

Research Paper

# Control System Strategy for Ring Thrower Robot Based on PID-CSA for ABU Robocon 2023

Aris Budiarto<sup>1</sup>, Ridwan<sup>2</sup>, Rizky Andhika Akbar<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika, Prodi Teknologi Rekayasa Mekatronika, Politeknik Manufaktur Bandung, Bandung, Indonesia

<sup>2</sup> Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika, Prodi Teknologi Rekayasa Otomasi, Politeknik Manufaktur Bandung, Bandung, Indonesia

## ARTICLE INFORMATION

Received: June 26<sup>th</sup>, 2023

Revised: March 26<sup>th</sup>, 2024

Available online: March 31<sup>st</sup>, 2024

## KEYWORDS

PID, Cuckoo Search Algorithm, Thrower Robot, Accuracy, Stability

## CORRESPONDENCE

Phone: +62 857 81940877

E-mail: rizky.andhika@mhs.polman-bandung.ac.id

## ABSTRACT

Thrower Robot need to maintain system stability in carrying out their tasks, which require accuracy and stability while throwing the ring in different zones and have different distances and height, so the thrower robot needs to maintain the stability of the system in order to reach target properly. Maintain the stability of the thrower is important because of the physical task like throwing the ring. However, disturbance from external systems can affect the accuracy which can reduce the performance of the robot while performing their task. Therefore, system needs stable accuracy in performing the tasks despite interference. The control system is used to maintain acceleration and elevation in the process of throwing the ring so that it can reach the specified target. The implemented system uses Proportional, Integral and Derivative (PID) control based on the Cuckoo Search Algorithm (CSA). Function of PID control is to maintain a constant position at a certain target and CSA is used to simplify PID control tuning when it has some parameter modifications. Therefore, combination of PID-CSA is applied for this system to produce a control system that aims to maintain stability and reduce disturbances contained in the ring throwing robot based on manipulation. From the result obtained, the PID-CSA method has a better level of stability because it can reduce the percentage value of the error which produced by PID-TE by showing the percentage value of distance error up to 0.68% and value of angle error up to 2.39%.

## PENDAHULUAN

Kegiatan Kontes Robot ABU Indonesia (KRAI) [1] [2], merupakan kegiatan perlombaan yang rutin diadakan setiap tahunnya oleh Kemendikbud RI (Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia) dibawah Pusat Prestasi Nasional. Tema KRAI tahun 2023 adalah “*Casting Flower over Angkor Wat*” yang diadopsi dari permainan tradisional Cambodia yang pada tahun ini menjadi tuan rumah kontes ABU Robocon se - Asia Pacific. Fungsi utama dari robot di ABU Robocon 2023 adalah efektivitas robot dalam melemparkan ring ke dalam tiang dengan jarak dan tinggi yang berbeda-beda [3]. Agar robot dapat melontarkan ring secara tepat, robot dapat mengatur sudut elevasi untuk menembak dimana nilai sudut dapat disesuaikan terhadap target yang ditentukan, dan digunakan kontrol PID (*Proportional Integral Derivative*) untuk mengatur sudut elevasi *thrower* tembakan robot [4]. *Cuckoo Search* adalah algoritma optimisasi metaheuristik yang diusulkan oleh Xin- She Yang dan Suash Deb pada tahun 2009 [5]. Algoritma ini terinspirasi dari perilaku burung *cuckoo* yang bertelur di sarang burung lain. Dalam algoritma pencarian kukuk, sekelompok “kukuk” menghasilkan solusi baru untuk masalah

pengoptimalan tertentu, dan solusi terbaik dipilih untuk reproduksi. Proses ini berlanjut secara berkelanjutan, dengan tujuan menemukan solusi optimal dari masalah tersebut [6]. Berdasarkan pembiakan burung *cuckoo* ini algoritma dapat diterapkan pada kontrol PID untuk mencari parameter terbaik, sehingga membuat kinerja robot pelempar lebih optimal untuk mencapai target yang ditentukan.

Terdapat berbagai macam metode yang telah digunakan untuk meningkatkan kinerja dari *thrower*. Fungsi utama adalah untuk membuat performa sistem *thrower* lebih baik terutama kuat dari segala macam gangguan. Gangguan beban dinamis pada *thrower* dapat menurunkan kinerjanya sesuai dengan tingkat akurasi yang rendah [2]. Kontroler PID telah memainkan peran paling penting sebagai jantung praktik rekayasa kontrol dalam sistem kontrol umpan balik karena kemudahan penggunaan dan realisasi yang sederhana [6] [7]. PID menggunakan beberapa algoritma seperti *Genetic Algorithm* [8], *Bat Algorithm* [9], *Firefly Algorithm* [10], *Ant Algorithm* [11] dan *Artificial Bee Colony* [12] untuk melakukan tuning pada sistem. Di antara algoritma metaheuristik berbasis populasi yang diilhami alam, *cuckoo search* (CS) adalah salah satu algoritma paling kuat yang diusulkan oleh Yang dan Deb pada tahun 2009 [13].

