

PENGENDALIAN MOTOR DC PADA ROBOT PINGPONG MENGGUNAKAN SENSOR LD2410C

M. Rizky Tanjaya¹, Widi Aribowo², Aditya Chandra Hermawan³, As'ad Shidqy Aziz⁴

^{1,2,3,4} Sarjana Terapan Teknik Listrik, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

Article Info

Article history:

Diterima 24 Juli 2026

Direvisi 27 Juli 2026

Diterbitkan 31 Juli 2026

Keywords:

Robot Pingpong

ESP32

HLK-LD2410C

Motor DC

BTS7960

ABSTRAK

Robot pelontar bola pingpong merupakan media latihan yang dapat meningkatkan efektivitas latihan tenis meja melalui pemberian umpan bola secara berulang dan konsisten. Namun, sebagian besar robot pelontar masih memerlukan pengoperasian secara manual sehingga kurang efisien dalam mendeteksi keberadaan pemain dan mengaktifkan sistem secara otomatis. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem pengendalian motor DC pada robot pelontar bola pingpong menggunakan sensor radar HLK-LD2410C sebagai pendeteksi keberadaan pemain. Sistem dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32 yang memproses data sensor untuk mengendalikan motor DC RS775 melalui driver BTS7960, motor gear DC sebagai mekanisme pengumpan bola melalui modul relay, dan motor servo sebagai pembuka serta penutup hopper. Metode penelitian meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, perakitan sistem, serta pengujian berdasarkan variasi nilai *Pulse Width Modulation* (PWM), putaran motor (RPM), jarak lontaran, kecepatan bola, dan kemampuan deteksi sensor. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor HLK-LD2410C mampu mendeteksi keberadaan pemain secara *real-time* dan mengaktifkan maupun menghentikan sistem pelontar secara otomatis sesuai jarak yang telah ditentukan. Peningkatan nilai PWM menghasilkan kenaikan putaran motor yang berdampak pada bertambahnya jarak lontaran dan kecepatan bola. Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi sensor HLK-LD2410C, ESP32, dan sistem pengendalian motor DC mampu menghasilkan robot pelontar bola pingpong yang bekerja secara otomatis, sederhana, dan efisien. Kontribusi utama penelitian ini adalah penerapan sensor radar HLK-LD2410C tanpa menggunakan kamera atau *image processing*, sehingga sistem tidak bergantung pada kondisi pencahayaan dan memiliki biaya implementasi yang lebih rendah.

This is an open access article under the [CC BY-SA](#) license.



Corresponding Author:

M. Rizky Tanjaya

Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

Email: mtanjaya.22032@mhs.unesa.ac.id

1. PENDAHULUAN

Olahraga tenis meja merupakan salah satu cabang olahraga yang membutuhkan koordinasi, kecepatan reaksi, serta ketepatan dalam mengembalikan bola. Untuk meningkatkan kemampuan tersebut, pemain memerlukan latihan secara berulang dengan intensitas tinggi. Salah satu media latihan yang banyak digunakan adalah robot pelontar bola pingpong (*table tennis ball launcher*) karena mampu menghasilkan lontaran bola secara konsisten sehingga membantu meningkatkan kemampuan teknik, refleks, dan akurasi pukulan pemain tanpa harus selalu didampingi pelatih maupun sparring partner [2], [15]. Namun, sebagian besar robot pelontar bola yang telah dikembangkan masih memerlukan pengaturan secara manual sehingga kurang fleksibel dalam penggunaannya.

Journal homepage: <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jket/index>

Perkembangan teknologi mikrokontroler telah mendorong berkembangnya berbagai sistem otomasi yang lebih sederhana, efisien, dan mudah diimplementasikan. Salah satu mikrokontroler yang banyak digunakan adalah ESP32 karena memiliki kemampuan pemrosesan data yang tinggi, mendukung komunikasi *Wi-Fi* dan *Bluetooth*, serta mampu mengendalikan berbagai sensor dan motor secara bersamaan. ESP32 telah diterapkan pada berbagai penelitian, seperti sistem perangkap tikus otomatis, pengisian token listrik prabayar, sistem pemilah kemasan berbasis *Internet of Things (IoT)*, alat pengukur kecepatan dan arah mata angin, sistem monitoring sensor dan motor berbasis *IoT*, sistem *Automatic Transfer Switch (ATS)*, hingga sistem pengukuran kualitas air yang menunjukkan performa pengendalian yang baik pada berbagai aplikasi otomasi [3]–[8], [20].

Motor DC merupakan motor utama pada robot pelontar bola pingpong yang berfungsi sebagai penggerak roda pelontar sehingga menghasilkan kecepatan awal bola. Pengaturan kecepatan motor DC umumnya menggunakan metode *Pulse Width Modulation (PWM)* karena mampu menghasilkan putaran motor yang stabil, efisien, serta mudah diterapkan pada sistem berbasis mikrokontroler. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa pengaturan kecepatan motor DC menggunakan metode PWM mampu meningkatkan kestabilan putaran motor sehingga banyak digunakan pada berbagai sistem otomasi [9], [11], [13], [16], [17]. Selain itu, penggunaan *Switch Mode Power Supply (SMPS)* sebagai sumber catu daya mampu menyediakan suplai tegangan dan arus yang stabil sehingga sesuai digunakan sebagai sumber daya utama pada sistem robot pelontar bola [10], [12].

