



Automatic Ping Pong Ball Collecting Robot Using Vacuum System and Raspberry Pi Based on Camera Detection

Robot Pengumpul Bola Pingpong Otomatis Menggunakan Sistem Vakum dan Raspberry Pi Berbasis Deteksi Kamera

Heni Yulia Putri¹, Herlambang Saputra², Hartati Deviana³

^{1,2,3} Teknik Komputer, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang

E-Mail: [1henyyp59@gmail.com](mailto:henyyp59@gmail.com), [2herlambang@polsri.ac.id](mailto:herlambang@polsri.ac.id), [3hartati.deviana@polsri.ac.id](mailto:hartati.deviana@polsri.ac.id)

Artikel: Diterima 04 September 2025; Diperbaiki 10 September 2025; Disetujui 16 September 2025
Corresponding Author: Heni Yulia Putri

Abstrak

Olahraga tenis meja merupakan cabang olahraga yang banyak diminati, namun proses pengumpulan bola setelah latihan sering kali menyita waktu dan mengurangi efisiensi. Berdasarkan pengamatan, seorang pemain membutuhkan 3–5 menit untuk mengumpulkan ± 50 bola secara manual, sehingga waktu efektif latihan berkurang hingga 10–15%. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan robot pengumpul bola pingpong otomatis dengan sistem deteksi visual berbasis Raspberry Pi dan OpenCV, serta kendali aktuator menggunakan mikrokontroler ESP32. Robot dilengkapi kamera Webcam C270 untuk deteksi bola, motor DC sebagai penggerak, sensor ultrasonik untuk menghindari rintangan, dan motor vakum sebagai mekanisme pengambilan bola. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu mendeteksi dan mengambil bola berdiameter 40 mm dengan tingkat keberhasilan 90% (9 dari 10 percobaan berhasil), sementara kegagalan terjadi pada bola berdiameter 50 mm yang tidak dapat terhisap oleh corong vakum. Rata-rata waktu penyelesaian pengambilan bola adalah 24 detik per bola, lebih lambat dibanding metode manual (3,6–6 detik per bola). Meskipun demikian, sistem ini menawarkan keunggulan berupa otomatisasi, konsistensi, dan pengurangan beban fisik pemain. Penelitian ini membuktikan bahwa integrasi Raspberry Pi dan ESP32 dapat mendukung sistem robotik otonom untuk olahraga. Ke depan, pengembangan diarahkan pada optimasi algoritma deteksi berbasis HSV atau machine learning, serta perbaikan desain mekanik vakum agar robot lebih efisien dan andal dalam berbagai kondisi.

Kata kunci: robot pengumpul bola, Raspberry Pi, ESP32, OpenCV, vakum, tenis meja

Abstract

Table tennis is a popular sport; however, collecting balls after practice often consumes significant time and reduces training efficiency. Observations show that a player requires approximately 3–5 minutes to manually collect around 50 balls, reducing effective training time by 10–15%. This study aims to design and implement an autonomous ping-pong ball collecting robot using Raspberry Pi and OpenCV for visual detection, and ESP32 as the actuator controller. The robot is equipped with a C270 webcam for ball detection, DC motors for movement, ultrasonic sensors for obstacle avoidance, and a vacuum mechanism for ball retrieval. Experimental results demonstrate that the system can successfully detect and retrieve 40 mm balls with a 90% success rate (9 out of 10 trials), while failure occurred with 50 mm balls due to vacuum nozzle limitations. The average completion time was 24 seconds per ball, which is slower compared to manual collection (3.6–6 seconds per ball). Nevertheless, the system offers advantages in terms of automation, consistency, and reduced physical workload for players. This research confirms that the integration of Raspberry Pi and ESP32 can support autonomous robotic systems in sports applications. Future work may focus on optimizing detection algorithms using HSV-based segmentation or machine learning approaches, and improving the vacuum design to handle larger and more diverse balls more efficiently.