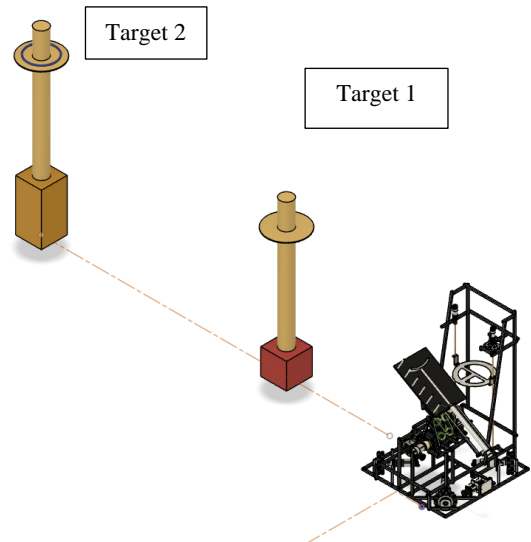
Pada penelitian terbaru, membuktikan bahwa pendekatan PID berbasis CS yang diusulkan mampu memperoleh kinerja respons yang unggul dibandingkan dengan pengontrol PID biasa, hasil yang didapat dari penelitian ketika menggunakan metode *trial-error* didapat waktu *settling time* sebesar 24,2 sekon, sedangkan ketika menggunakan optimasi CSA didapat *settling time* sebesar 18,8 sekon [14]. Sebuah penelitian yang serupa menggunakan skema PID-CSA untuk menjaga kestabilan kecepatan, skema ini di aplikasikan untuk manipulator robot ketika melempar objek kedalam sebuah lubang lingkaran. Hal ini membuktikan bahwa hasil *error* pada tinggi dapat direduksi sampai 15,52% dan 5,81% untuk mereduksi jarak [2].

Dalam penelitian ini, digunakan kombinasi PID dan skema CSA [15] [16] untuk dapat diterapkan pada robot *thrower* ini dalam menjaga kestabilan sudut elevasi terhadap target jarak dan tinggi yang berbeda-beda. Tujuan dari kontrol PID adalah mengendalikan elevasi sudut aktuator dalam melempar benda sehingga mendapatkan jarak dan ketinggian yang sesuai dengan yang diharapkan. Step utama dalam PID adalah menentukan nilai konstanta yang akan mempengaruhi kinerja dari pelontar robot. *Cuckoo Search Algorithm* [17] merupakan jenis metode untuk mengoptimasi nilai konstanta dari PID sesuai dengan solusi terbaik yang dihasilkan dari penerapan algoritma yang dilakukan, maka nilai konstanta dapat dengan mudah diperoleh yang disebut proses *tunning*.

## METODE

### Pemodelan Gerak Lemparan

Robot pelontar memiliki dua target pelemparan ring yaitu pada target 1 dan target 2. Strategi yang digunakan pada saat permainan dimulai salah satunya yaitu posisi robot ketika ingin melakukan lemparan memiliki satu sumbu yang sama dengan target pole seperti pada Gambar 1.



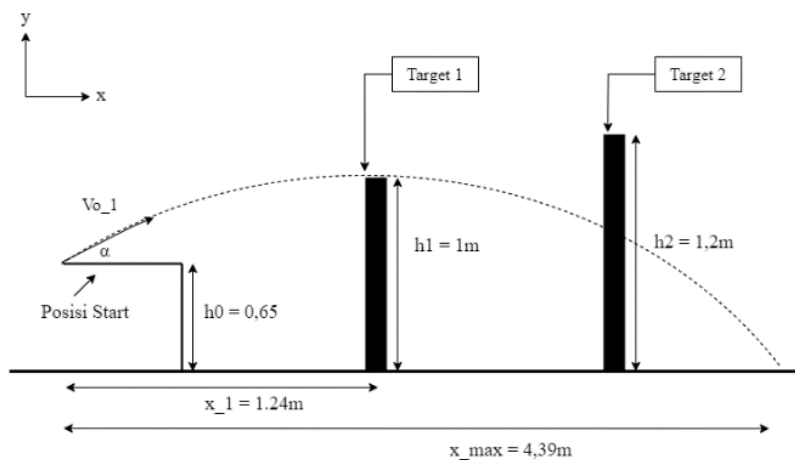
Gambar 1. Objek target pada ABU Robocon 2023

Pemodelan sistem pelontar yang digunakan pada robot menggunakan pendekatan yang berdasarkan pada gerak parabola. Menurut persamaan gerak parabola, terdapat dua parameter untuk menghitung sudut elevasi yang dihasilkan dari lemparan diantaranya adalah kecepatan awal ( $v_0$ ) dan jarak maksimal dari lemparan ( $x_{max}$ ) yang didefinisikan oleh persamaan (1) dan (2). Kecepatan awal ( $v_0$ ) didapat menggunakan persamaan gaya (F) dengan mempertimbangkan massa ring, massa silinder dan panjang *stroke* silinder yang digunakan.