Salah satu tantangan dalam pengembangan robot pelontar bola adalah proses pendeteksian keberadaan pemain secara otomatis. Penelitian sebelumnya umumnya memanfaatkan kamera dan teknik *image processing* untuk mendeteksi objek pemain sebelum melakukan pelontaran bola [15]. Meskipun memiliki tingkat akurasi yang baik, sistem berbasis kamera membutuhkan perangkat keras dengan spesifikasi yang tinggi serta sangat dipengaruhi oleh kondisi pencahayaan lingkungan. Sebagai alternatif, sensor radar HLK-LD2410C menawarkan kemampuan mendeteksi objek bergerak maupun objek diam menggunakan gelombang mikro (*millimeter wave radar*) berfrekuensi 24 GHz tanpa dipengaruhi oleh kondisi pencahayaan [1], [14], [18], [19]. Teknologi radar juga memiliki kemampuan mendeteksi keberadaan manusia secara *real-time* dengan tingkat akurasi yang tinggi sehingga berpotensi diterapkan sebagai sensor utama pada sistem robot pelontar bola otomatis.

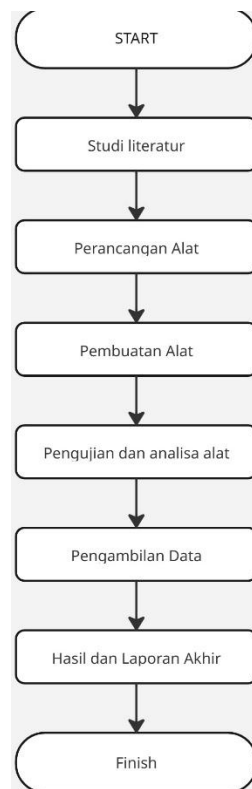
Penelitian mengenai robot pelontar bola pingpong telah banyak dikembangkan sebagai media latihan untuk meningkatkan konsistensi pukulan pemain. Dittrich *et al.* [2] mengembangkan robot pelontar bola pingpong (*AIMY*) yang mampu menghasilkan lintasan bola secara presisi sebagai media latihan. Di sisi lain, perkembangan teknologi radar gelombang milimeter (*millimeter-wave radar*) menunjukkan bahwa sensor radar mampu mendeteksi keberadaan manusia secara *real-time* dengan tingkat komputasi yang relatif rendah dan tidak dipengaruhi kondisi pencahayaan [14], [18], [19]. Namun, pemanfaatan sensor radar tersebut pada sistem robot pelontar bola pingpong masih sangat terbatas.

Berdasarkan kondisi tersebut, terdapat *research gap* pada penelitian ini, yaitu penerapan sensor radar HLK-LD2410C sebagai pendeteksi keberadaan pemain pada robot pelontar bola pingpong. Berbeda dengan metode berbasis kamera yang memerlukan proses *image processing* dan sangat dipengaruhi oleh kondisi pencahayaan, sensor HLK-LD2410C bekerja menggunakan gelombang radar 24 GHz sehingga mampu mendeteksi keberadaan objek tanpa bergantung pada intensitas cahaya. Selain itu, sensor ini menghasilkan informasi keberadaan dan jarak objek secara langsung sehingga proses komputasinya lebih ringan dan biaya implementasinya lebih rendah dibandingkan sistem berbasis kamera [1], [14], [18].

Berdasarkan *research gap* tersebut, penelitian ini mengusulkan perancangan robot pelontar bola pingpong berbasis ESP32 yang mengintegrasikan sensor radar HLK-LD2410C sebagai pendeteksi keberadaan pemain dengan algoritma pengendalian adaptif berdasarkan jarak. Sistem dirancang untuk mengendalikan kecepatan motor DC RS775 melalui pengaturan nilai PWM sehingga robot hanya melontarkan bola pada area latihan yang telah ditentukan. Kontribusi utama penelitian ini adalah menghadirkan sistem robot pelontar bola pingpong yang lebih sederhana, memiliki komputasi yang lebih ringan, tidak bergantung pada kondisi pencahayaan, serta menawarkan biaya implementasi yang lebih rendah dibandingkan pendekatan berbasis kamera.

2. METODA

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) yang meliputi tahapan studi literatur, perancangan sistem, pembuatan perangkat, pengembangan perangkat lunak, pengujian, serta analisis hasil. Sistem dirancang untuk mengendalikan robot pelontar bola pingpong secara otomatis dengan memanfaatkan sensor radar HLK-LD2410C sebagai pendeteksi keberadaan pemain. Data hasil deteksi diproses oleh mikrokontroler ESP32 untuk mengendalikan motor DC pelontar, motor gear DC sebagai mekanisme pengumpan bola, dan motor servo sebagai mekanisme pembuka serta penutup hopper. Tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.