Keywords: ball collecting robot, Raspberry Pi, ESP32, OpenCV, vacuum, table tennis

1. PENDAHULUAN

Olahraga tenis meja merupakan salah satu cabang olahraga yang banyak diminati karena sifatnya yang dinamis dan dapat dimainkan oleh berbagai kalangan [1]. Dalam sesi latihan intensif, pemain biasanya menggunakan puluhan hingga ratusan bola pingpong. Setelah sesi latihan selesai, bola-bola tersebut kerap tersebar ke berbagai penjuru ruangan dan harus dikumpulkan kembali [2]. Proses pengumpulan bola secara manual sering dianggap sepele, namun kenyataannya memakan waktu cukup lama. Berdasarkan pengamatan, seorang pemain rata-rata membutuhkan 3–5 menit untuk mengumpulkan ± 50 bola, sehingga waktu efektif latihan berkurang hingga 10–15% [3]. Selain itu, aktivitas ini juga menambah kelelahan fisik pemain maupun pelatih. Permasalahan ini menunjukkan pentingnya inovasi berupa sistem otomatis yang dapat membantu proses pengumpulan bola pingpong.

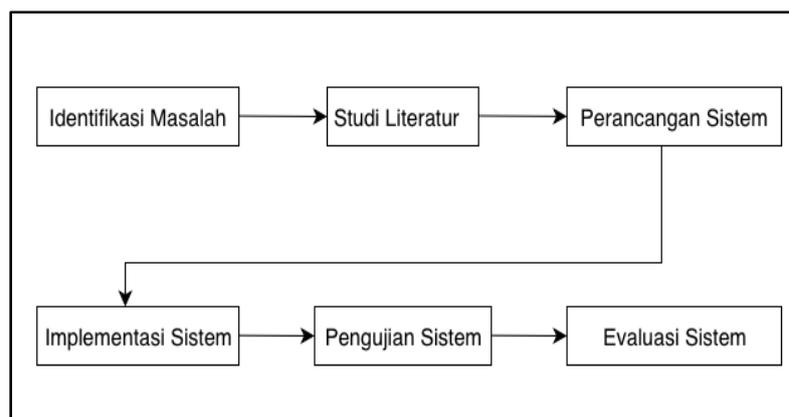
Perkembangan teknologi otomasi dan robotika membuka peluang untuk menghadirkan solusi tersebut. Robot pengumpul bola pingpong otomatis dapat meningkatkan efisiensi waktu, mengurangi beban fisik, dan menciptakan pengalaman latihan yang lebih profesional. Dengan mengintegrasikan teknologi pengolahan citra digital dan kendali mikrokontroler, proses pengumpulan bola yang repetitif dapat diotomatisasi secara presisi [4][5]. Robot yang dikembangkan pada penelitian ini menggunakan Raspberry Pi sebagai unit pemrosesan utama untuk mendeteksi bola berdasarkan warna dan bentuk melalui pustaka OpenCV [6][7]. Hasil deteksi kemudian dikirimkan ke mikrokontroler ESP32 yang bertugas mengatur pergerakan motor DC dan mengaktifkan sistem vakum [12][13]. Dengan demikian, alur kerja sistem dapat dijelaskan secara ringkas sebagai berikut: deteksi bola \rightarrow pengolahan data \rightarrow navigasi robot \rightarrow pengambilan bola.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengangkat topik serupa. Penelitian sebelumnya mengembangkan sistem robot otonom berbasis pengenalan objek [9], merancang prototipe robot pengumpul bola pingpong berbasis pengolahan citra [7], serta sistem sortir bola berdasarkan warna tanpa navigasi [8]. Penelitian lain juga menyoroti integrasi Raspberry Pi dan ESP32 untuk robot mobile [12], pemanfaatan motor DC dan driver L298N dalam sistem navigasi [13], serta pengembangan mekanisme vakum sebagai sistem pemungut bola [14]. Selain itu, pendekatan berbasis machine learning untuk deteksi warna juga mulai diterapkan pada sistem robotika modern [15].

Berdasarkan latar belakang dan ulasan tersebut, penelitian ini difokuskan pada perancangan dan implementasi robot pengumpul bola pingpong otomatis yang menggabungkan sistem deteksi citra menggunakan Raspberry Pi, sistem penggerak otomatis dengan motor DC, serta mekanisme pengambilan bola dengan vakum. Penelitian ini diharapkan mampu menjadi solusi efektif untuk mendukung latihan tenis meja yang lebih efisien dan nyaman, sekaligus memberikan kontribusi ilmiah dalam bidang penerapan sistem robotika dan pengolahan citra digital di dunia olahraga.

