

## PENERAPAN DETEKSI DAN PELACAKAN OBJEK PADA ROBOT OTONOM PENGUMPUL BOLA TENIS MEJA MENGGUNAKAN PENGOLAHAN CITRA

### IMPLEMENTATION OF OBJECT DETECTION AND TRACKING ON AUTONOMOUS TABLE TENNIS BALL COLLECTOR ROBOT USING IMAGE PROCESSING

Muhammad Syechan Naufalimam<sup>1</sup>, M. Zakiyullah Romdlony<sup>2</sup>, Willy Anugrah Cahyadi<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Universitas Telkom, Bandung

<sup>1</sup>syechannaufailmam@student.telkomuniversity.ac.id, <sup>2</sup>zakiyullah@telkomuniversity.ac.id,

<sup>3</sup>waczze@telkomuniversity.ac.id

#### Abstrak

Tenis meja merupakan salah satu olahraga yang dapat dimainkan secara tunggal maupun ganda. Dalam permainan maupun latihan tenis meja, seringkali banyak bola yang berceceran sehingga pemain maupun official team membutuhkan tenaga lebih untuk mengambil bola tersebut secara langsung. Maka, diperlukan sebuah robot untuk mengumpulkan bola tenis meja secara otonom. Tugas Akhir ini merancang sistem deteksi dan pelacakan objek secara *real-time* menggunakan *image processing* pada robot otonom pengumpul bola tenis meja. Proses pendeteksian bola dilakukan dengan dua tahap: *pre-processing* dan metode *contour detection*. *Pre-processing* dilakukan dengan mengubah citra bola yang memiliki format RGB menjadi HSV, citra HSV menjadi citra *thresholding*. Citra kemudian diperhalus dengan operasi morfologi. Setelah *pre-processing*, dilakukan pendeteksian bentuk bola dengan *contour detection* untuk menentukan koordinat bola. Koordinat bola diperlukan untuk pergerakan motor servo yang mengikuti perpindahan dari bola tersebut. Sistem deteksi dan pelacakan objek pada robot pengumpul bola tenis meja mampu mendeteksi jarak bola ketika kamera diam dengan akurasi terendah sebesar 97.631% dan akurasi tertinggi sebesar 99.607%. Ketika kamera bergerak mampu mendeteksi jarak bola dengan akurasi terendah sebesar 82.936% dan akurasi tertinggi pada 88.304%. Pada pergerakan kamera terhadap bola yang terdeteksi, motor servo mampu memberikan akurasi terendah sebesar 83.333% dan akurasi tertinggi sebesar 95%.

**Kata Kunci :** tenis meja, *autonomous robot*, *image processing*, pelacakan, *contour detection*

#### Abstract

Table tennis is a sport that can be played singles or doubles. In table tennis games and practice, often a lot of balls are scattered so that players and the official team need more energy to pick up the ball directly. So, we need a robot to collect table tennis balls autonomously. This final project designs object detection and tracking real-time system using image processing on an autonomous table tennis ball collecting robot. The ball detection process is carried out in two stages: *preprocessing* and methods *contour detection*. *Pre-processing* is done by changing the spherical image that has an RGB format into HSV, the HSV image into *image thresholding*. The image is then refined by morphological operations. After *pre-processing*, detecting the shape of the ball with *contour detection* to determine the coordinates of the ball. The coordinates of the ball are needed for the movement of the servo motor that follows the displacement of the ball. The object detection and tracking system on the table tennis ball collecting robot is able to detect the distance of the ball when the camera is still with the lowest accuracy of 97.631% and the highest accuracy of 99.607%. When the camera moves, it detects the distance of the ball with the lowest accuracy at 82.936% and the highest accuracy at 88.304%. In the movement of the camera to the detected ball, the servo motor is able to provide the lowest accuracy of 83.333% and the highest accuracy of 95%.