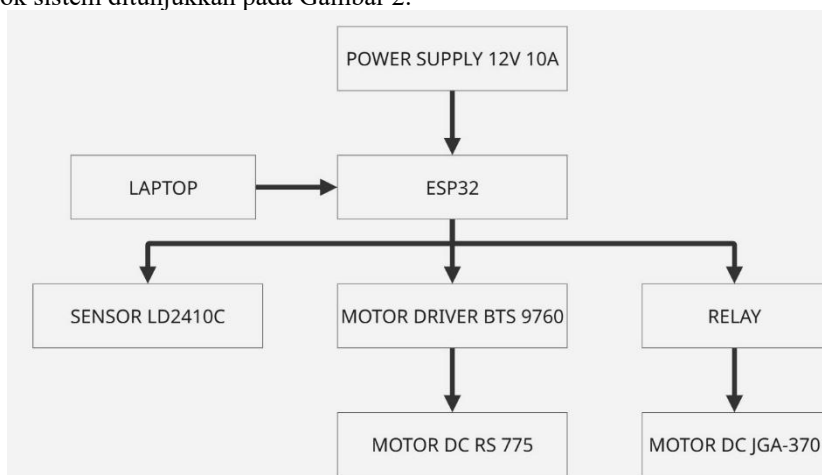


Gambar 2.1 Metode perencanaan

Tahapan penelitian diawali dengan studi literatur mengenai robot pelontar bola pingpong, pengendalian motor DC, sensor radar HLK-LD2410C, serta mikrokontroler ESP32. Selanjutnya dilakukan perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, dilanjutkan dengan proses perakitan sistem, pengujian setiap komponen, serta pengujian sistem secara keseluruhan untuk mengetahui performa robot pelontar bola pingpong.

2.1 Perancangan Sistem

Robot pelontar bola pingpong terdiri atas sensor radar HLK-LD2410C, mikrokontroler ESP32, driver motor BTS7960, motor DC RS775 sebagai motor pelontar, motor servo sebagai mekanisme hopper, modul relay, serta catu daya *Switch Mode Power Supply* (SMPS) 12 V. Sensor HLK-LD2410C berfungsi mendeteksi keberadaan pemain berdasarkan jarak yang telah ditentukan. Data hasil deteksi dikirimkan ke ESP32 sebagai pengendali utama sistem. Selanjutnya ESP32 mengolah data tersebut untuk menentukan kondisi kerja robot berdasarkan algoritma pengendalian adaptif. Diagram blok sistem ditunjukkan pada Gambar 2.