2. METODE DAN BAHAN

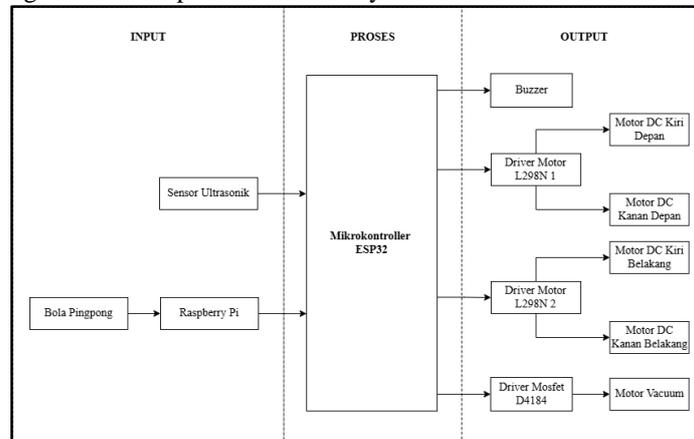
Penelitian ini menggunakan metode rekayasa sistem dengan pendekatan eksperimental untuk merancang, membangun, dan menguji kinerja robot pengumpul bola pingpong otomatis.



Gambar 1. Metode Penelitian

Proses penelitian berdasarkan tahapan penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 1, diawali dengan identifikasi masalah untuk menentukan kebutuhan pengembangan produk. Selanjutnya dilakukan studi literatur guna memperoleh landasan teori dan referensi dari penelitian terdahulu yang relevan. Tahap berikutnya adalah perancangan sistem yang mencakup desain perangkat keras dan perangkat lunak sesuai spesifikasi yang telah ditetapkan. Setelah itu dilakukan implementasi sistem dengan merakit komponen sesuai rancangan yang telah dibuat, termasuk integrasi Raspberry Pi, ESP32, motor DC, dan mekanisme vakum.

Prototipe yang telah dibangun kemudian menjalani serangkaian pengujian sistem untuk memastikan seluruh fungsi berjalan sesuai tujuan penelitian. Pengujian mencakup aspek deteksi visual, kendali navigasi, serta efektivitas mekanisme pengambilan bola. Hasil pengujian menjadi dasar evaluasi sistem hingga dilakukan penyempurnaan pada bagian tertentu yang masih memiliki keterbatasan. Proses evaluasi ini bertujuan untuk memperoleh hasil akhir yang optimal, andal, dan siap digunakan dalam kondisi nyata. Rancangan sistem yang diusulkan juga dilengkapi dengan blok diagram seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 untuk menggambarkan hubungan antar komponen secara menyeluruh.



Gambar 2. Blok Diagram

Robot Pengumpul Bola Pingpong Otomatis Menggunakan Sistem Vakum dan Raspberry Pi Berbasis Deteksi Kamera memiliki tiga bagian utama, yaitu input, proses, dan output yang saling terintegrasi agar alat dapat bekerja secara optimal. Tahapan pertama adalah input, yaitu bagian awal dari sistem yang bertugas mendeteksi kondisi di lingkungan sekitar. Pada sistem ini digunakan dua jenis input utama, yaitu sensor ultrasonik yang berfungsi untuk mendeteksi jarak atau keberadaan rintangan, serta kamera webcam yang terhubung ke Raspberry Pi untuk mendeteksi bola pingpong menggunakan pengolahan citra digital.

Selanjutnya, tahap proses merupakan inti dari pengolahan data yang diperoleh dari sensor dan Raspberry Pi. Data hasil deteksi bola dari Raspberry Pi serta data jarak dari sensor ultrasonik diteruskan ke mikrokontroler ESP32 untuk diproses lebih lanjut. ESP32 kemudian mengatur logika pergerakan robot, termasuk navigasi menuju bola, pengaturan kecepatan motor DC, dan pengaktifan motor vakum saat bola berada dalam jangkauan pengambilan.