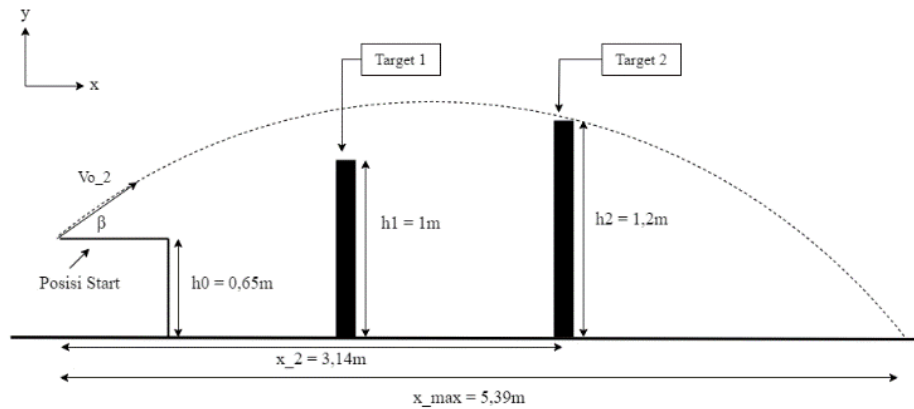
$$x_t = x_0 + v_{0x}t \quad (1)$$

$$y_t = y_0 + v_{0y}t + \frac{1}{2}gt^2 \quad (2)$$

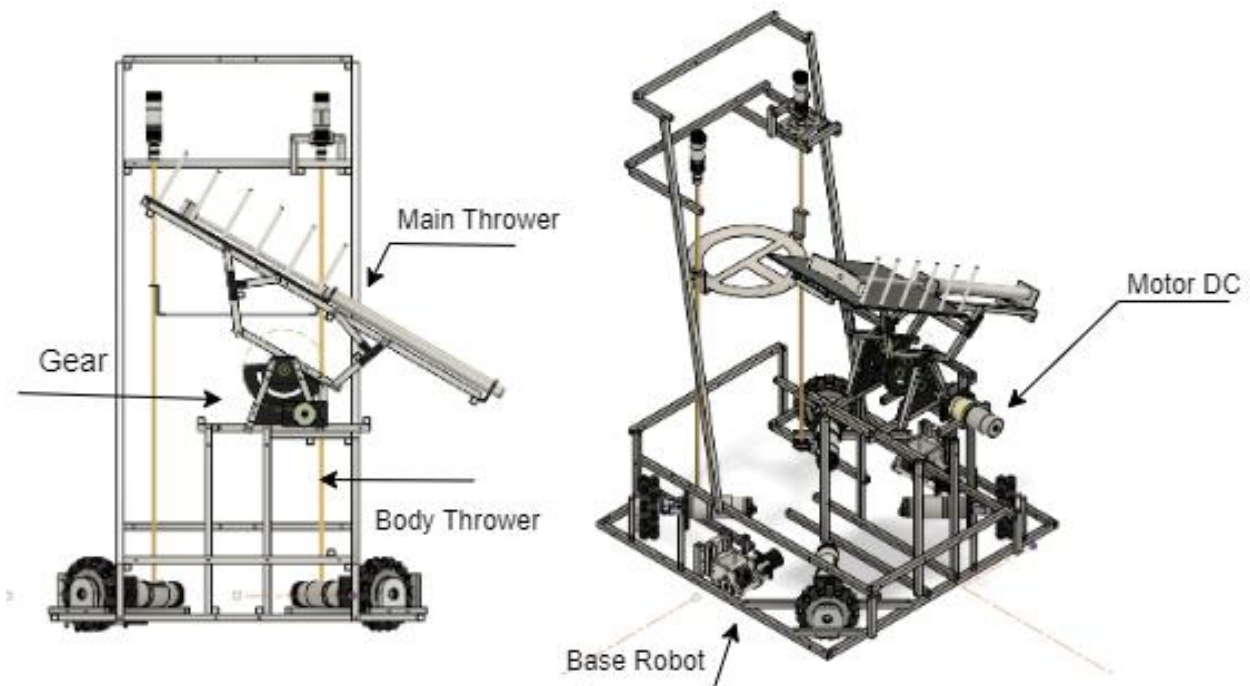
Menurut pada Gambar 1, pelontar robot harus melempar objek ke target yang tepat. Jarak maksimum dihasilkan dengan hubungan antara jarak dan tinggi target objek lemparan dengan kecepatan awal yang dihasilkan, sehingga seperti yang telah dijelaskan sebelumnya dengan menggunakan persamaan (1)(2) akan didapatkan sudut elevasi ( $\alpha$ ) dan ( $\beta$ ) yang diperlukan untuk mencapai target 1 dan target 2.



Gambar 2. Ilustrasi Gerak Parabola ring untuk target 1



Gambar 3. Ilustrasi Gerak Parabola ring untuk target 2



Gambar 4. Desain robot pelempar ring ABU Robocon 2023

Menurut pada Gambar 2 dan Gambar 3, robot pelempar memiliki 2 sudut yang berbeda dengan kecepatan awal  $v_{o,1}$  dan  $v_{o,2}$  untuk setiap target lemparan. Ketinggian target lemparan dan jarak lemparan telah dijelaskan sebelum menggunakan persamaan (1)(2) untuk mendapatkan sudut elevasi ( $\alpha$ ) dan ( $\beta$ ).

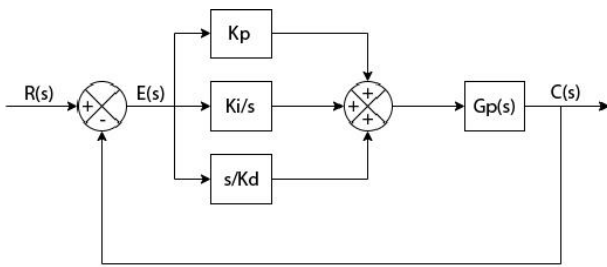
Ilustrasi robot pelempar dapat dilihat dari Gambar 2 dan Gambar 3 yang memberikan informasi tentang nilai ketinggian dan jarak untuk target 1 yaitu  $h_1 = 1$  meter dengan jarak  $x_1 = 1,24$  meter, serta target 2 dengan ketinggian  $h_2 = 1,2$  meter dan jarak  $x_2 = 3,14$  meter dari posisi awal ketinggian objek. Kecepatan awal yang dihasilkan oleh pelontar menggunakan silinder untuk target 1 dengan tekanan angin 5,5 bar adalah  $v_{o,1} = 6,63$  m/s sedangkan kecepatan awal yang dihasilkan oleh pelontar untuk target 2 dengan tekanan angin 6 bar adalah  $v_{o,2} = 7,07$  m/s dengan posisi awal ketinggian pelontar sebesar  $h_0 = 0,65$  meter dari lantai. Dari data yang telah didapatkan, sudut yang diperlukan untuk

mencapai target 1 ( $\alpha$ ) adalah  $23^\circ$  dan target 2 ( $\beta$ ) adalah  $31^\circ$  yang didapat dengan menggunakan persamaan gerak parabola.

