

# PERANCANGAN SISTEM PENGATURAN *SPIN* DAN KECEPATAN BOLA UNTUK ROBOT PELONTAR BOLA TENIS MEJA

## DESIGN OF *SPIN* AND SPEED CONTROL SYSTEM FOR TABLE TENNIS BALL THROWING ROBOT

Adityo Wandasa Dharma P.<sup>1</sup>, Muhammad Zakiyullah Romdlony<sup>2</sup>, Agung Surya Wibowo<sup>3</sup>

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

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

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

### Abstrak

Dalam olahraga tenis meja, banyak orang berlatih dengan manual seperti berlatih bersama satu lawan satu. Metode ini terbilang kurang efektif karena menguras tenaga seorang pelatih yang melatih pemainnya, juga pukulan dari pelatih tenis meja akan menurun akurasi jika sedang melatih dalam jangka waktu yang panjang. Maka dari itu dibutuhkan alat yang dapat melontarkan bola ping-pong yang dapat menghasilkan kecepatan dan *spin* tembakan yang dapat diatur seperti robot pelontar bola ping-pong. Penelitian untuk membuat robot yang dapat menghasilkan kecepatan dan *spin* tembakan yang dapat diatur memiliki beberapa langkah prosedural untuk mencapai hasil yang diinginkan seperti proses mencari informasi yang dibutuhkan, uji coba, dan implementasi. Robot pelontar bola ping-pong akan dikendalikan secara wireless menggunakan aplikasi *android* dimana aplikasi ini dapat mengatur kecepatan dan putaran *spin* bola ping-pong yang ditembakkan oleh robot. Untuk pengaturan kecepatan dan *spin* nya tersendiri akan memiliki sistem kendali yang akan menjaga kecepatan dan *spin* tembakan bola ping-pong yang diinginkan. Periode tembakan bola yang dihasilkan akan diatur menggunakan servo analog dengan *delay* yang telah ditentukan. Hasil yang diharapkan untuk dicapai adalah dapat menghasilkan robot pelontar bola ping-pong dengan kecepatan, periode, dan *spin* tembakannya dapat diatur melalui aplikasi *android*. Kecepatan tembakan yang dapat dihasilkan sekitar 2-20 m/s, jenis *spin* yang dihasilkan ada dua yaitu *topspin* dan *backspin*, serta dapat melontarkan 40-70 bola /menit.

**Kata Kunci** — Tenis meja, *spin* bola ping-pong, aplikasi *android*, tembakan periodik, kecepatan bola, robot tenis meja

### Abstract

*In table tennis, many people train manually like practicing one on one together. This method is arguably less effective because it is exhausting for a coach who trains his players, as well as strokes from a table tennis coach will decrease in accuracy if he is training for a long period of time. Therefore, a tool that can throw a ping-pong ball is needed which can produce speed and spin of the shot that can be adjusted like a ping-pong ball throwing robot. Research to create a robot that can produce adjustable speed and spin of the shot has several procedural steps to achieve the desired results, such as the process of finding the information needed, testing, and implementation. The ping-pong ball throwing robot will be controlled wirelessly using an android application where this application can regulate the speed and spin of the ping-pong ball spin that is fired by the robot. For speed and spin settings, you will have a control system that will maintain the speed and spin of the ping-pong ball shot as desired. The resulting ball shot period will be adjusted using an analog servo with a predetermined delay. The result that is expected to be achieved is to be able to produce a ping-pong ball throwing robot with the speed, period, and spin of the shot that can be adjusted through the android application. The speed of the shot that can be produced is around 2-20 m / s, there are two types of spin produced, namely topspin and backspin, and can throw 40-70 balls / minute.*

**Keywords** — Table tennis, ping-pong ball spin, android app, periodic shots, ball speed, table tennis robot.

### I. PENDAHULUAN

Tenis meja merupakan olahraga yang disukai oleh banyak kalangan, baik yang muda maupun yang sudah tua. Akan tetapi, olahraga tenis meja ini tidak seberuntung bulu tangkis. Bulu tangkis bisa dibilang menjadi cabang olahraga yang paling banyak menyumbangkan prestasi di ajang internasional, jauh berbeda dengan tenis meja yang dianggap kurang memiliki sejarah prestasi membanggakan di tingkat internasional [1].