Tahap terakhir adalah output, yaitu respon sistem berdasarkan hasil pengolahan data pada tahap proses. Output utama dari sistem meliputi pengaktifan buzzer sebagai indikator, pengaturan driver motor L298N untuk mengendalikan empat motor DC sebagai penggerak roda, serta driver mosfet D4184 untuk mengaktifkan motor vakum yang digunakan mengambil bola pingpong. Seluruh komponen ini bekerja secara terkoordinasi sehingga robot mampu mendeteksi, bergerak, dan mengambil bola pingpong secara otomatis.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem robot pengumpul bola pingpong berhasil diimplementasikan sesuai dengan rancangan yang telah disusun pada tahap perancangan. Robot terdiri dari komponen utama Raspberry Pi, mikrokontroler ESP32, kamera Webcam C270, sensor ultrasonik, motor DC penggerak, dan motor vakum. Raspberry Pi berfungsi sebagai unit pemrosesan citra dengan pustaka OpenCV untuk mendeteksi bola pingpong secara real-time berdasarkan warna dan bentuk. Hasil deteksi kemudian dikirimkan melalui komunikasi serial ke mikrokontroler ESP32. ESP32 berperan sebagai pengendali aktuator dengan mengatur pergerakan motor DC dan mengaktifkan motor vakum untuk mekanisme pengambilan bola.

Proses kerja sistem dimulai dari kamera Webcam C270 yang menangkap citra bola di area depan robot. Citra tersebut diproses oleh Raspberry Pi untuk mengekstraksi informasi posisi dan warna bola. Data hasil deteksi selanjutnya dikirim ke ESP32, yang menerjemahkannya menjadi perintah gerak robot melalui driver motor L298N. Motor DC menggerakkan roda robot menuju posisi bola secara presisi. Setelah jarak optimal tercapai, ESP32 mengaktifkan motor vakum melalui driver MOSFET D4184 sehingga bola dapat disedot masuk ke dalam wadah penyimpanan. Sensor ultrasonik digunakan sebagai pendukung untuk mendeteksi rintangan di sekitar robot dan mencegah terjadinya tabrakan.

Dengan integrasi tersebut, Raspberry Pi fokus pada pengolahan citra sedangkan ESP32 menangani kendali aktuator. Kombinasi keduanya membuat robot mampu bekerja secara otomatis, efisien, dan akurat dalam

mengumpulkan bola pingpong. Selain itu, rancangan sistem ini bersifat modular sehingga setiap komponen dapat diuji dan dikembangkan secara terpisah maupun terintegrasi. Konsep modular ini memberi keuntungan dari sisi pemeliharaan dan potensi pengembangan di masa mendatang.



Gambar 3 Tampak Depan Robot

Tampak depan robot memperlihatkan kamera Webcam C270 yang terpasang di bagian atas sebagai sensor utama pendeteksi bola pingpong sekaligus pengenalan warna dan jarak secara real-time. Di bawah kamera terdapat corong vakum untuk menyedot bola ke dalam wadah penyimpanan. Penempatan kamera dan corong yang sejajar memudahkan proses deteksi dan pengambilan bola berlangsung simultan dan efisien.



Gambar 4 Tampak Belakang Robot

Tampak belakang robot memperlihatkan modul ESP32 sebagai pusat kendali yang terhubung dengan Raspberry Pi. Di atasnya terpasang motor vakum untuk menyedot bola ke wadah penyimpanan. Area ini juga dilengkapi LCD untuk menampilkan status sistem serta modul mosfet sebagai pengatur daya, sehingga integrasi kendali dan aktuasi dapat berjalan efisien dan stabil.

3.1 Pengujian

Evaluasi sistem robot dilakukan dengan menguji setiap komponen utama secara terpisah melalui beberapa percobaan untuk menilai konsistensi kinerjanya dalam mendukung keseluruhan proses kerja robot.

a. Pengujian Kamera Webcam C270

Kamera Webcam C270 berfungsi sebagai input visual utama yang mendeteksi bola pingpong secara real-time menggunakan pustaka OpenCV, lalu mengarahkan pergerakan robot secara otomatis.

Tabel 1 Daftar Uji Kamera Webcam C270

Percobaan Ke-	Komponen yang diuji	Warna Bola	Deteksi	Keterangan
1.	Kamera Webcam C270	Kuning	Terdeteksi	Bola terdeteksi tanpa kendala

2.	Kamera Webcam C270	Kuning	Terdeteksi	Deteksi cepat dan respons sistem baik
3.	Kamera Webcam C270	Kuning	Terdeteksi	Deteksi tepat sesuai warna dan bentuk bola
4.	Kamera Webcam C270	Putih	Terdeteksi	Bola putih terdeteksi namun kurang stabil
5.	Kamera Webcam C270	Putih	Terdeteksi	Gagal deteksi, sistem hanya kenali warna kuning

b. Pengujian Motor DC

Motor DC berfungsi sebagai aktuator utama penggerak robot. Pengujian lima kali percobaan menunjukkan kinerja motor yang stabil dalam mendukung pergerakan robot.