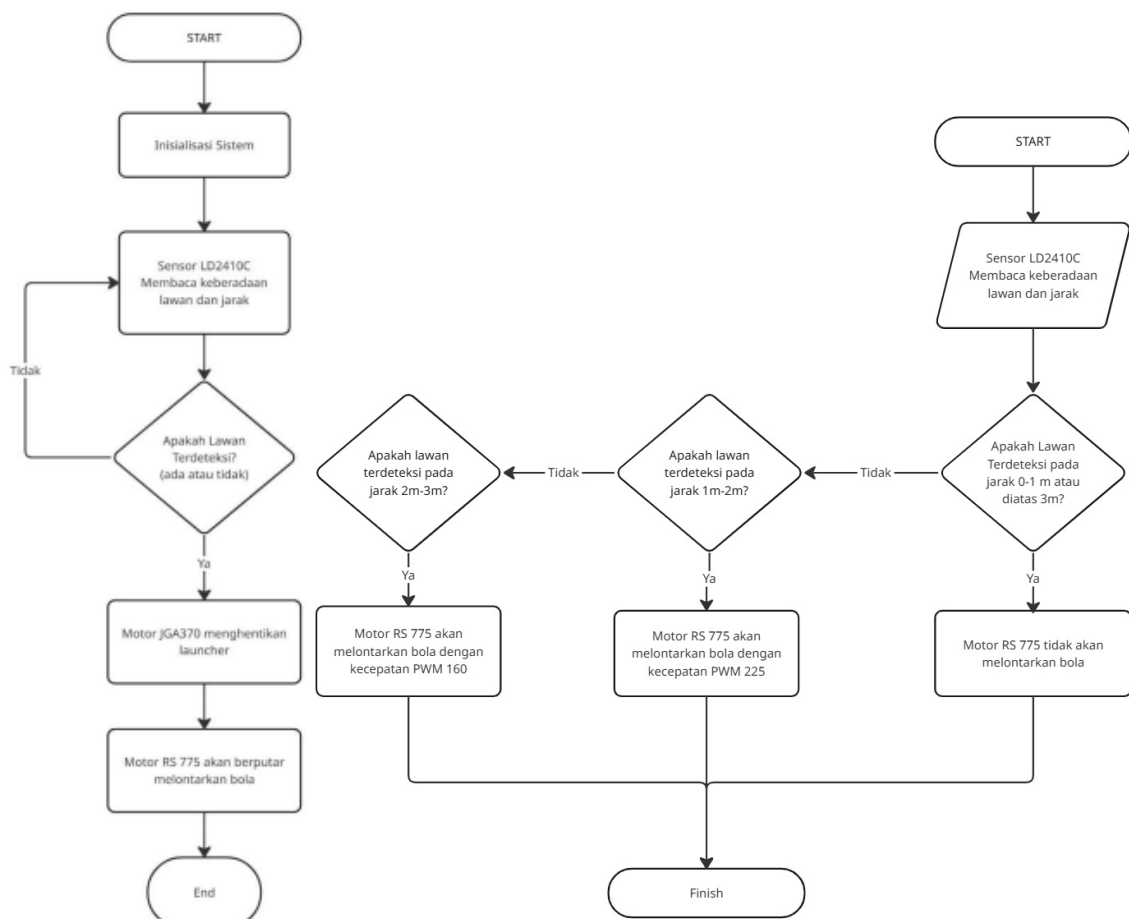
Gambar 2.2 Diagram Blok

2.2 Algoritma Pengendalian Sistem

Sistem pengendalian robot pelontar bola pingpong menggunakan metode pengambilan keputusan (decision making) berdasarkan jarak pemain yang dideteksi oleh sensor radar HLK-LD2410C. Sensor membaca keberadaan pemain secara real-time kemudian mengirimkan informasi jarak ke mikrokontroler ESP32 melalui komunikasi serial. Selanjutnya ESP32 memproses data tersebut untuk menentukan nilai PWM yang diberikan kepada driver BTS7960 sebagai pengendali kecepatan motor DC RS775.

Apabila pemain berada pada jarak kurang dari 1 meter, sistem berada pada kondisi standby sehingga motor RS775, motor pengumpan, dan motor servo tidak diaktifkan. Ketika pemain berada pada rentang 1–2 meter, ESP32 memberikan sinyal PWM sebesar 255 sehingga motor RS775 berputar pada kecepatan maksimum. Relay kemudian mengaktifkan motor pengumpan dan servo membuka hopper sehingga satu bola pingpong dilontarkan menuju pemain.

Apabila pemain berada pada rentang 2–3 meter, ESP32 menurunkan nilai PWM menjadi 160 sehingga putaran motor RS775 menjadi lebih rendah dan menghasilkan jarak lontaran yang lebih pendek. Sebaliknya, apabila pemain berada pada jarak lebih dari 3 meter, seluruh aktuator kembali ke kondisi standby sehingga robot tidak melontarkan bola. Proses pembacaan sensor dan pengambilan keputusan tersebut berlangsung secara terus-menerus selama sistem aktif sehingga robot mampu menyesuaikan kecepatan lontaran berdasarkan posisi pemain. Berikut gambar 2.3 (a) flowchart keseluruhan sistem dan 2.3 (b) flowchart logika sistem.



Gambar 2.3 (a) Flowchart Keseluruhan sistem

Gambar 2.3 (b) Flowchart sistem logika adaptif

Tabel 2.1 Pemetaan Jarak Pemain terhadap Nilai PWM Motor RS775

Jarak Pemain	Nilai PWM	Duty Cycle	Kondisi Motor RS775	Kondisi Robot
< 1 m	0	0 %	Berhenti	Mencari target
1–2 m	255	100 %	Putaran maksimum	Melontarkan bola
2–3 m	160	62,7 %	Putaran minimum	Melontarkan bola
> 3 m	0	0 %	Berhenti	Mencari target

Nilai PWM 255 dipilih berdasarkan hasil pengujian awal (*preliminary test*) yang menunjukkan bahwa motor RS775 mampu menghasilkan kecepatan putaran maksimum sehingga bola dapat mencapai area latihan pada jarak 1–2 meter. Sementara itu, nilai PWM 160 menghasilkan putaran motor yang lebih rendah sehingga jarak lontaran sesuai untuk pemain pada rentang 2–3 meter. Pengaturan nilai PWM berdasarkan rentang jarak tersebut merupakan bentuk pengendalian adaptif sederhana (*adaptive threshold control*) yang memungkinkan robot menyesuaikan kecepatan lontaran secara otomatis sesuai posisi pemain.

2.3 Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi kinerja robot pelontar bola pingpong secara keseluruhan setelah proses perancangan dan perakitan selesai. Pengujian meliputi kemampuan sensor HLK-LD2410C dalam mendeteksi keberadaan pemain, pengujian algoritma pengendalian adaptif berdasarkan variasi jarak pemain, pengujian hubungan nilai PWM terhadap putaran motor RS775 (RPM), pengujian hubungan nilai PWM terhadap jarak lontaran bola, serta pengujian kecepatan bola berdasarkan perbandingan antara jarak lontaran dan waktu tempuh bola menggunakan Persamaan (1). Seluruh hasil pengujian selanjutnya dianalisis untuk mengetahui performa sistem dalam mengendalikan robot pelontar bola pingpong secara otomatis. Selain mengevaluasi kinerja sistem, pengujian juga bertujuan memverifikasi bahwa algoritma pengambilan keputusan berdasarkan rentang jarak pemain mampu mengendalikan perubahan nilai PWM motor RS775 secara otomatis sesuai kondisi yang telah dirancang.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Perancangan Sistem