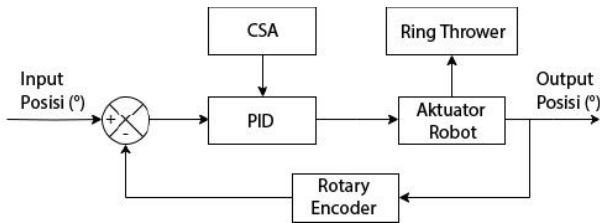
Desain robot pelempar ring ditunjukkan pada Gambar 4. Terdapat motor DC sebagai aktuator yang mengatur sudut elevasi pada saat proses pelemparan dan menggunakan silinder pneumatik sebagai aktuator pelemparan. Pada motor DC yang digunakan sudah terpasang rotary encoder secara internal sebagai sensor pendeteksi pulsa yang dihasilkan dan juga sebagai umpan balik dari sebuah sistem kontrol.

#### **PID Controller**

Diagram blok pengontrol PID konvensional dengan proses  $G_p(s)$  yang ditunjukkan pada Gambar 5. Pada Gambar 5.  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  merupakan gain dari PID controller,  $R(s)$  adalah input,  $C(s)$  adalah output,  $E(s)$  merepresentasikan sinyal error. Adapun blok diagram dair PID-CSA ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 5. Diagram blok struktur PID



Gambar 6. PID-CSA Blok diagram

Membuat sebuah desain kontrol yang sederhana dapat mempermudah dalam memperbaiki error system antara variable proses dan nilai setpoint, dengan cara menghitung nilai error dan proses nilai yang benar. Persamaan umum dari PID kontrol ditunjukkan pada persamaan (3) dan (4).

$$u(t) = K_p + K_i \int_0^T e(t)dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \tag{3}$$

$$C_{pid} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \tag{4}$$

Beberapa parameter yang akan digunakan pada PID controller untuk menghitung keluaran  $u(t)$  adalah nilai proporsional ( $K_p$ ), nilai integral ( $K_i$ ) dan nilai derivative ( $K_d$ ). Parameter-parameter ini akan mempengaruhi keluaran yang dihasilkan dari proses PID. Oleh karena itu, penentuan parameter-parameter ini merupakan faktor penting untuk mendapatkan kontrol yang baik. Dalam penelitian ini, *cuckoo search algorithm* diusulkan untuk mencari parameter optimal PID.

### Cuckoo Search Algorithm

*Cuckoo Search Algorithm* (CSA) [15] [5] merupakan algoritma yang terinspirasi oleh perilaku dari spesies *cuckoo*. Spesies *cuckoo* memiliki perilaku burung induk di mana *cuckoo* bertelur di sarang burung lain. Setiap burung *cuckoo* hanya menaruh satu butir telurnya di sarang burung lain yang dipilih secara acak. Sarang burung yang menghasilkan generasi *cuckoo* terbaik akan melanjutkan proses ke generasi berikutnya. Setiap pergantian generasi, jumlah dari pemilik sarang burung asli akan diatur *cuckoo* dan pemilik asli sarang ini mempunyai peluang untuk mengenali telur burung *cuckoo* yang ditaruh di sarangnya dengan probabilitas 0 sampai 1 ( $P_a$ ).

Berikut terdapat tiga prinsip utama dari *Cuckoo Search Algorithm*.

- Setiap *cuckoo* hanya akan bertelur 1 telur untuk 1 iterasi, dan akan meletakkannya secara acak kesarang yang dipilih.

- Sarang burung yang berisi telur dengan kualitas terbaik akan dipertimbangkan untuk menjadi sarang generasi berikutnya.
- Jumlah sarang inang adalah tetap, sedangkan probabilitas telur *cuckoo* dapat diidentifikasi oleh burung inang sebagai telur asing adalah  $P_a \in [0, 1]$ .

Pseudo-code dari *Cuckoo Search Algorithm* terlihat pada Algoritma 1.