Tenis meja menggunakan bola yang terbuat dari plastik, yang juga disebut bola ping-pong dan pemukul terbuat dari kayu dengan permukaannya dilapisi karet yang disebut bet. Olahraga ini biasanya dimainkan dua atau empat orang. Ada beberapa organisasi atau klub tentang olahraga ini seperti Persatuan Tenis Meja (PTM). PTM biasanya sering melakukan kegiatan yang berhubungan dengan tenis meja seperti latihan tenis meja bersama atau mengikuti lomba tenis meja.

PTM biasanya melakukan latihan tenis meja secara manual dengan cara pelatih bermain langsung dengan anggota-anggota PTM. Pelatih bertugas melatih anggota-anggota PTM dan memeriksa perkembangannya. Akan tetapi dengan kemajuan teknologi yang sekarang semakin berkembang, tugas pelatih ini dapat dibantu oleh alat yang dapat melontarkan bola ping-pong secara otomatis untuk mempermudah pemain dalam berlatih tenis meja hingga menghemat fasilitas dalam berlatih, alat tersebut adalah robot pelontar bola ping-pong.

Robot pelontar bola ping-pong ini dapat melontarkan bola ping-pong secara otomatis dan pelatih tenis meja dapat mengatur robot tersebut melalui *remote* kontrol. Dalam hal ini, ada beberapa rujukan yang akan dijadikan sebagai contoh yang telah ada, seperti rujukan dari jurnal "Pengembangan Teknologi Alat Pelontar Bola Tenis Meja Berbasis Microcontroller" [2] dan beberapa contoh lain seperti robot pelontar bola ping-pong buatan OMRON yaitu Forpheus yang memiliki kemampuan canggih seperti dapat bermain ping-pong langsung dengan manusia. Dengan kemampuan canggih ini, Forpheus 3.0 tentu dapat menjadi "teman" yang sangat berguna bagi pemain tenis meja yang ingin meningkatkan kemampuan bermain ping-pongnya [3]. Akan tetapi kebanyakan jenis robot pelontar bola ping-pong dipasaran tidak mempunyai pengendalian kecepatan dengan *spin* yang diinginkan pemain tenis meja. Biasanya robot sejenis itu hanya memiliki satu aktuator pendorong bola.

Salah satu faktor penting dari robot yang dapat mempengaruhi latihan tenis meja adalah kecepatan tembakan bola dan *spin* tembakan bola. Kecepatan dan *spin* yang dihasilkan dapat mempengaruhi hasil dari latihan yang dilakukan. Robot pelontar bola ping-pong yang memiliki pengaturan kecepatan lemparan bola, putaran *spin* bola, dan periode tembakan bola dapat menekan beberapa permasalahan dalam latihan tenis meja. Penelitian ini bertujuan untuk merancang robot pelontar bola ping-pong yang memiliki sistem kendali untuk pengaturan *spin* dan kecepatan bola.

## II. KAJIAN TEORI

### A. Tenis Meja

Tenis meja adalah suatu permainan yang menggunakan meja sebagai lapangan yang dibatasi oleh jaring (net) yang menggunakan bola kecil yang terbuat dari celluloid dan permainannya menggunakan pemukul atau yang disebut dengan bet [4]. Olahraga tenis meja juga merupakan olahraga yang cukup populer dan olahraga ini dapat dimainkan dari yang muda hingga yang sudah tua.

Dalam permainan tenis meja, peralatan-peralatan yang akan digunakan untuk memainkan tenis meja harus sesuai dengan standar. Meja yang digunakan dalam permainan tenis meja berbentuk persegi panjang dengan ukuran panjang 2,74 meter, lebar 1,525 meter, dan tinggi dari pijakannya 76 cm serta, bola ping-pong memiliki massa 2,7 gr, berdiameter 40 mm, dan berwarna kuning atau putih. Raket (bet) yang digunakan dilapisi karet dan permukaannya harus datar dan kaku dengan warna karet

di sisinya harus warna merah atau hitam (kedua sisi warnanya harus berbeda).