Robot pelontar bola pingpong berhasil dirancang menggunakan sensor radar HLK-LD2410C, mikrokontroler ESP32, driver motor BTS7960, motor DC RS775 sebagai pelontar bola, motor servo sebagai pembuka dan penutup hopper, modul relay, serta catu daya SMPS 12 V. Seluruh komponen diintegrasikan menjadi satu sistem yang mampu bekerja secara otomatis berdasarkan hasil deteksi sensor. Hasil realisasi robot pelontar bola pingpong ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 3.1 Hasil realisasi robot pelontar bola pingpong

3.2. Hasil Pengujian Sistem

3.2.1. Pengujian Sensor LD2410C

Pengujian pertama dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor HLK-LD2410C dalam mendeteksi keberadaan pemain berdasarkan jarak yang telah ditentukan. Sensor dihubungkan dengan ESP32 untuk mengaktifkan sistem pelontar secara otomatis. Berdasarkan algoritma yang diterapkan, sistem hanya akan melontarkan bola apabila pemain berada pada jarak 1–2 m atau 2–3 m. Pada jarak kurang dari 1 m maupun lebih dari 3 m sistem berada pada kondisi mencari lawan atau tidak bisa mendeteksi target.

Tabel 3.1 Hasil pengujian sensor LD2410C

Jarak Pemain (m)	Status sensor	PWM motor	Kondisi Robot
< 1m	Tidak mendeteksi	0	Tidak melontarkan bola
1m -2m	Terdeteksi	255	Melontarkan bola
2m-3m	Terdeteksi	160	Melontarkan bola
>3m	Tidak mendeteksi	0	Tidak melontarkan bola

Berdasarkan hasil pengujian, sistem pengendalian adaptif yang dirancang mampu bekerja sesuai dengan algoritma yang telah ditentukan. Sensor radar HLK-LD2410C berhasil mendeteksi keberadaan pemain pada rentang jarak 1–2 meter dan 2–3 meter, kemudian mengirimkan informasi jarak tersebut kepada mikrokontroler ESP32 untuk menentukan nilai PWM motor DC RS775. Ketika pemain berada pada jarak 1–2 meter, sistem memberikan nilai PWM sebesar 255 sehingga motor RS775 berputar pada kecepatan maksimum dan menghasilkan lontaran bola yang lebih jauh. Sebaliknya, pada rentang 2–3 meter, nilai PWM diturunkan menjadi 160 sehingga kecepatan putaran motor berkurang dan menghasilkan lontaran yang lebih pendek. Apabila pemain berada pada jarak kurang dari 1 meter maupun lebih dari 3 meter, sistem berada pada kondisi standby sehingga robot tidak melakukan pelontaran bola. Hasil ini menunjukkan bahwa algoritma pengambilan keputusan berdasarkan rentang jarak mampu bekerja sesuai dengan rancangan.

Dibandingkan penelitian Dittrich et al. [2] yang menggunakan sistem berbasis kamera (*vision system*) untuk menghasilkan lintasan bola tenis meja, penelitian ini menggunakan sensor radar HLK-LD2410C yang mampu memberikan informasi keberadaan objek secara langsung tanpa memerlukan proses *image processing*. Dengan demikian, proses komputasi pada ESP32 menjadi lebih ringan, konsumsi daya lebih rendah, serta sistem tidak dipengaruhi oleh perubahan intensitas pencahayaan. Karakteristik tersebut sejalan dengan penelitian mengenai sensor radar HLK-LD2410C yang menunjukkan bahwa radar memiliki kemampuan mendeteksi objek manusia secara real-time dengan performa yang stabil pada berbagai kondisi lingkungan [1], [14], [18].

3.2.2. Pengujian Jumlah Bola pada PWM 255

Pengujian kedua bertujuan mengetahui jumlah bola yang berhasil dilontarkan menggunakan nilai PWM maksimum yaitu 255 dalam beberapa interval waktu dengan jarak 5 meter.

Tabel 3.2 Jumlah Bola yang Berhasil Dilontarkan (PWM 255)

PWM	Duty cycle	30 detik	60 detik	100 detik
255	100 %	9	14	19

Pengujian jumlah bola dilakukan selama 30 detik, 60 detik, dan 100 detik untuk mengevaluasi kestabilan sistem pada beberapa durasi operasi. Durasi 30 detik dan 60 detik digunakan untuk menggambarkan performa awal sistem, sedangkan durasi 100 detik digunakan untuk mengetahui kestabilan mekanisme pelontar setelah beroperasi dalam waktu yang lebih lama. Oleh karena itu, interval waktu pengujian tidak dibuat seragam, tetapi disesuaikan dengan tujuan evaluasi. Seluruh tabel, grafik, dan pembahasan menggunakan interval waktu yang sama sehingga penyajian data tetap konsisten. Waktu respons sistem juga menunjukkan kinerja yang baik karena setelah sensor mendeteksi keberadaan pemain, ESP32 secara langsung memberikan sinyal PWM kepada driver BTS7960 untuk mengaktifkan motor RS775 dan relay pengumpan bola tanpa proses komputasi yang kompleks. Dibandingkan sistem berbasis kamera yang memerlukan proses akuisisi citra dan pengolahan gambar sebelum menghasilkan keputusan [2], sistem yang dikembangkan pada penelitian ini memiliki proses pengambilan keputusan yang lebih sederhana sehingga respon pelontaran bola menjadi lebih cepat.