#### Algoritma 1 Cuckoo Search Algorithm [7]

- 1: **Begin;**
- 2: Inisialisasi objectif function  $f(X), X = (x_1, \dots, x_d)^T$ ;
- 3: Membuat inisialisasi populasi dari  $n$  sarang  $X_i, (i = 1, 2, \dots, n)$ ;
- 4: **While** ( $t < \text{Max Generation}$ ) **do**
- 5: Mendapatkan *cuckoo* secara acak oleh Levy flight;
- 6: Evaluasi fungsi objektif  $F_i$ ;
- 7: Memilih sarang secara acak ( $m$ )
- 8: **If**  $F_i > F_j$  **then**
- 9: Menggantikan  $j$  dengan solusi terbaru;
- 10: **End**
- 11: Meninggalkan sebagian kecil ( $P_a$ ) dari sarang yang lebih buruk dan sarang baru dibangun;
- 12: Simpan solusi terbaik yang dihasilkan;
- 13: Urutkan solusi dan temukan solusi terbaik;
- 14: **End while**
- 15: Menampilkan hasil proses dan visualisasi
- 16: **End**

Solusi baru  $x_i^{t+1}$  untuk seekor *cuckoo*  $i$ , diekspresikan pada persamaan (5).

$$x_i^{t+1} = x_i^t + a \oplus Levy(\lambda) \tag{5}$$

Dimana  $\oplus$  merupakan perkalian,  $x_i^t$  merepresentasikan solusi terbaik dan  $a$  ukuran langkah yang ditentukan. Levy flight pada dasarnya memberikan jalan yang acak ketika tahapan acak panjang diambil dari distribusi Levy yang menunjukkan persamaan matematika, yang ditunjukkan pada persamaan (6).

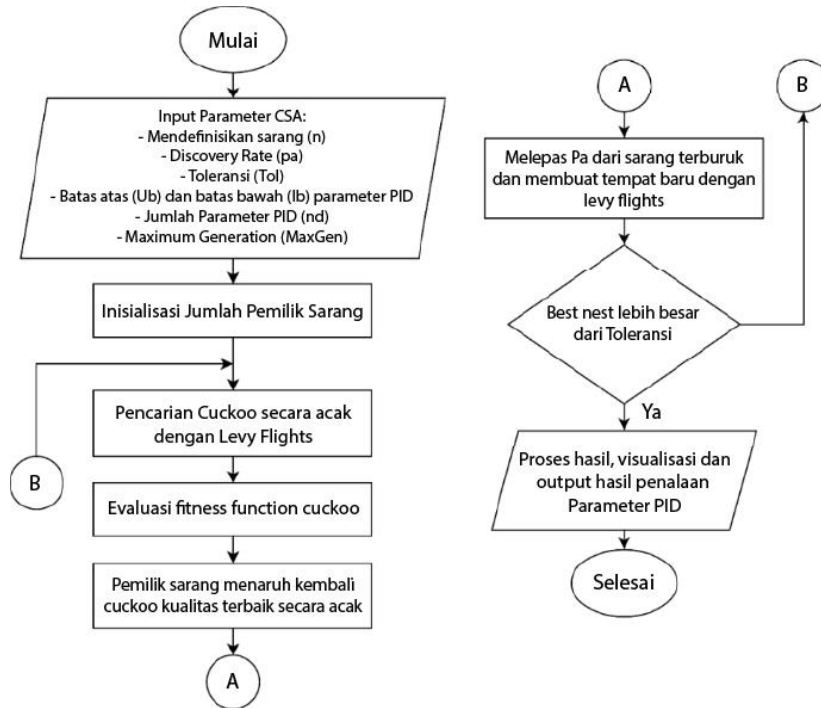
$$Levy \sim u = t^{-\lambda}, (1 < 3) \tag{6}$$

Beberapa solusi baru dihasilkan menggunakan loop rate untuk mencapai solusi terbaik sejauh ini, kecepatan pencarian akan naik pada pencarian lokal. Namun, sebuah fraksi substansial dari solusi baru harus dihasilkan dibidang acak dengan jarak yang jauh, dan lokasinya harus cukup jauh dari solusi terbaik agar sistem tidak terjebak dalam pengoptimalan lokal.

Tabel 1. merupakan data parameter-parameter yang digunakan dalam CSA. Diagram alir dari PID-CSA ditunjukkan pada Gambar 7.

Table 1. Parameter CSA

Parameter	Nilai
Jumlah sarang ( $n$ )	20
Discovery rate ( $p_a$ )	0,25
Langkah Pencarian ( $\alpha$ )	0,6
Iterasi Maksimal	100
Batas bawah ( $K_p, K_i, K_d$ )	[0,1; 1,2; 0,0005]
Batas atas ( $K_p, K_i, K_d$ )	[1,4; 2,8; 0,001]



Gambar 7. Diagram Alir PID-CSA

### Pemodelan Motor DC

Motor DC dapat dimodelkan dengan kombinasi struktur elektrik dan struktur mekanik. Struktur elektrik yaitu model rangkaian elektrik dari belitan armature yaitu tahanan yang terhubung seri dengan impedansi belitan armature. Struktur mekanik yaitu momen inersia di rotor dan beban serta gesekan yang terjadi karena ada pergerakan mekanik. Model matematika motor DC yang dihasilkan ditunjukkan pada persamaan (7).

$$G(s) = \frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{Km}{s(Ts+1)} \tag{7}$$

Dimana, Km adalah gain mekanik dan Tm adalah waktu konstan mekanik, G(s) merupakan hasil dari fungsi alih yang didapatkan,  $\theta(s)$  adalah perpindahan sudut pada poros motor, V(s) Tegangan jangkar pada motor DC dan T(s) merupakan waktu konstant. Dengan menggunakan karakteristik tegangan terhadap rpm yang dihasilkan melalui hasil percobaan, didapat fungsi alih dari motor DC yang digunakan, ditunjukkan pada persamaan (8).