### B. Bluetooth

*Bluetooth* merupakan sistem yang digunakan untuk mengirim dan menerima komunikasi yang diperuntukan bagi *Personal Area Network* (PAN) [5]. *Bluetooth* mampu menghubungkan perangkat-perangkat elektronik agar saling berkomunikasi secara *wireless*. *Bluetooth* menggunakan gelombang radio, beroperasi pada frekuensi 2,5 Ghz dan jarak jangkauan gelombang radionya 1-10 meter [5]. Saat ini, *bluetooth* biasa digunakan pada telepon pintar dan aksesoris seperti *speaker* atau *headphone* yang dapat berhubungan dengan telepon pintar tanpa melalui kabel [6].

Dalam halnya untuk berkomunikasi, ada perangkat *bluetooth* yang mengirimkan data (*master*) dan juga ada yang sebagai menerima data (*slave*). *Bluetooth* sangat berguna untuk komunikasi jarak dekat, salah satu modul *bluetooth* yang terkenal adalah *Bluetooth HC-05*. *Bluetooth HC-05* dapat digunakan sebagai perangkat yang mengirimkan data (*master*) dan juga bisa digunakan sebagai perangkat yang menerima data (*slave*), cara mengatur modul *bluetooth* ini agar menjadi perangkat *master* atau *slave* dapat digunakan *AT-COMMAND* untuk mengaturnya.

### C. Motor DC

Motor DC adalah mesin yang mengubah energi listrik arus searah menjadi energi mekanis [7]. Motor DC bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik sehingga apabila motor tersebut diberi catu daya, arus akan mengalir ke dalam motor DC kemudian menghasilkan torsi putar yang sebanding dengan arus tersebut [8]. Komponen-komponen penyusun utama motor DC adalah magnet dan induktor dimana kedua komponen tersebut digunakan untuk mengerjakan prinsip induksi elektromagnetik. Arus listrik searah mengalir ke dalam induktor dan menyebabkan magnet didalam kumparan induktor bergerak, ini merupakan contoh prinsip induksi magnetik dimana rumus yang didapat seperti yang ditunjukkan pada persamaan (1).

$$T = F.r = B.i.l.r \quad (1).$$

Dimana  $T$  adalah torsi motor,  $F$  adalah gaya yang dibangkitkan motor DC,  $B$  adalah medan magnet,  $i$  adalah arus listrik,  $l$  adalah panjang penghantar, dan  $r$  adalah jari-jari motor DC.

### D. Pulse Width Modulation (PWM)

PWM (*Pulse Width Modulation*) adalah sebuah cara untuk memanipulasi lebar pulsa dalam suatu periode untuk mendapatkan tegangan rata yang berbeda [9]. Dengan *Pulse Width Modulation* ini kita dapat mengatur besar tegangan keluaran yang diinginkan dengan metode hidup-mati (*ON-OFF*) tegangan.. Sinyal PWM memiliki frekuensi dasar dan amplitudo yang tetap, tapi memiliki lebar pulsa yang berbeda.

E. Servo Analog 180 °

Servo analog 180 derajat dapat berputar dan berhenti di derajat tertentu diantara 0°-180° sesuai perintah sinyal yang diberikan. Servo memiliki 3 pin yaitu pin VCC, GND, dan SIGNAL. Servo memiliki *driver* didalamnya yang dapat membalikkan polaritas motor DC yang ada didalam servo sehingga dapat berputar CCW dan CW (*Counter clockwise dan Clockwise*). Beberapa servo 180 derajat bekerja direntang frekuensi tertentu sesuai spesifikasi dari servo tersebut sehingga perlu penyesuaian *input* frekuensi tertentu untuk bisa mengatur derajat pergerakan servo. Biasanya sinyal yang dikirimkan ke servo 180 derajat berupa sinyal PWM.

F. Hubungan Roda Gerak Melingkar

Roda yang berputar memiliki kecepatan sudut, kecepatan linier dan *Revolutions Per Minute (RPM)* tersendiri. Setiap dua roda yang saling berinteraksi seperti bersinggungan, berputar sepusat, atau dihubungkan dengan tali atau rantai akan saling mempengaruhi dalam kecepatan sudut, kecepatan linier, dan *RPM* dengan rumusan tersendiri.