Tabel 2 Daftar Uji Motor DC

Percobaan Ke-	Komponen yang diuji	Berhasil / Tidak Berhasil	Jarak	Keterangan
1.	Motor DC	Berhasil	5cm	Putaran motor stabil dan kuat
2.	Motor DC	Berhasil	10cm	Arah putaran sesuai perintah
3.	Motor DC	Berhasil	15cm	Kecepatan putaran konsisten
4.	Motor DC	Berhasil	20cm	Motor beroperasi tanpa gangguan
5.	Motor DC	Berhasil	25cm	Respon motor cepat dan stabil

c. Pengujian Sistem Vakum

Motor vakum berfungsi sebagai mekanisme utama pengambilan bola pingpong. Pengujian menunjukkan motor mampu menyedot bola berdiameter 40 mm dengan konsisten, meskipun performa menurun pada bola berukuran lebih besar.

Tabel 3 Daftar Uji Sistem Vakum

Percobaan Ke-	Komponen yang diuji	Warna Bola	Berhasil / Tidak Berhasil	Keterangan
1.	Motor Vakum	Kuning	Berhasil	Bola Tersedot masuk
2.	Motor Vakum	Kuning	Berhasil	Daya Terhisap Stabil
3.	Motor Vakum	Kuning	Berhasil	Posisi bola tepat di depan corong
4.	Motor Vakum	Putih	Berhasil	Bola putih berhasil tersedot
5.	Motor Vakum	Putih	Berhasil	Penyedotan sedikit lambat namun berhasil

d. Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Selain pengujian komponen, dilakukan evaluasi kinerja sistem secara menyeluruh untuk menilai kemampuan robot dalam mendeteksi, bergerak menuju, dan mengambil bola pingpong dari berbagai posisi. Pengujian sebanyak 10 kali mencakup variasi posisi, warna, dan ukuran bola, termasuk bola kuning standar (40 mm), bola berukuran lebih besar, serta bola berwarna merah dan putih, guna mengetahui batas kemampuan sistem terhadap objek dengan karakteristik berbeda.

Tabel 4 Daftar Uji Sistem Secara Keseluruhan

No.	Kasus Uji	Warna Bola	Ukuran Bola	Deteksi	Durasi	Keterangan
1	Posisi Bola 1	Kuning	40 mm	Terdeteksi	00:00:25	Deteksi dan pengambilan berjalan lancar
2	Posisi Bola 2	Putih	40 mm	Terdeteksi	00:00:24	Bola putih terdeteksi dan berhasil disedot
3	Posisi Bola 3	Kuning	40 mm	Terdeteksi	00:00:22	Deteksi dan respons sistem cepat
4	Posisi Bola 4	Putih	40 mm	Terdeteksi	00:00:28	Deteksi berhasil, namun respons sedikit lambat
5	Posisi Bola 5	Kuning	40 mm	Terdeteksi	00:00:26	Sistem stabil, daya hisap optimal
6	Posisi Bola 6	Putih	40 mm	Terdeteksi	00:00:26	Bola putih berhasil terdeteksi dan tersedot
7	Posisi Bola 7	Kuning	40 mm	Terdeteksi	00:00:27	Bola terdeteksi dan berhasil disedot
8	Posisi Bola 8	Putih	40 mm	Terdeteksi	00:00:24	Deteksi putih berhasil dengan respons sedikit lambat
9	Posisi Bola 9	Kuning	40 mm	Terdeteksi	00:00:24	Bola terdeteksi dan berhasil disedot
10	Bola berukuran besar	Kuning	50 mm	Terdeteksi	00:00:25	Tidak tersedot, ukuran melebihi corong
	Rata-Rata (terdeteksi)	–	–	–	00:00:24	Deteksi berhasil hanya untuk bola kuning 40 mm

3.2 Pembahasan

Berdasarkan pengujian, sistem robot pengumpul bola pingpong mampu bekerja otomatis dan andal pada kondisi tertentu. Kamera Webcam C270 yang terhubung ke Raspberry Pi dengan pustaka OpenCV berhasil mendeteksi bola kuning berdiameter 40 mm secara konsisten dan real-time, dengan akurasi tinggi pada pencahayaan stabil. Namun, deteksi bola putih memiliki akurasi sedikit lebih rendah dan respons lebih lambat karena keterbatasan segmentasi warna, terutama pada latar belakang dengan kontras rendah.