**Keywords:** table tennis, *autonomous robot*, *image processing*, tracking, *contour detection*.

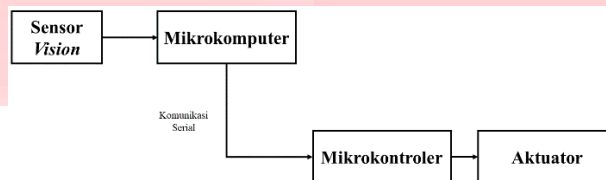
#### 1 Pendahuluan

Tenis meja merupakan olahraga yang bisa dimainkan oleh dua orang (*single*) atau dua tim (*double*). Olahraga ini menggunakan bola berukuran kecil dan alat pemukul berbentuk raket berlapis karet (bet) yang dimainkan diatas meja dengan net sebagai pembatas [1]. Pada umumnya untuk mengasah keterampilan memukul bola tenis meja, pemain akan berlatih memukul dengan bola sebanyak mungkin. Hal tersebut mengakibatkan banyak bola yang berserakan sehingga lebih banyak waktu dan tenaga yang digunakan untuk mengumpulkan bola tersebut. Terdapat beberapa alat pada yang digunakan sebagai pengumpul bola yang berserakan seperti sistem penggulung berongga, pemungut bola menggunakan jaring, dan juga ada yang menggunakan alat penumbuk berongga. Tetapi alat-alat tersebut masih dikendalikan secara konvensional.

Maka dari itu, dirancanglah suatu robot otonom (*autonomous robot*) yang bertujuan untuk mengumpulkan bola tanpa harus mengeluarkan lebih banyak energi dari pemain tersebut. Robot otonom adalah robot yang dirancang untuk menangani suatu permasalahan secara mandiri dengan sekali perintah [2]. Penelitian mengenai robot otonom pengumpul bola tenis meja telah dikembangkan dengan menggunakan kamera sebagai sensing robot otonom. Dibutuhkan juga penerapan dari pengolahan citra (*image processing*) untuk mengarahkan robot langsung bola tenis meja yang dituju. Pengolahan citra adalah teknik untuk mengolah masukan berupa citra agar keluarannya menghasilkan citra yang lebih baik [3].

## 2 Dasar Teori

### 2.1 Prinsip Kerja Ide



Gambar 1 Prinsip Kerja Deteksi dan Pelacakan Objek.

Sistem kerja alat pada penelitian ini memiliki data masukan, kemudian diolah dengan menggunakan mikrokontroler dan mikrokomputer, serta memiliki data keluaran. Berdasarkan Gambar 1, Data masukan berupa informasi citra (bola). Data tersebut diolah menggunakan mikrokomputer yang kemudian dihubungkan ke mikrokontroler secara serial sehingga aktuator dapat bergerak sesuai informasi dari citra. Pada penelitian ini hanya mengambil data jarak dan lokasi objek saja dengan proses sebagai berikut: (i) sensor menyesuaikan posisi sebagai titik awal memulai deteksi, (ii) aktuator menggerakkan kamera untuk menemukan objek yang diinginkan, (iii) jika objek terdapat dalam frame, mikrokomputer akan memproses objek tersebut, (iv) data hasil deteksi objek akan dikirimkan ke mikrokontroler, (v) setelah itu, mikrokontroler menggerakkan aktuator sesuai titik dari objek tersebut terdeteksi, dan (vi) setelah sesuai dengan titik yang diinginkan, data jarak dan lokasi objek dapat diambil.

### 2.2 Open Source Computer Vision (OpenCV)

OpenCV adalah suatu library untuk fungsi pemrograman *computer vision* secara *real-time* dengan kode yang telah dioptimalkan [4]. OpenCV dapat diprogram dengan menggunakan bahasa pemrograman C, C++, Python, Java, dan sebagainya. Dalam proses operasinya, OpenCV dapat digunakan dengan sistem operasi Windows, Linux, Android, iOS, dan MacOS [5].