$$G(s) = \frac{3.13s + 208}{s^2 + 52.02s + 87.34} \tag{8}$$

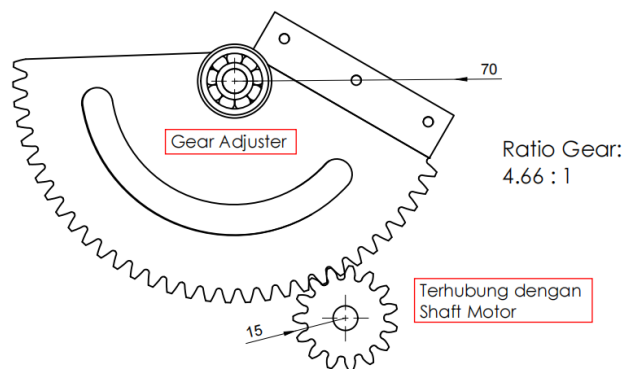
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini membahas hasil yang diperoleh dari pengujian kinerja model kendali PID-CSA dan menggunakan metode trial error. Selain itu, ini akan menjelaskan kestabilan sistem yang dihasilkan dari penggunaan metode PID-CSA dan trial error. Pengujian dilakukan dengan pengulangan terhadap setiap target yang berbeda sebanyak 20 kali.

### Pengujian Sensor Encoder terhadap Sudut

Pada pengujian pembacaan sudut menggunakan sensor encoder digunakan model motor DC yang memiliki encoder didalamnya. Putaran motor DC yang terdapat encoder akan memberikan data berupa sinyal digital yang akan diterima atau dibaca oleh mikrokontroler. Data yang diambil dari pembacaan sensor encoder akan dikonversikan menjadi nilai sudut dalam satuan derajat.

Terdapat *ratio gear* yang terhubung dengan *gear* pada motor DC dan *gear adjuster* terhubung dengan bagian utama pelontar, ditunjukkan Gambar 8. Derajat sudut yang dihasilkan oleh motor DC perlu dilakukan kalibrasi agar sesuai dengan keluaran pada perbandingan *gear ratio*. Motor DC yang digunakan memiliki 7 *pulse per rotation* yang dibaca selama 1 putaran encoder.



Gambar 8. Gear ratio Pelontar

Tabel 2. Hasil Perbandingan Sensor Encoder dengan Perubahan Sudut Elevasi

No.	Pulsa Encoder	Nilai Sudut Shaft (°)	Nilai Sudut Gear (°)	Pembacaan Busur (°)
1.	22	59	13	13
2.	44	118	26	26
3.	66	177	37	37
4.	75	201	43	43
5.	84	255	48	48
6.	97	260	55	56

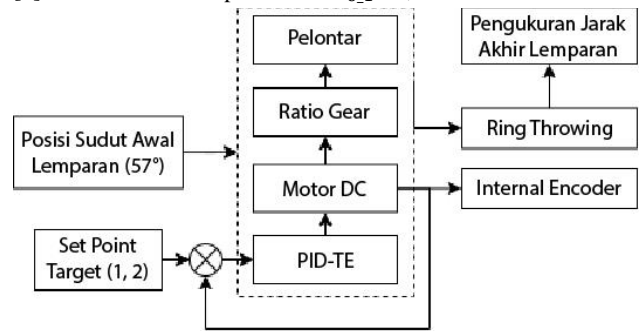
Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 2. Putaran pada shaft motor menghasilkan 133 pulsa, dalam hal ini dikarenakan terdapat perbandingan *ratio gear* yang ada pada shaft motor dengan pelontar sehingga terdapat perbedaan pembacaan sudut sesuai dengan *ratio gear* yang digunakan. Data ini kemudian diuji menggunakan busur untuk memastikan bahwa perubahan nilai encoder terhadap sudut sesuai dengan keadaan nyata yang terjadi pada motor.

**Pelempar Robot Menggunakan Kontrol PID-TE**

Robot pelempar memiliki sudut awal sebelum melakukan aktuasinya terhadap target yang diberikan sebesar 57° terhadap sumbu x. Pengujian pelemparan robot dengan menggunakan kontrol PID-TE pada target 1 dan target 2 memiliki blok diagram seperti pada Gambar 9.

Berdasarkan blok diagram pada Gambar 9. pengujian dilakukan sebanyak 20 kali. Objek pelempar akan diletakan pada pelontar sebelum melakukan pelemparan, target derajat elevasi dijadikan setpoint pada pembacaan pulsa yang dijadikan derajat pada motor DC. Terdapat umpan balik pada motor DC untuk menjaga derajat elevasi dan akan menjaga kestabilan pada saat melakukan pelemparan objek. Data pengujian ini adalah hasil lemparan jarak maksimum yang akan dibandingkan dengan *setpoint* dan juga pada hasil sudut *gear adjuster*.