3.2.3. Pengujian Jarak Lontaran Bola pada PWM 255

Pengujian dilakukan sebanyak sepuluh kali menggunakan nilai PWM 255 untuk mengetahui konsistensi jarak lontaran bola.

Tabel 3.3 Hasil Pengujian Jarak Lontaran Bola

Percobaan	Jarak Lontaran (m)
1	1,50
2	1,50
3	1,61
4	2,32
5	1,86
6	1,56
7	2,53
8	2,43
9	1,68
10	1,00

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh bahwa nilai PWM berpengaruh langsung terhadap jarak lontaran bola. Semakin besar nilai PWM yang diberikan kepada motor RS775 maka putaran motor meningkat sehingga energi yang diteruskan ke bola juga semakin besar. Sebaliknya, apabila nilai PWM diturunkan maka putaran motor berkurang sehingga jarak lontaran menjadi lebih pendek. Variasi hasil lontaran yang masih terjadi pada beberapa percobaan dipengaruhi oleh posisi bola saat memasuki roda pelontar, gesekan antara bola dan roda launcher, serta karakteristik mekanik sistem pelontar.

Meskipun demikian, rata-rata hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan pola lontaran yang konsisten sesuai dengan algoritma pengendalian yang telah dirancang. Hal ini membuktikan bahwa metode pengaturan kecepatan motor menggunakan PWM mampu mengendalikan performa launcher secara efektif sebagaimana karakteristik pengendalian motor DC yang telah dilaporkan pada penelitian sebelumnya [9], [11], [16], [17].

3.2.4. Pengujian Kecepatan Bola

Kecepatan bola dihitung menggunakan persamaan:

$$v = \frac{s}{t} \quad (1)$$

dengan:

- v = kecepatan bola (m/s)
- s = jarak lontaran (m)
- t = waktu tempuh bola (s)

Mengambil 1 perhitungan:

$$v = \frac{2,53}{3} = 0,84 \text{ m/s}$$

Percobaan	Jarak (m)	Waktu (s)	Kecepatan (m/s)
1	2,53	3	0,84
2	2,43	3	0,81
3	2,32	3	0,77
4	2,00	3	0,67
5	1,86	3	0,62

Tabel 3.4 Hasil Perhitungan Kecepatan Bola

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh bahwa kecepatan bola meningkat seiring bertambahnya jarak lontaran yang dihasilkan oleh motor RS775. Nilai kecepatan tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan lontaran bola secara otomatis sesuai dengan pengaturan PWM yang diberikan oleh ESP32. Akan tetapi, apabila dibandingkan dengan kecepatan bola pada latihan tenis meja profesional yang berkisar antara 4,17–8,33 m/s, kecepatan bola hasil penelitian ini masih berada di bawah nilai tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa penelitian lebih difokuskan pada pembuktian konsep (*proof of concept*) sistem pengendalian otomatis menggunakan sensor radar HLK-LD2410C dibandingkan menghasilkan kecepatan bola yang setara dengan robot pelatih profesional.

Keterbatasan tersebut dipengaruhi oleh spesifikasi motor RS775, desain mekanik launcher, serta mekanisme pengarah bola yang masih sederhana. Oleh karena itu, pengembangan selanjutnya dapat dilakukan dengan meningkatkan desain roda pelontar, menggunakan motor dengan putaran yang lebih tinggi, menerapkan sistem pengendalian tertutup (*closed-loop control*), serta mengembangkan mekanisme pengarah bola agar arah dan kecepatan lontaran menjadi lebih presisi.

3.2.5 Pengujian Keberhasilan Deteksi Sensor

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan sensor radar HLK-LD2410C dalam mendeteksi keberadaan pemain pada rentang jarak yang digunakan sebagai acuan pengambilan keputusan pada sistem robot pelontar bola pingpong. Pengujian dilakukan pada empat kondisi jarak, yaitu kurang dari 1 meter, 1–2 meter, 2–3 meter, dan lebih dari 3 meter. Setiap pengujian dilakukan sebanyak 10 kali untuk mengetahui tingkat keberhasilan deteksi sensor terhadap objek manusia.

3.5 Hasil Pengujian Keberhasilan Deteksi Sensor

Jarak Pemain	Jumlah Percobaan	Deteksi Berhasil	Deteksi Gagal	Persentase
< 1 meter	10	10	0	100%
1–2 meter	10	10	0	100%
2–3 meter	10	10	0	100%
> 3 meter	10	10	0	100%*

Catatan: Pada jarak lebih dari 3 meter dan kurang dari 1 meter sensor masih mampu mendeteksi objek, tetapi algoritma pengendalian sengaja mengatur sistem tetap dalam kondisi *standby* sehingga robot tidak melontarkan bola.