### 2.3 Image Processing

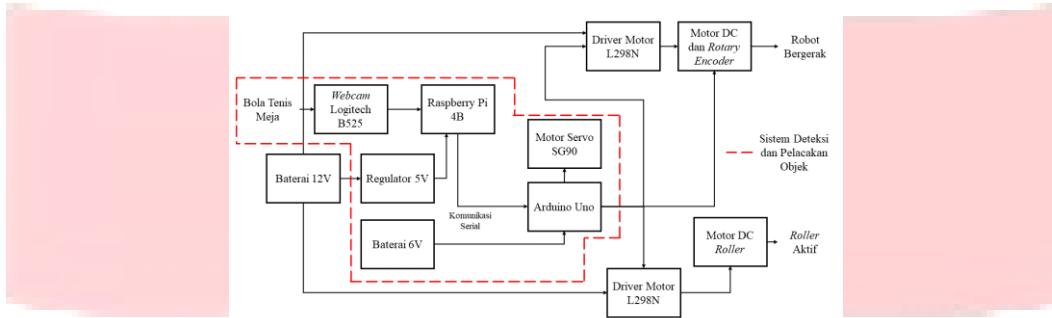
*Image processing* adalah bidang dari *computer vision* untuk mengolah citra sehingga didapatkan hasil citra lain dengan kualitas yang lebih baik [6]. Teknik ini berguna untuk mendapatkan informasi dengan memproses citra tersebut [7]. Sebuah citra dapat direpresentasikan dalam matriks intensitas cahaya dua dimensi ( $f(x,y)$ ) yang terdiri dari M kolom dan N baris yang perpotongannya disebut *pixel* [8]. Nilai intensitas cahaya harus bernilai diskrit positif karena menyatakan tingkat kecerahan pada derajat keabuan, dengan kata lain juga menyatakan jumlah warna yang ada. Bentuk matriks citra dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & \dots & f(0,N-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ f(M-1,0) & \dots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix}$$

dengan x adalah kolom matriks pada rentang  $0 < x \leq N - 1$ , y adalah baris matriks pada rentang  $0 < y \leq M - 1$ , dan  $f(x,y)$  adalah citra dalam matriks pada rentang  $0 < f(x,y) \leq G - 1$  [9].

### 3 Perancangan Sistem

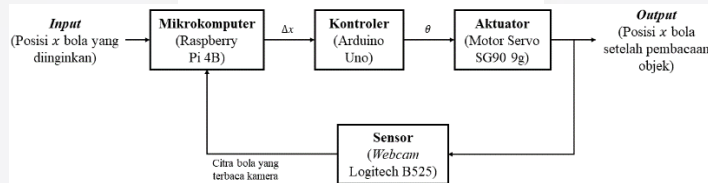
#### 3.1 Desain Sistem



**Gambar 2** Desain Sistem Deteksi dan Pelacakan Objek pada Robot Pengumpul Bola Tennis Meja.

Sistem yang dibangun berdasarkan Gambar 2 merupakan sistem yang terintegrasi oleh sensor yang berada di robot pengumpul bola tennis meja, kemudian diproses oleh mikrokomputer. Data dari sensor akan dikirim ke mikrokontroler untuk menggerakkan aktuator yang terintegrasi dengan sensor sesuai dengan objek yang dituju. Sistem ini memiliki masukan dari sensor yaitu webcam Logitech B525 untuk mendeteksi objek berupa bola tennis meja. Cara kerja sistem adalah sebagai berikut: (i) kamera akan mengatur posisi awal untuk mengaktifkan semua fitur pendeteksian objek, (ii) kamera akan bergerak secara otomatis untuk mencari objek sampai terdeteksi, (iii) jika objek sudah berada di dalam *frame*, maka fitur pendeteksian objek mulai bekerja. (iv) servo akan bergerak sesuai posisi objek yang telah ditentukan, dan (v) ketika objek dipindahkan ke titik lain, servo akan bergerak sesuai titik tersebut selama objek masih berada dalam *frame*.