G. Komunikasi I2C

I2C atau *Inter-Integrated Circuit* merupakan cara komunikasi data secara serial diantara perangkat I2C dengan dua jalur [10]. Pada protokol I2C, data dikirim secara serial melalui jalur SDA, sedangkan untuk *clock* dikirim melalui jalur SCL [10]. Setiap IC yang terhubung dalam I2C memiliki alamat masing-masing yang dapat diatur secara *Software* dengan *master/slave protocol* yang sederhana, dan mampu mengakomodasikan *multi master* [11].

III. METODE

A. Komponen yang Digunakan

Berikut komponen-komponen yang digunakan pada robot pelontar bola ping-pong.

TABEL 1  
KOMPONEN ELEKTRONIKA ROBOT PELONTAR BOLA PING-PONG DAN SPESIFIKASINYA

No	Nama Komponen	Spesifikasi
1	Motor DC RS-380	1. Tegangan: 6 – 24 V 2. <i>RPM</i> : * 6 V Arus tanpa beban: 1 A, Kecepatan: 25500 <i>RPM</i> * 7,4 V Arus tanpa beban: 1,2 A, Kecepatan: 32500 <i>RPM</i> * 9 V , Arus tanpa beban: 1,3 A, Kecepatan: 37000 <i>RPM</i>
2	Monster Moto Shield VNH2SP30 Driver Motor Dual Chip 30A	1. Arus Maksimum Saat ini: 30A 2. Tegangan operasi (Vcc):5,5 – 16V 3. Arus untuk <i>run time</i> tak terbatas: 14 A

3	Servo MG996R 180 °	1. Tegangan Operasi: 4,8V – 7,2V 2. Operasi Kecepatan: 0.17 s/60° (4.8 V), 0.14 s/60° (6 V) 3. Arus Jalan: 500mA – 900 mA (6V) 4. Arus Berhenti: 2.5 A (6V) 5. Sudut: 0 - 180 °
4	PCA9685 module	1. Tegangan Operasi (Vcc): 2,3 – 6 V 2. Rentang alamat I2C 7-bit: antara 0x40-0x7F, dapat dipilih dengan <i>jumper</i>
5	XH-M401 8A Module	1. Tegangan <i>Input</i> : 4 – 40 Vdc 2. Tegangan <i>Output</i> : 1,25 - 36 Vdc 3. Arus: 8A
6	Module LM2596S	1. Tegangan <i>Input</i> : 4,75 – 35 Vdc 2. Tegangan <i>Output</i> : 1,25 – 26Vdc 3. Arus: Nilai arus adalah 2A, maksimum 3A (Diperlukan pendingin tambahan)
7	Modul L298N Driver Motor	1. Jumlah Saluran Motor: 2 2. Tegangan Operasi Maksimum: 46 V 3. Arus keluaran puncak per saluran: 2 A 4. Tegangan logika minimum: 4,5 V 5. Tegangan logika maksimum: 7 V
8	Modul bluetooth HC-05	1. <i>Power Supply</i> : 5Vdc 50mA 2. Keamanan: Otentikasi dan enkripsi 3. Kecepatan: * Asynchronous: 2.1Mbps (Max) / 160 kbps * Synchronous: 1Mbps/1Mbps
9	Arduino UNO	1. <i>Mikrokontroler</i> : ATmega328P 2. Tegangan Operasi: 5V 3. Tegangan <i>Input</i> (disarankan): 7 – 12 V 4. Pin I / O Digital: 14 (dimana 6 memberikan <i>output</i> PWM)

B. Desain Sistem

Robot pelontar bola ping-pong yang akan dibuat dapat mengendalikan kecepatan tembakan bola ping-pong dan *spin* (putaran) bola ping-pong dengan mengatur kecepatan motor DC yang berada di selongsong penembak. Motor DC digunakan sebagai akselerator bola yang membuat bola ping-pong terlontar dari selongsong penembak. Dalam praktiknya, agar motor DC dapat mendorong bola ping-pong digunakan roda spon agar dapat mendorong bola ping-pong.