Pengujian motor DC menunjukkan pergerakan robot stabil dan responsif pada berbagai jarak, mendukung navigasi yang efisien menuju bola. Motor mampu merespons perintah maju, mundur, dan belok secara tepat, sehingga meminimalkan waktu tempuh menuju target. Sistem vakum mampu menyedot bola kuning dan putih berukuran 40 mm dengan daya hisap yang cukup, namun gagal pada bola berdiameter 50 mm karena keterbatasan ukuran corong dan tekanan hisap.

Pada pengujian keseluruhan dengan 10 skenario, sistem berhasil menangani bola kuning pada 5 pengujian dan bola putih pada 4 pengujian, dengan total tingkat keberhasilan 90% dan rata-rata waktu penyelesaian tugas 24 detik per bola. Kegagalan terjadi pada bola berukuran besar (50 mm) yang tidak dapat masuk ke corong penyedot. Jika dibandingkan dengan metode manual, seorang pemain membutuhkan waktu 3–5 menit untuk mengumpulkan ± 50 bola, atau sekitar 3,6–6 detik per bola. Hal ini menunjukkan bahwa robot masih lebih lambat dibanding metode manual, tetapi menawarkan keuntungan berupa otomatisasi dan pengurangan beban fisik.

Secara umum, sistem berfungsi baik sesuai rancangan dan mampu mengintegrasikan deteksi visual, navigasi, dan mekanisme pengambilan dengan cukup efisien. Meskipun demikian, pengembangan lebih lanjut diperlukan, terutama pada optimasi algoritma deteksi warna melalui penyesuaian parameter OpenCV atau

penerapan metode berbasis machine learning [4], serta peningkatan daya hisap dan desain corong vakum agar mampu menangani variasi warna dan ukuran bola yang lebih luas.

Untuk penelitian selanjutnya, beberapa pengembangan yang dapat dilakukan Optimasi algoritma deteksi citra, misalnya dengan menerapkan metode segmentasi berbasis ruang warna HSV yang lebih adaptif terhadap variasi pencahayaan, atau algoritma berbasis machine learning seperti YOLO (You Only Look Once) untuk meningkatkan akurasi deteksi terhadap berbagai warna dan kondisi lingkungan. Perbaikan desain mekanik vakum, terutama dengan memperbesar diameter corong dan meningkatkan kapasitas daya hisap motor, sehingga robot mampu menangani bola berukuran lebih besar dan mengurangi kegagalan pengambilan. Integrasi sensor tambahan, seperti kamera depth atau sensor LIDAR mini untuk memperbaiki sistem navigasi dan menghindari rintangan dengan lebih presisi. Pengujian pada kondisi nyata, misalnya di lapangan tenis meja dengan variasi intensitas cahaya (terang, redup, atau cahaya alami), sehingga dapat mengevaluasi ketahanan (robustness) sistem pada situasi yang lebih beragam. Analisis kuantitatif yang lebih detail, meliputi pengukuran tingkat akurasi deteksi untuk tiap warna bola, rata-rata durasi pengambilan bola, serta perhitungan deviasi standar dari waktu penyelesaian. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan validitas hasil penelitian dan menjadi dasar perbandingan dengan metode manual. Integrasi sistem otonom berbasis kecerdasan buatan, misalnya penerapan path planning otomatis agar robot dapat bergerak lebih efisien dalam ruangan, serta mengurangi waktu tempuh menuju bola.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Sistem robot pengumpul bola pingpong berbasis Raspberry Pi dan ESP32 dengan mekanisme vakum mampu mendeteksi dan mengambil bola berdiameter 40 mm secara otomatis dengan tingkat keberhasilan 90%.
2. Kamera Webcam C270 yang terintegrasi dengan OpenCV memiliki akurasi deteksi tinggi pada bola kuning, namun akurasi menurun pada bola putih karena keterbatasan segmentasi warna.
3. Sistem penggerak menggunakan motor DC bekerja stabil dan responsif, mendukung navigasi yang efisien menuju bola.
4. Mekanisme vakum efektif pada bola standar (40 mm), tetapi gagal menangani bola berdiameter lebih besar karena keterbatasan ukuran corong dan daya hisap.
5. Rata-rata waktu penyelesaian tugas pengambilan bola adalah 24 detik per bola. Jika dibandingkan dengan metode manual (3,6–6 detik per bola), robot masih lebih lambat, tetapi memberikan keuntungan dari sisi otomatisasi, konsistensi, dan pengurangan beban fisik pemain.