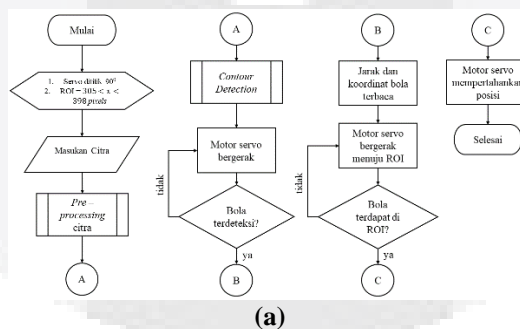
#### 3.2 Diagram Blok Sistem



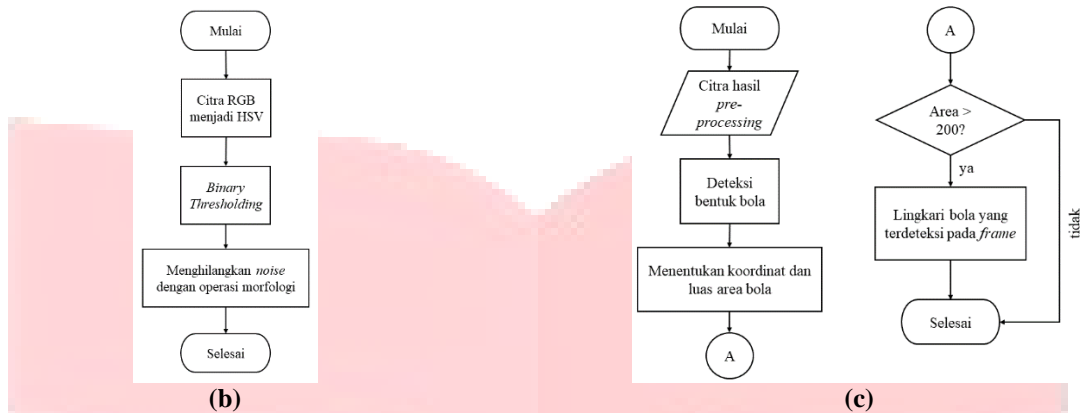
**Gambar 3** Diagram Blok Sistem Deteksi dan Pelacakan Objek.

Sistem ini memiliki diagram blok seperti Gambar 3. Diagram blok berupa sistem lingkaran tertutup (*closed loop*). Untuk mengolah citra menggunakan mikrokomputer Raspberry Pi 4B yang dihubungkan secara serial ke mikrokontroler Arduino Uno. Aktuator yang digunakan adalah motor servo SG90 9g untuk proses *tracking* sensor sesuai hasil pendeteksian objek. Untuk sensor sendiri menggunakan *webcam* Logitech B525 untuk mendeteksi objek berupa bola tennis meja secara *real-time*.

#### 3.3 Desain Perangkat Lunak



(a)



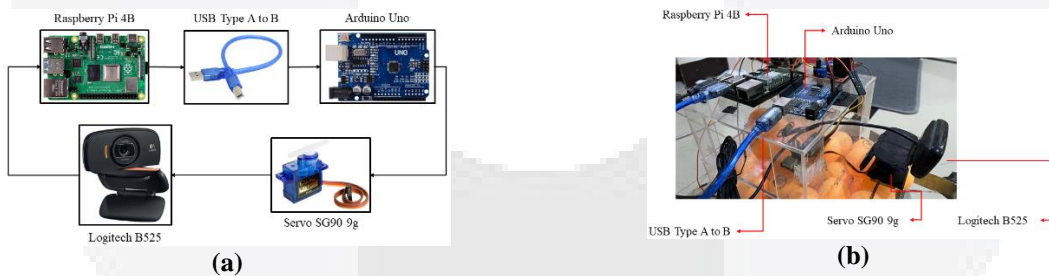
**Gambar 4** Diagram Alir: (a) Deteksi dan Pelacakan Objek Menggunakan Pengolahan Citra, (b) *Preprocessing*, dan (c) *Contour Detection*

Berdasarkan Gambar 4a, sistem pada penelitian ini dimulai dengan inisialisasi berupa: (i) kamera mulai menyala, (ii) servo berada pada sudut 90°, dan (iii) ROI koordinat x berada diantara 305 sampai 398 pixels. Sebelum servo bergerak, Raspberry Pi menjalankan kamera untuk mengaktifkan proses *image processing*. Setelah *image processing* aktif, motor servo bergerak untuk mencari bola. Apabila kamera mendeteksi adanya bola, robot akan menentukan jarak dan koordinat bola tersebut. Setelah didapatkan data-data tersebut, motor servo akan bergerak menuju ROI yang telah diatur sebelumnya. Jika objek yang terdeteksi berada di daerah ROI, maka servo akan mempertahankan posisi untuk memberikan nilai sudut yang terbaca dari hasil deteksi tersebut.

Image-processing pada penelitian ini terdiri dari dua tahap, yaitu *pre-processing* dan *contour detection*. *Pre-processing* seperti pada Gambar 4b dimulai dengan citra yang ditangkap kamera akan diubah dari RGB menjadi HSV untuk dapat membedakan nilai objek dan nilai *background*. Setelah konversi ke citra HSV, dilakukan proses *binary thresholding* untuk memberikan nilai satu (1) pada bola dan nilai nol (0) pada *background*. Faktanya, terdapat noise disekitar objek sehingga mengakibatkan proses deteksi akan menjadi kurang sempurna. Diperlukan operasi morfologi *opening* untuk menghilangkan *noise* yang berada di sekitar objek. Setelah tahap *pre-processing*, dilakukan proses deteksi bola dengan metode *Contour Detection*. Proses dimulai seperti Gambar 4c, yaitu dengan mencari keberadaan bola yang sesuai dengan hasil *pre-processing* pada langkah sebelumnya. Ketika bola sudah terdeteksi, maka bisa didapatkan koordinat x dan y serta luas area bola.