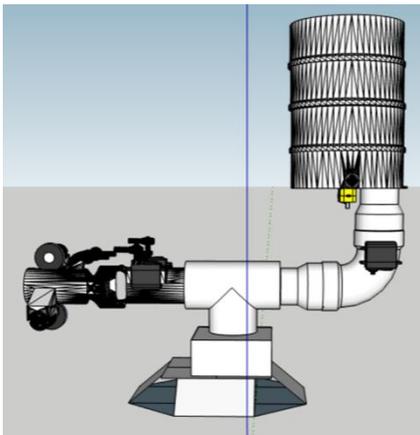
Pada selongsong penembak, dipasangkan 2 motor DC agar dapat melakukan pendorongan dengan kecepatan tertentu pada bola ping-pong dengan arah yang lurus, juga agar dapat menghasilkan *spin* pada bola ping-pong dengan cara memberikan kecepatan yang berbeda pada kedua motor DC, dalam hal ini robot hanya bisa melakukan 2 jenis *spin* yaitu *top spin* dan *back spin*.

Untuk suplai bola ke penembak, digunakan konveyor bola yang berfungsi mendorong bola dari penampung ke penembak serta mengatur jumlah bola ke penembak setiap menit. Untuk melakukan fungsi tersebut digunakan dua konveyor dimana konveyor 1 berfungsi sebagai pengaduk agar bola bisa turun dari penampung bola dan konveyor kedua berfungsi sebagai pendorong bola dan mendorong bola ke penembak serta mengatur jumlah bola yang didorong.

Sistem robot ini menggunakan *mikrokontroler* Arduino UNO sebagai otak pengendali robot yang akan dikendalikan secara *wireless* menggunakan aplikasi *smartphone*. Sistem kerjanya, mula-mula aplikasi *smartphone* akan mengirimkan perintah tertentu berupa karakter serial komunikasi yang akan diterima oleh robot, setelah itu robot akan menerjemahkan karakter tersebut dan mengeksekusi perintah sesuai karakter yang diterima.

### C. Desain Mekanika Robot

Robot pelontar bola ping-pong yang terlihat pada Gambar 1 akan memiliki desain yang dapat ditempatkan diatas meja tenis. Dengan memiliki ukuran 48×24,6×53,1 cm.



GAMBAR 1

DESAIN 3D ROBOT PELONTAR BOLA PING-PONG MENGGUNAKAN APLIKASI *SKETCHUP*

Mengingat tinggi net dari meja tenis adalah 15, 25 cm maka tinggi selongsong penembak terhadap kaki robot harus lebih tinggi dari net meja tenis, tinggi yang diberikan antara kaki robot dengan selongsong penembak adalah 21,43 cm. Robot memiliki baki penampung bola ping-pong dengan volume 3,36 Liter yang dapat menampung 60 bola ping pong.

Bagian-bagian robot pelontar bola ping pong ini dibagi menjadi 4 bagian, yang pertama bagian badan robot, bagian konveyor, bagian penembak, dan terakhir bagian penggerak penembak.

### D. Desain Program dan Aplikasi Robot

Program untuk menjalankan robot pelontar bola ping-pong ini akan ada dua jenis, yang satu adalah program *software* aplikasi pengendali robot dan yang satu untuk menjalankan robot. Untuk program *software* aplikasi pengendali robotnya sendiri akan dibuat menggunakan *MIT Application Inventor*, *software* aplikasi pengendali robotnya akan memiliki opsi tombol yang berguna untuk mengendalikan robot. Kedua program tersebut saling terhubung dalam hal-nya untuk mengendalikan robot.



GAMBAR 2  
TAMPILAN APLIKASI

### E. Perancangan Kecepatan dan *Spin* Bola

Robot pelontar bola ping-pong ini harus bisa mengatur kecepatan dan *spin* bola yang dilontarkan. Untuk dapat melontarkan bola ping-pong dengan kecepatan dan *spin* yang bisa diatur, maka motor DC yang berfungsi untuk menembakkan bola harus bisa diatur kecepatannya. Salah satu cara untuk mengatur kecepatan motor DC adalah dengan menggunakan metode PWM (*Pulse Width Modulation*) yang dapat mengatur tegangan *output* ke motor DC.