Berdasarkan hasil pengujian, sensor radar HLK-LD2410C mampu mendeteksi keberadaan pemain secara konsisten pada seluruh rentang jarak yang digunakan dalam penelitian. Informasi jarak yang diperoleh sensor kemudian diproses oleh ESP32 sebagai dasar pengambilan keputusan untuk menentukan kondisi kerja robot pelontar. Pada rentang jarak 1–2 meter sistem memberikan nilai PWM sebesar 255, sedangkan pada rentang 2–3 meter nilai PWM diturunkan menjadi 160 sehingga kecepatan putaran motor RS775 menyesuaikan posisi pemain. Ketika objek berada di luar rentang kerja yang telah ditentukan, sistem tidak mengaktifkan aktuator sehingga robot tetap berada pada kondisi *standby*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor HLK-LD2410C memiliki performa deteksi yang stabil dan mampu bekerja secara *real-time*. Dibandingkan dengan penelitian berbasis kamera yang memerlukan proses *image processing* sebelum menghasilkan keputusan [2], sensor radar dapat langsung memberikan informasi keberadaan objek kepada ESP32 sehingga proses komputasi menjadi lebih sederhana dan tidak dipengaruhi oleh perubahan kondisi pencahayaan [1], [14], [18].

Penelitian ini mengevaluasi kinerja sensor HLK-LD2410C berdasarkan variasi jarak deteksi dan kemampuan mengaktifkan motor DC secara *real-time*. Pengukuran waktu respons secara kuantitatif maupun pengujian pengaruh variasi sudut deteksi belum dilakukan karena tidak termasuk ruang lingkup penelitian, sehingga aspek tersebut dapat dijadikan pengembangan pada penelitian selanjutnya.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem pengendalian motor DC pada robot pelontar bola pingpong menggunakan sensor radar HLK-LD2410C berbasis mikrokontroler ESP32. Sensor HLK-LD2410C mampu mendeteksi keberadaan pemain secara *real-time* pada rentang jarak yang telah ditentukan sehingga sistem dapat mengatur nilai PWM motor RS775 secara adaptif, yaitu PWM 255 pada jarak 1–2 meter dan PWM 160 pada jarak 2–3 meter. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengaktifkan motor launcher, motor pengumpan, dan servo secara otomatis sesuai posisi pemain serta menghasilkan pola pelontaran bola yang konsisten berdasarkan algoritma yang dirancang.

Meskipun demikian, sistem yang dikembangkan masih memiliki beberapa keterbatasan. Kecepatan lontaran bola masih berada di bawah kecepatan latihan tenis meja sehingga robot lebih sesuai digunakan sebagai prototipe pembuktian konsep (*proof of concept*). Selain itu, arah lontaran bola belum dapat dikendalikan secara presisi karena mekanisme pengarah masih sederhana, serta kinerja sensor HLK-LD2410C sensitif terhadap getaran mekanik dari sistem launcher sehingga diperlukan dukungan sensor yang lebih stabil dan mampu meredam getaran. Penelitian selanjutnya disarankan untuk meningkatkan desain mekanik launcher agar menghasilkan kecepatan bola yang lebih tinggi, mengembangkan mekanisme pengarah bola yang lebih presisi, menerapkan metode kendali tertutup (*closed-loop control*) untuk menjaga kestabilan putaran motor, serta mengoptimalkan pemasangan sensor agar lebih tahan terhadap pengaruh getaran sehingga performa robot pelontar menjadi lebih optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada dosen pembimbing dan seluruh pihak yang telah memberikan arahan, dukungan teknis, serta bantuan selama proses pelaksanaan penelitian hingga penyusunan artikel ini.