**3.4 Desain Perangkat Keras**

Penelitian ini menggunakan beberapa komponen yang terhubung antara satu dengan yang lainnya seperti Gambar 3.7. Komponen yang digunakan: (i) Raspberry Pi, (ii) Arduino UNO, (iii) USB Type A to Type B, (iv) Kamera, dan (v) Motor Servo.



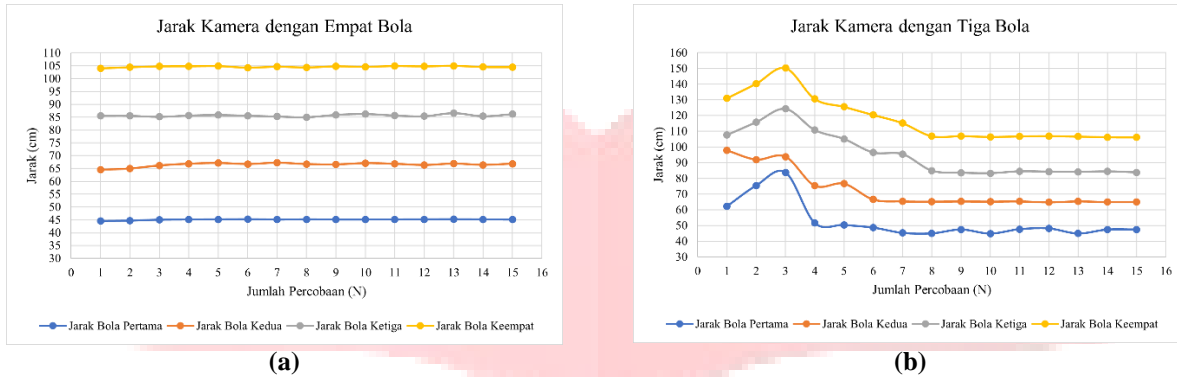
**Gambar 5** Komponen pada Sistem Deteksi dan Pelacakan Objek: (a) Skematik Alat dan (b) Realisasi Alat

**4 Hasil dan Analisis**

**4.1 Pengujian Jarak Bola Terhadap Kamera**

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan jarak bola yang terdeteksi oleh kamera ketika kamera tersebut dalam keadaan diam pada sudut 90° dan keadaan bergerak dari sudut 0° – 90°. Dalam pengujian ini dilakukan 15 kali percobaan disetiap jarak yang berbeda-beda. Skenario pengujian dilakukan dengan jarak masing-masing bola terhadap kamera, yaitu: (i) 45 cm, (ii) 65 cm, (iii) 85 cm, dan (iv) 105 cm. Hasil dari pengujian jarak bola terhadap kamera dalam keadaan diam dan bergerak ditunjukkan oleh Gambar 6 dimana ketika kamera diam, didapatkan akurasi tertinggi

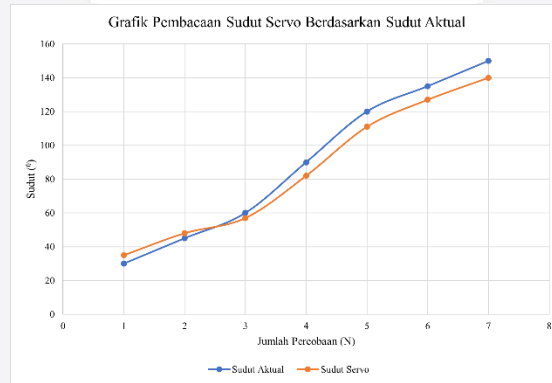
sebesar 99.607% dan akurasi terendah sebesar 97.631%. Sementara ketika kamera bergerak, didapatkan akurasi tertinggi sebesar 88.304% dan akurasi terendah sebesar 82.936%.