Dengan mengatur kecepatan motor DC, maka kecepatan dan *spin* bola dapat diatur pula. Prinsipnya sama seperti katrol yang salah satu *pulley* berputar maka *pulley* yang lain akan berputar, akan tetapi kontak terhadap roda spon dan bola ping-pong langsung sehingga bola memiliki gaya dorong translasi dan rotasi keluar selongsong penembak. Rumus kecepatan linier pusat bola dapat ditunjukkan pada persamaan (2) dan rumus *spin* bola dapat ditunjukkan pada Persamaan (3).

$$V_{\text{pusat linier bola}} = \frac{V_{\text{roda spon Atas}} + V_{\text{roda spon Bawah}}}{2} \quad (2)$$

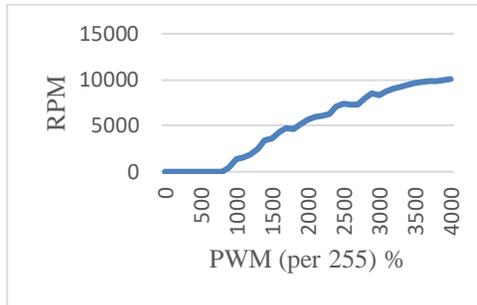
$$n \text{ bola} = n \text{ roda spon Atas} - n \text{ roda spon Bawah} \quad (3)$$

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

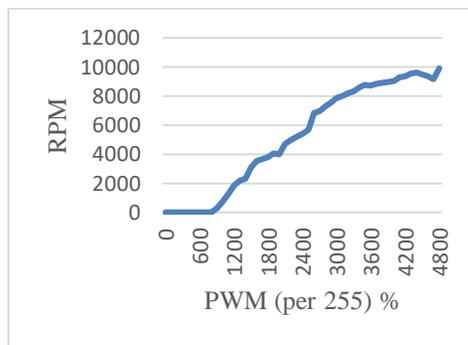
### A. Pengujian *RPM* Motor DC Terhadap PWM

Dari spesifikasi alat motor DC RS-380, jika diberikan tegangan 6V maka dia akan berputar sebesar 25500 *rpm*. Pemberian tegangan 6V agar motor DC dapat berputar sebesar 25500 *rpm* bertujuan untuk menyesuaikan PWM pada Arduino UNO yang dimana PWM pada Arduino ini berkisar dari 0-255, sehingga misalkan PWM pada Arduino diberikan 90 maka putaran pada motor DC yang

terjadi adalah 9000 rpm. Akan tetapi pada kenyataannya tidak sesuai seperti hal tersebut. Nilai PWM yang diberikan tidak sesuai dengan hasil putaran motor DC, tapi ini normal karena ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi seperti tegangan awal yang diperlukan untuk menggerakkan motor DC hingga faktor pabrikan. Jadi untuk mendapatkan RPM yang diinginkan, di uji satu per satu putaran motor DC setiap PWM nya. Pengujian dilakukan selama 10 detik untuk setiap PWM yang diberikan kemudian dirata-ratakan jumlah dari detik ke-1, ke-6, dan ke-10.



GAMBAR 3 GRAFIK RPM MOTOR DC ATAS TERHADAP PWM



GAMBAR 4 GRAFIK RPM MOTOR DC BAWAH TERHADAP PWM

B. Pengujian Kecepatan Bola

Pada pengujian ini diambil jarak jatuh bola terhadap penembak dengan sudut 0, kemudian waktu tempuh dari penembak ke tempat jatuh bola dilihat menggunakan rekaman video, dari sini bisa didapat kecepatan bola yang sebenarnya. Data yang diambil dimulai dari 6 m/s hingga 20 m/s dengan resolusi 2 m/s. Setiap kecepatan diambil 10 data dan kemudian dirata-ratakan. Berikut data rata-rata kecepatan dari 6 m/s hingga 20 m/s yang didapat.

TABEL 2 KECEPATAN DIATUR TERHADAP KECEPATAN NYATA RATA-RATA

No	Kecepatan diatur	Kecepatan Nyata Rata-Rata
1	6 m/s	3,5494 m/s
2	8 m/s	3,6071 m/s
3	10 m/s	3,7142 m/s
4	12 m/s	4,3229 m/s

5	14 m/s	4,2875 m/s
6	16 m/s	4,9495 m/s
7	18 m/s	5,4352 m/s
8	20 m/s	4,5231 m/s

C. Pengujian Deteksi Spin Bola

Dalam mendeteksi bola melakukan spin atau tidak, dilakukan uji coba deteksi spin bola dengan menggunakan roda berdiameter 4 cm yang telah dilapisi karet dan telah diberi reflective tape dipinggirannya agar nanti dibaca oleh tachometer. Roda yang telah dilapisi karet digunakan untuk mendeteksi apakah spin bola tersebut sedang melakukan topspin, backspin, atau linier.