ISSN: xxxx-xxxx

REFERENSI

- [1] Darsiman, "Rancang Bangun Sistem Peringatan Sabuk Pengaman Berbasis Arduino dengan Radar Sensor HLK-LD2410C," *Al Jazari: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 10, no. 1, 2025. <https://dx.doi.org/10.31602/al-jazari.v10i1.16504>
- [2] A. Dittrich, J. Schneider, S. Guist, N. Gürtler, H. Ott, T. Steinbrenner, B. Schölkopf, and D. Büchler, "AIMY: An Open-Source Table Tennis Ball Launcher for Versatile and High-Fidelity Trajectory Generation," *Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation (ICRA)*, 2023, pp. 3058–3064. <https://doi.org/10.1109/ICRA48891.2023.10160336>
- [3] I. Cojohari, I. Fiodorov, B. Izvoreanu, and D. Moraru, "Synthesis of PID Algorithm for Speed Control of the DC Motor," *2022 International Conference on Development and Application Systems (DAS)*, Suceava, Romania, pp. 1–5, 2022, doi: 10.1109/DAS54948.2022.9786125.
- [4] J. Zhang, R. Xi, Y. He, Y. Sun, X. Guo, W. Wang, X. Na, Y. Liu, and T. Gu, "A Survey of mmWave-based Human Sensing: Technology, Platform and Applications," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2023. <https://doi.org/10.1109/COMST.2023.3298300>
- [5] I. Putra, I. Ardana, and I. Putra, "Rancang Bangun Sistem Pemilah Kemasan Otomatis Berdasarkan Warna Berbasis Internet of Things," Tugas Akhir, Politeknik Negeri Bali, 2023. <https://repository.pnb.ac.id/id/eprint/8717>
- [6] I. B. P. K. Semarayuda, I. B. I. Purnama, and P. A. W. Santiary, "Rancang Bangun Alat Pengukur Kecepatan dan Arah Mata Angin Berbasis IoT," Tugas Akhir, Politeknik Negeri Bali, 2023. <https://repository.pnb.ac.id/id/eprint/9946>
- [7] Murdianto, et al., "Pengujian Alat Bantu Ajar Praktikum Sensor dan Aktuator Berbasis Internet of Things (IoT) ESP8266 Menggunakan Aplikasi Blynk dan ThingSpeak," *PoliGrid*, vol. 5, no. 2, 2024. <https://doi.org/10.46964/poligrid.v5i2.51>
- [8] S. Pambudi, V. Prasetya, and S. Rahmat, "Penerapan Sistem ATS (*Automatic Transfer Switch*) sebagai Pengendalian, Pemantauan, dan Perawatan Berbasis IoT," *Infotekmesin*, vol. 14, no. 2, pp. 221–230, 2023. <https://doi.org/10.35970/infotekmesin.v14i2.1853>
- [9] B. Yulianto, M. Karjadi, and B. Dwinanto, "Sistem Pengereman Dinamik dan Pengendali Kecepatan pada Motor DC," *Syntax Idea*, vol. 6, no. 8, pp. 3669–3680, 2024. <https://doi.org/10.46799/syntax-idea.v6i8.4313>
- [10] H. Li, B. Li, Z. Luo, H. Li, Y. Zhao, T. Wang, and Y. Sun, "Peningkatan Keandalan Pasokan Daya untuk Area Distribusi Tegangan Rendah dengan Fungsi Peningkatan Kualitas Daya," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 130619–130631, 2022. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3229424>
- [11] R. Fajar and P. W. Rusimamto, "Rancang Bangun Sistem Kendali Kecepatan Putaran Motor DC Menggunakan PID Controller," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 13, no. 2, pp. 135–143, 2024. <https://doi.org/10.26740/jte.v13n2.p135-143>
- [12] F. Fauzi, M. E. Zaidi, U. Udom, and N. A. A. Manaf, "Switch Mode Power Supply (SMPS) Utilizing Flyback Converter Topology: Simulation and Experiment," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2312, no. 1, 2022. DOI 10.1088/1742-6596/2312/1/012050
- [13] S. Harshitha, S. Shamanth, and A. K. Chari, "A Review of Various Controller Techniques Designed for the Operational Control of DC and Servo Motors," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2273, no. 1, 2022. DOI 10.1088/1742-6596/2273/1/012001
- [14] Z. Li, et al., "Radar-Based Human Activity Recognition with Adaptive Thresholding Towards Resource Constrained Platforms," *Scientific Reports*, vol. 13, no. 1, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-30631-x>
- [15] H. Y. Putri, H. Saputra, and H. Deviana, "Automatic Ping Pong Ball Collecting Robot Using Vacuum System and Raspberry Pi Based on Camera Detection," vol. 5, no. 2, pp. 168–175, 2025. <https://doi.org/10.57152/ijirse.v5i2.2292>
- [16] T. Rohman and W. Aribowo, "Perancangan Sistem Pengendali Kecepatan Motor DC Menggunakan Kontroler Proportional Integral Derivative pada Palang Pintu Parkir," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 12, no. 2, pp. 48–54, 2023. DOI 10.26740/jte.v12n2.p48-54
- [17] B. D. Ushofa, L. Anifah, I. G. P. Asto B., and E. Endryansyah, "Sistem Kendali Kecepatan Putaran Motor DC pada Conveyor dengan Metode Kontrol PID," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 11, no. 2, pp. 332–342, 2022. DOI 10.26740/jte.v11n2.p332-342
- [18] A. Whitworth, A. Droitcour, C. Song, O. Boric-Lubecke, and V. Lubecke, "Characterization Technique for a Doppler Radar Occupancy Sensor," *Electronics*, vol. 12, no. 24, 2023. <https://doi.org/10.3390/electronics12244888>
- [19] X. Zhang, et al., "A Novel Target State Detection Method for Accurate Cardiopulmonary Signal Extraction Based on FMCW Radar Signals," *Frontiers in Physiology*, vol. 14, 2023. doi: 10.3389/fphys.2023.1206471
- [20] S. Ekinci, D. Izci, and M. Yilmaz, "Efficient Speed Control for DC Motors Using Novel Gazelle Simplex Optimizer," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 105830–105842, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3319596. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3319596>