**Gambar 6** Grafik Hasil Deteksi Jarak Masing–Masing Bola Terhadap Kamera: (a) Kamera Diam dan (b) Kamera Bergerak.

**4.2 Pengujian Sudut Servo Ketika Kamera Mendeteksi Bola**

Pengujian sudut pada motor servo ini bertujuan untuk mengetahui sudut yang dihasilkan oleh motor servo terhadap sudut yang telah ditentukan sebelumnya. Pengujian ini menggunakan sudut–sudut aktual, yaitu: 30°, 45°, 60°, 90°, 120°, 135°, dan 150° yang masing–masing sudut diambil 15 kali percobaan. Berdasarkan Gambar 7, didapatkan akurasi terendah dari pembacaan sudut servo pada sudut 30° dengan akurasi sebesar 83.333%. Sementara untuk akurasi tertinggi dari pembacaan sudut servo pada sudut 60° dengan akurasi sebesar 95%.



**Gambar 7** Grafik Hasil Pembacaan Sudut Servo Berdasarkan Sudut Aktual.

**4.3 Pengujian Sistem Tracking pada Pergerakan Servo Akibat Deteksi Bola**

Pengujian sistem *tracking* berguna untuk mengetahui respon transien motor servo terhadap waktu dalam menyesuaikan pergerakan sehingga mencapai *setpoint* yang telah ditentukan. Pengujian pada penelitian ini menggunakan *setpoint* yang telah ditentukan, yaitu: 45°, 90°, dan 135°. Gambar menunjukkan respon sudut pada *tracking* bola berdasarkan *setpoint* yang telah ditentukan sebelumnya. Parameter yang akan diuji pada penelitian ini adalah: (i) *rise time* ( $t_r$ ), (ii) *delay time* ( $t_d$ ), dan (iii) *settling time* ( $t_s$ ).

**Tabel 1** Grafik Hasil Pembacaan Sudut Servo Berdasarkan Sudut Aktual.

$Y_{setpoint}$ (°)	$Y_{output}$ (°)	Respon Transien Motor Servo Berdasarkan <i>Setpoint</i> (detik)		
		<i>Rise time</i>	<i>Delay time</i>	<i>Settling time</i>
45	48	1.7071	0.4921	3.0397
90	85	7.7985	2.396	13.8863
135	127	13.0151	4.1208	23.1751

Berdasarkan Tabel 1, pada saat *setpoint* sebesar  $45^\circ$  didapatkan nilai *rise time* sebesar 1.7071 detik, *delay time* sebesar 0.4921 detik, dan *settling time* sebesar 3.0397 detik. Pada saat *setpoint* sebesar  $90^\circ$  didapatkan nilai *rise time* sebesar 7.7985 detik, *delay time* sebesar 2.396 detik, dan *settling time* sebesar 13.8863 detik. Pada saat *setpoint* sebesar  $135^\circ$  didapatkan nilai *rise time* sebesar 7.7985 detik, *delay time* sebesar 2.396 detik, dan *settling time* sebesar 13.8863 detik.