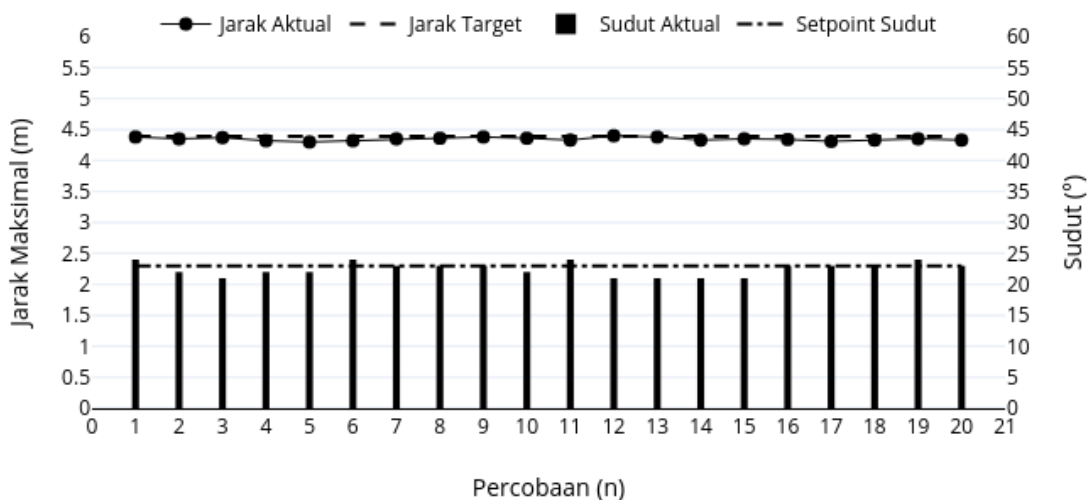
Jarak maksimal lemparan ring berdasarkan proses pelemparan ditunjukkan pada Gambar 10. Pada Gambar 10. hasil pelemparan yang diharapkan untuk mencapai target 1 dengan tinggi 1m dan jarak 1,24m adalah memiliki hasil jarak maksimal 4,82m dengan toleransi ±0,05m sesuai dengan peraturan ABU Robocon 2023 [3] dan memiliki kecepatan awal  $v_{o,1} = 6,63$  m/s.



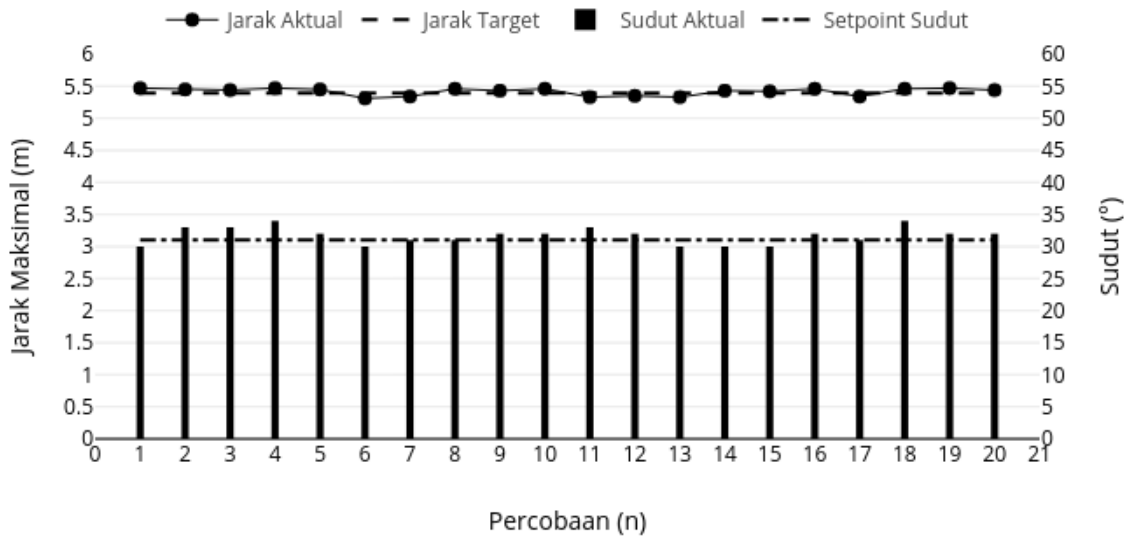
Gambar 9. Diagram Blok Close Loop PID-TE

Gambar 10 menjelaskan bagaimana pengujian yang dilakukan pada target 1 menggunakan PID-TE. Hasil ini menunjukkan bahwa sudut pada setiap pengujian masih memiliki keadaan yang kurang stabil, terlihat pada percobaan ke-12 sampai ke-15 hal ini akan mempengaruhi hasil jarak maksimal terhadap pelemparan ring pada target 1. Selanjutnya, pelemparan yang dilakukan sebanyak 20 kali memiliki perubahan yang tidak terlalu signifikan terhadap jarak target maksimal yaitu 4,39m dengan rata-rata jarak aktual yang dihasilkan oleh lemparan ring terhadap target 1 adalah 4,34m, hasil ini memiliki selisih jarak terhadap target 1 sebesar 0,05m.

Pengujian juga dilakukan pada target 2 dengan hasil jarak maksimal berdasarkan proses pelemparan ditunjukkan pada Gambar 11. Pada Gambar 11 hasil pelemparan yang diharapkan untuk mencapai target 2 dengan tinggi 1,2m dan jarak 3,14m adalah memiliki jarak maksimal 5.39m dari titik pelempar dengan toleransi ±0,05m sesuai dengan peraturan ABU Robocon 2023 dan memiliki kecepatan awal  $v_{o,2} = 7,07$  m/s.