TABEL 3 DETEKSI SPIN DENGAN RODA DETEKTOR BERADA DI ATAS

Jenis spin	Jumlah Putaran RMP Terdeteksi (rpm)					Arah Spin Terdeteksi
	Percobaan					
	1	2	3	4	5	
Top spin	932.8	813.7	814.4	919.3	860.9	Top spin
Back spin	0	0	0	0	0	No spin
Linier	577.6	645.2	686.4	660.1	589.3	Top spin

TABEL 4 DETEKSI SPIN DENGAN RODA DETEKTOR BERADA DI BAWAH

Jenis spin	Jumlah Putaran RMP Terdeteksi (RPM)					Arah Spin Terdeteksi
	Percobaan					
	1	2	3	4	5	
Top spin	0	0	0	0	0	No spin
Back spin	640.5	857	1137	1284	1115	Back spin
Linier	465.1	427.3	527.3	676	769.5	Back spin

D. Pengujian Periode Tembakan Bola

Dalam pengujian periode tembakan bola, menggunakan cara penghitungan jumlah bola yang keluar pada setiap opsi periode tembakan yang dipilih per 30

detik, sehingga bola yang keluar seharusnya setengah dari jumlah bola dari opsi yang dipilih. Pengujian dilakukan 5 kali setiap opsi periode tembakan, berikut data yang telah dikumpulkan.

TABEL 5  
DATA JUMLAH BOLA KELUAR SETIAP 4 OPSI  
DALAM RENTANG WAKTU 30 DETIK

	Bola/30 detik:			
	40	50	60	70
Percobaan 1	20	21	24	22
Percobaan 2	18	21	24	28
Percobaan 3	17	20	22	27
Percobaan 4	19	20	25	26
Percobaan 5	18	20	23	23

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, diperoleh kesimpulan pada penelitian ini bahwa, sistem kendali yang digunakan adalah sistem *open-loop* dengan pengaturan motor DC penembak yang dilakukan *tuning input* PWM, dengan sistem kendali tersebut telah memungkinkan untuk mendapatkan kecepatan dan *spin* tembakan bola ping-pong walau tidak semua kecepatan dan *spin* yang diinginkan terpenuhi.

Kecepatan pusat *linier* bola yang dilontarkan adalah jumlah kecepatan *linier* dari dua motor DC dibagi dua. Dari data yang didapatkan, kecepatan yang dihasilkan masih kurang sesuai dengan kecepatan yang diinginkan (tingkat keberhasilan 30% hingga 60 %, semakin besar kecepatan yang diberikan semakin kecil tingkat keberhasilannya).

Jumlah putaran *RPM* Motor DC saat dipengaruhi bola (sebelum, disaat, dan sesudah melontarkan bola) memiliki kemiripan *RPM* yang di atur di aplikasi bagian opsi *spin* sekitar 9,3% hingga 94,375%. Semakin besar kecepatan *linier* yang dipilih pada opsi *spin*, semakin kecil *RPM* Motor DC yang diinginkan mirip dengan pengaturan yang ada di aplikasi.

*Spin RPM* bola dapat diatur dengan menggunakan *spin RPM* dari motor DC dengan memperhatikan input PWM ke motor DC, selisih *spin RPM* pada kedua motor DC merupakan *spin RPM* pada bola. Pengambilan data *RPM* pada kedua motor DC diperlukan karena *RPM* pada motor DC akan berbeda walaupun input PWM nya sama. Hal ini disebabkan karena faktor pabrikan dan beban motor DC yang berbeda sedikit sehingga jumlah arus yang masuk ke setiap motor DC akan berbeda pula.

Dengan menggunakan *delay* pada servo analog, robot pelontar bola ping-pong dapat mengatur jumlah bola yang keluar per menit nya. Akan tetapi dari data yang didapatkan, beberapa opsi periode tembakan kurang sesuai dengan jumlah bola keluar dikarenakan faktor mekanik yang masih *slip* (tingkat keberhasilan 72% hingga 92%, semakin besar kecepatan periode yang diberikan semakin kecil tingkat keberhasilannya).