## 5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari pengujian dan analisis pada sistem deteksi dan pelacakan objek pada robot pengumpul bola tenis meja, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Robot mampu mendeteksi bola tenis meja berdasarkan bentuk dan warna dengan menggunakan metode *contour detection*.
2. Informasi citra terdiri dari luas area bola dan koordinat x pada bola. Luas area bola sendiri berguna untuk menentukan jarak antara kamera dengan bola yang dideteksi. Sementara koordinat x berguna sebagai acuan *tracking* agar kamera berada tepat di tengah objek yang terdeteksi.
3. Ada nya ROI digunakan sebagai daerah tengah untuk deteksi bola serta untuk menggerakkan kamera agar posisi kamera berada di daerah tengah *frame*.
4. Pada uji skenario deteksi jarak bola dalam keadaan diam, kamera mendeteksi empat bola dengan masing-masing jarak, yaitu: (i) 45 cm, (ii) 65 cm, (iii) 85 cm, dan (iv) 105 cm. Akurasi deteksi pada jarak 45 cm sebesar 99.607%, pada jarak 65 cm didapatkan akurasi sebesar 97.631%, pada jarak 85 cm didapatkan akurasi sebesar 99.238%, dan pada jarak 105 cm didapatkan akurasi sebesar 99.567%.
5. Pada uji skenario deteksi jarak bola dalam keadaan bergerak dari  $0^\circ$ – $90^\circ$ , kamera mendeteksi empat bola dengan masing-masing jarak, yaitu: (i) 45 cm, (ii) 65 cm, (iii) 85 cm, dan (iv) 105 cm. Akurasi deteksi pada jarak 45 cm sebesar 82.936%, pada jarak 65 cm didapatkan akurasi sebesar 88.304%, pada jarak 85 cm didapatkan akurasi sebesar 86.850%, dan pada jarak 105 cm didapatkan akurasi sebesar 87.902%.
6. Perbedaan akurasi deteksi jarak bola ketika keadaan diam dan bergerak diakibatkan perubahan frame akibat pergerakan kamera menyebabkan proses deteksi harus menyesuaikan dengan *framerate* yang ada pada kamera.
7. Pada uji sudut servo ketika kamera mendeteksi objek, didapatkan akurasi pada sudut objek  $30^\circ$  sebesar 83.333%, akurasi pada sudut objek  $45^\circ$  sebesar 93.333%, akurasi pada sudut objek  $60^\circ$  sebesar 95%, akurasi pada sudut objek  $90^\circ$  sebesar 91.111%, akurasi pada sudut objek  $120^\circ$  sebesar 92.5%, dan akurasi pada sudut objek  $150^\circ$  sebesar 93.333%. Hal tersebut diakibatkan motor servo terbebani oleh kamera sehingga pembacaan sudut sedikit terhambat.
8. Pada uji *tracking* bola, motor servo membutuhkan waktu tempuh sebesar 1.7071 detik untuk *tracking* bola dari sudut  $0^\circ$ – $45^\circ$ , 7.7985 detik untuk *tracking* bola dari sudut  $0^\circ$ – $90^\circ$ , dan 13.0151 detik untuk *tracking* bola dari sudut  $0^\circ$ – $135^\circ$ .

## Referensi

- [1] I. Irwansyah, "Pengembangan Buku Ajar Teori Tenis Meja Bagi Mahasiswa Kelas a 2016 Jurusan Pjkr Ikip Budi Utomo Malang," *JP.JOK (Jurnal Pendidik, Jasmani, Olahraga dan Kesehatan)*, vol. 1, no. 2, pp. 47–59, 2018, doi: 10.33503/jpjok.v1i2.166.
- [2] A. S. Taufik, "Sistem Navigasi Waypoint pada Autonomous Mobile Robot," *J. Mhs. TEUB*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2013.
- [3] H. Mulyawan, M. Z. H. Samsono, and Setiawardhana, "Identifikasi Dan Tracking Objek Berbasis Image," pp. 1–5, 2011.
- [4] K. Mistry and A. Saluja, "An Introduction to OpenCV using Python with Ubuntu," *Int. J. Sci. Res. Comput. Sci. Eng. Inf. Technol.* © 2016 IJSRCSEIT /, vol. 5, no. 2, pp. 2456–3307, 2016, [Online]. Available: <http://opencv.org>.
- [5] A. Lazaro, J. L. Buliali, and B. Amaliah, "Deteksi Jenis Kendaraan di Jalan Menggunakan OpenCV," *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 2, pp. 293–299, 2017, doi: 10.12962/j23373539.v6i2.23175.
- [6] P. Elektronika and N. Surabaya, "An Image Processing System For Visual Servoing of Soccer Robot," 2010, pp. 21–22.

- [7] Neetu Rani, "Image Processing Techniques: A Review," *J. Today's Ideas - Tomorrow's Technol.*, vol. 5, no. 1, pp. 40–49, 2017, doi: 10.15415/jotitt.2017.51003.
- [8] A. Jafar, A. Kadafi, and F. Utaminingrum, "Deteksi Objek Penghalang Secara Real-Time Berbasis Mobile Bagi Penyandang Tunanetra Menggunakan Analisis Blob," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 2, no. 1, pp. 423–432, 2018.
- [9] R. Kusumanto and A. Novi Tompunu, "Pengolahan Citra Digital untuk Mendeteksi Objek Menggunakan Pengolahan Warna Model Normalisasi RGB," *Semin. Nas. Teknol. Inf. Komun. Terap. 2011*, 2011, doi: 10.1016/S0166-1116(08)71924-1.