10.3390/app11167593>
- Kementerian Agama Republik Indonesia. (n.d.). *Tafsir Surah Al-Baqarah: Ayat 31*. Kementerian Agama Republik Indonesia. <https://quran.kemenag.go.id/quran/per-ayat/surah/2?from=31&to=31>
- Khamdi, N., Susantok, M., & Leopard, P. (2017). Pendeteksian Objek Bola dengan Metode Color Filtering HSV pada Robot Soccer Humanoid. *JURNAL NASIONAL TEKNIK ELEKTRO*, 6(2), 123. <https://doi.org/10.25077/jnte.v6n2.398.2017>
- Maric, P. (2012). Improving accuracy and flexibility of industrial robots using computer vision. In C. Volosencu (Ed.), *New Technologies—Trends, Innovations and Research*. InTech. <https://doi.org/10.5772/32600>
- Masril, M. A., & Caniago, D. P. (2023). Optimasi Teknologi Computer Vision pada Robot Industri Sebagai Pemindah Objek Berdasarkan Warna. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 11(1), 46. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v11i1.46>
- Nirmala, I., & Hidayati, R. (2024). Sistem Navigasi Otonom Robot Mobil Berbasis Ros Pada Robot Penggerak Diferensial. *INFOTECH Journal*, 10(2), 288–296. <https://doi.org/10.31949/infotech.v10i2.11219>
- Nurrohmah, E. A., Sena Bayu, B., Bachtiar, M. M., Kurnianto Wibowo, I., & Adryantoro, R. (2020). Detecting Features of Middle Size Soccer Field using Omnidirectional Camera for Robot Soccer ERSOW. 2020 *International Conference on Smart Technology and Applications (ICoSTA)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICoSTA48221.2020.1570615971>
- Panggabean, A., Syahfaridzah, A., & Ardiningih, N. (2020). Mendeteksi Objek Berdasarkan Warna Dengan Segmentasi Warna HSV Menggunakan Aplikasi MatLab. *METHOMIKA: Jurnal Manajemen Informatika Dan Komputerisasi Akuntansi*, 4(1), 94–97. <https://doi.org/10.46880/jmika.v4i2.97>
- Putra, R. M., & Puriyanto, R. D. (2022). Sistem Deteksi dan Pelacakan Bola dengan Metode Hough circle Transform Menggunakan Kamera Omnidirectional pada Robot Sepak Bola Beroda. *Buletin Ilmiah Sarjana Teknik Elektro*, 3(3), 176–184. <https://doi.org/10.12928/biste.v3i3.4786>
- Rifandi, R., S, S., & Anharudin. (2021). Rancang Bangun Kamera Pengawas Menggunakan Raspberry Dengan Aplikasi Telegram Berbasis Internet Of

Things. *PROSISKO: Jurnal Pengembangan Riset Dan Observasi Sistem Komputer*, 8(1), 18–32. <https://doi.org/10.30656/prosisko.v8i1.3101>

Rohadi, E., Adhitama, D. W., Ekojono, E., Ariyanto, R., Asmara, R. A., Ronilaya, F., Siradjuddin, I., & Setiawan, A. (2018). Sistem Monitoring Budidaya Ikan Lele Berbasis Internet Of Things Menggunakan Raspberry Pi. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 5(6), 745–750. <https://doi.org/10.25126/jtiik.2018561135>

Saputra, C. (2023). Implementasi Algoritma SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) Dan Algoritma Kalman Filter Dalam Mendeteksi Objek Bola. *Jurnal PROCESSOR*, 18(1). <https://doi.org/10.33998/processor.2023.18.1.791>

Septiyanda, Y., Muhtar, A., & Prasetyawan, P. (2022). Sistem Pendeteksi Target Berdasarkan Warna Pada Autonomous Robot Gun (ARO-GUN). *Injection: Indonesian Journal of Vocational Mechanical Engineering*, 2(2), 82–89. <https://doi.org/10.58466/injection.v2i2.1485>

Setyawan, N., Mardiyah, N. A., Zulfatman, Z., & Fajar, D. N. (2022). Navigasi Robot Sepak Bola Beroda Menggunakan Particle Filter Localization. *CYCLOTRON*, 5(1). <https://doi.org/10.30651/cl.v5i1.9419>

Shihab, M. Q. (2000). *Tafsir Al-Misbah: Pesan, Kesan, dan Keserasian Al-Qur'an* (Vol. 8). Lentera Hati.

Yinka-Banjo, C. O., Ugot, O. A., & Ehiorobo, E. (2022). Object detection for robot coordination in robotics soccer. *Nigerian Journal of Technological Development*, 19(2), 136–142. <https://doi.org/10.4314/njtd.v19i2.5>

Zabalza, J., Fei, Z., Wong, C., Yan, Y., Mineo, C., Yang, E., Rodden, T., Mehnen, J., Pham, Q.-C., & Ren, J. (2019). Smart Sensing and Adaptive Reasoning for Enabling Industrial Robots with Interactive Human-Robot Capabilities in Dynamic Environments—A Case Study. *Sensors*, 19(6), 1354. <https://doi.org/10.3390/s19061354>