Dari pengambilan data deteksi *spin*, robot pelontar bola ping-pong berhasil dalam melakukan tembakan *spin* baik itu tembakan *topspin* maupun *backspin*. Hal ini dapat dibuktikan dengan berputarnya roda detektor *spin*, serta

nilai putaran *RPM topspin* dan *backspin* di roda detektor lebih besar dari pada *linier*.

Mekanika robot ping-pong sangat berpengaruh terhadap spesifikasi kecepatan, *spin RPM*, dan periode tembakan bola walaupun bagian elektronika robot telah disesuaikan dengan sedemikian rupa.

Untuk penelitian lanjutan diperlukan mekanika yang sangat baik dalam hal konveyor bola dan penembak bola agar kecepatan dan *spin* bola yang diinginkan sama dengan kecepatan dan *spin* bola yang terukur nyata. Penggunaan sistem *closed loop* pada bagian penembak bola dibutuhkan untuk menjaga kecepatan dan *spin* pada bola. Pengambilan data kecepatan bola ping-pong diperlukan, menggunakan kamera *slo-mo* agar lebih akurat, karena kecepatan bola ping-pong yang ditembakkan robot sangat teramat cepat (waktu tempuh jarak awal ke jarak akhir bisa di bawah 1 detik).

## REFERENSI

- [1] Nabila, Arin. "Tenis Meja yang Tak Seberuntung BuluTangkis". <https://bola.kompas.com/read/2018/08/14/22030088/tenis-meja-yang-tak-seberuntung-bulu-tangkis>. 2018 (25 November 2019).
- [2] Syarifatunnisa, dkk. "PENGEMBANGAN TEKNOLOGI ALAT PELONTAR BOLA TENIS MEJA BERBASIS *MICROCONTROLLER*" Jurnal Terapan Ilmu Keolahragaan 2017, Volume 02 (hlm 51-55)". 2017.
- [3] Citra R, Adysha. "Mengintip Kecanggihan Robot Ping-Pong Omron Terbaru". <https://trendtek.republika.co.id/berita/oeikhu359/mengintip-kecanggihan-robot-pingpong-omron-terbaru>. 2016 (26 November 2019).
- [4] Rachman, Imaniar. "Pengembangan Alat Pelontar Bola Tenis Meja (Robodrill IR-2016) untuk Latihan Drill Teknik Pukulan *Drive* dan *Spin*". Jawa Tengah:SMP PGRI 9 Pemalang. 2017.
- [5] Suwanto, T, dkk. "APLIKASI KONTROL SEPEDA MOTOR MENGGUNAKAN *BLUETOOTH* PADA SMARTPHONE *ANDROID*". Jurnal Ilmiah Widya Teknik, Volume 15 (hlm. 133-138)". 2016.
- [6] Kadir, Abdul. "Wireless Programming untuk Arduino". Yogyakarta: ANDI, 2018
- [7] Siallagan, Victor. "PERANCANGAN PEMBANGKIT TENAGA SURYA DENGAN PENGARAH SINAR MATAHARI OTOMATIS BERBASIS ARDUINO UNO". Sigma Teknika, Volume 2 (hlm. 233-241)", 2019
- [8] Nuwolo, A, Adhi. 2014. "PENGENDALI POSISI MOTOR DC DENGAN MENGGUNAKAN METODE ROOT LOCUS"Media ElektriKA, Volume 7 (hlm. 16-22)", 2014.
- [9] Royan, A, Luqman. "APLIKASI MOTOR DC-SHUNT UNTUK *LABORATORY SHAKER* MENGGUNAKAN METODE PWM (*PULSE WIDTH MODULATION*) BERBASIS *MIKROKONTROLLER ATMEGA 32*" Jurnal Hasil Riset, Vol 8 (hal. 32-50)", 2015

- [10] Kusna, Nico F, dkk. "Rancang Bangun Pengenalan Modul Sensor Dengan Konfigurasi Otomatis Berbasis Komunikasi I2C" Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer, Volume 2 (hlm 3200-3209)", 2018
- [11] Sulisty, Eko. "RANCANG BANGUN ROBOT PEMADAM API MENGGUNAKAN KOMUNIKASI I2C". Jakarta: Universitas Muhammadiyah Jakarta, 2014