REFERENSI

- [1] A. P. Nugroho, "Rancang Bangun Robot Pengumpul Bola Pingpong Menggunakan Metode Garis dan Sensor Ultrasonik," *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 9, no. 3, pp. 211–218, 2021.
- [2] M. H. Ramadhan and S. A. Rahman, "Analisis Efektivitas Penggunaan Robot untuk Pengumpulan Bola Tenis Meja," *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi*, vol. 8, no. 2, pp. 145–152, 2020.
- [3] R. A. Fitriansyah, "Peran Otomasi dalam Peningkatan Produktivitas Sistem Robotika," *Jurnal Sistem dan Informatika*, vol. 13, no. 2, pp. 88–95, 2021.
- [4] S. R. Kurniawan and T. Prasetyo, "Pengolahan Citra Digital Menggunakan Metode Segmentasi Warna untuk Deteksi Objek," *Jurnal Sistem Informasi*, vol. 14, no. 2, pp. 101–108, 2020.
- [5] D. W. Santoso, "Implementasi Kendali Mikrokontroler pada Sistem Otomatisasi Robot Mobile," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 11, no. 1, pp. 33–41, 2021.
- [6] R. S. Putra, "Implementasi OpenCV untuk Deteksi Bola Pingpong Berbasis Raspberry Pi," *Jurnal Teknologi dan Rekayasa*, vol. 15, no. 4, pp. 275–282, 2021.
- [7] D. F. Ramli, "Pengembangan Robot Otonom Berbasis Pengenalan Objek," *Jurnal Robotika dan Otomasi*, vol. 3, no. 1, pp. 55–63, 2019.
- [8] I. M. W. Ardiansyah, "Rancang Bangun Prototipe Robot Pengumpul Bola Pingpong Berbasis Pengolahan Citra," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 7, no. 2, pp. 120–127, 2019.
- [9] A. Y. Saputra, "Sistem Sortir Bola Berdasarkan Warna Menggunakan Sensor Visual," *Jurnal Elektronika dan Sistem Kendali*, vol. 12, no. 3, pp. 210–217, 2020.
- [10] T. F. Lestari, "Optimasi Algoritma Deteksi Warna Menggunakan HSV Thresholding pada Sistem Robotik," *Jurnal Sistem Cerdas*, vol. 5, no. 1, pp. 40–47, 2021.
- [11] A. S. Widodo, "Integrasi Raspberry Pi dan ESP32 untuk Kendali Robot Mobile," *Jurnal Elektronika dan Kontrol*, vol. 9, no. 4, pp. 188–194, 2022.

- [12] L. P. Santika, "Penggunaan Motor DC dan Driver L298N pada Sistem Navigasi Robot," *Jurnal Mekanika*, vol. 6, no. 2, pp. 75–83, 2020.
- [13] F. H. Wibowo, "Rancang Bangun Sistem Vakum untuk Robot Pemungut Bola," *Jurnal Inovasi Teknologi*, vol. 10, no. 1, pp. 55–62, 2021.
- [14] Y. A. Permadi, "Penerapan Raspberry Pi dalam Sistem Pengolahan Citra Real-Time," *Jurnal Teknologi Informasi dan Elektronika*, vol. 8, no. 3, pp. 199–206, 2020.
- [15] K. N. Hidayah, "Implementasi Machine Learning untuk Deteksi Warna pada Aplikasi Robotika," *Jurnal Kecerdasan Buatan*, vol. 4, no. 2, pp. 90–97, 2022.