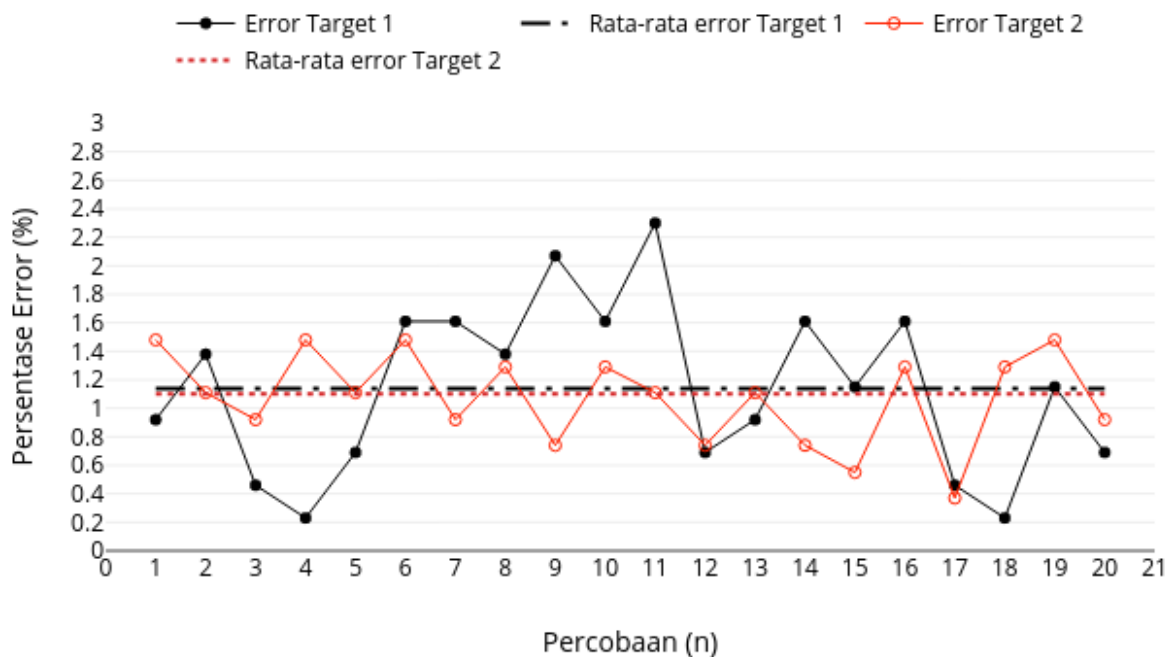
Gambar 10. Hasil Lemparan Jarak Maksimal Target 1 dengan PID-TE



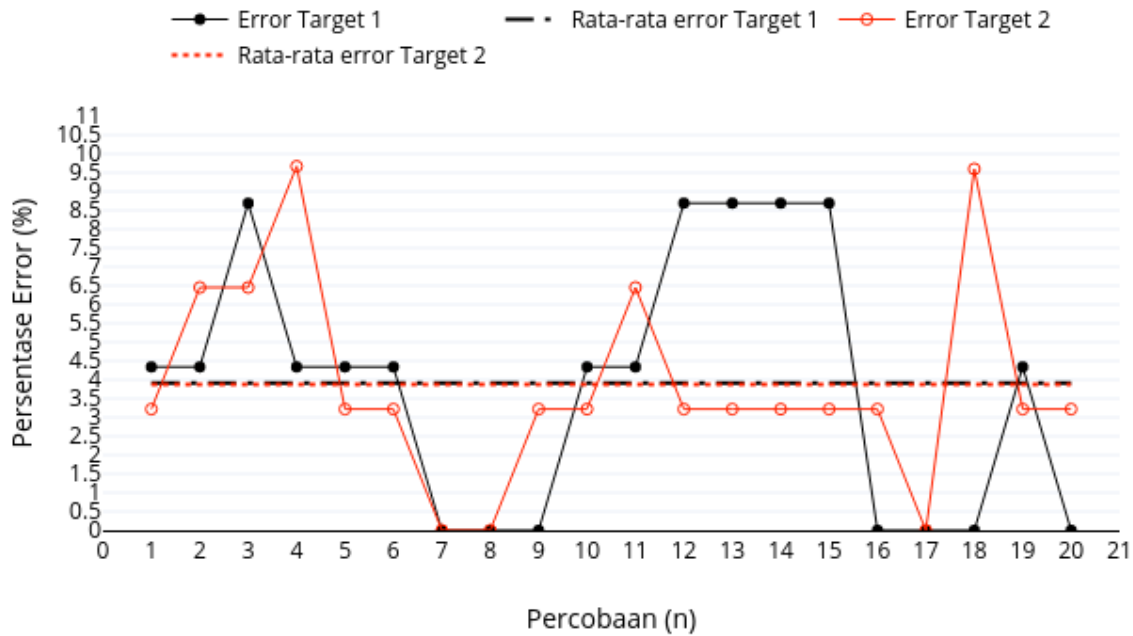
Gambar 11. Hasil Lemparan Jarak Maksimal Target 2 dengan PID-TE

Gambar 11 menjelaskan tentang hasil proses pelemparan yang dilakukan oleh robot terhadap target 2 dalam data pengukuran jarak maksimal. Hasil kestabilan sudut menggunakan PID-TE terhadap pelemparan ring yang dilakukan sebanyak 20 kali dapat dikatakan masih belum stabil karena perbedaan sudut yang dihasilkan dalam setiap kali pelemparan masih cenderung memiliki nilai yang berubah terhadap *setpoint* yang ditetapkan. Sedangkan, jarak pada hasil pelemparan memiliki perubahan

yang tidak terlalu berbeda dengan jarak target yang ditetapkan yaitu 5,39m dengan rata-rata jarak aktual yang dihasilkan oleh robot melempar pada target 2 adalah 5,42m. Hasil ini memiliki selisih jarak terhadap target 2 sebesar 0,03m. Analisis terperinci dapat dihitung berdasarkan tingkat kesalahan setiap lemparan ring terhadap target menggunakan persentase error. Gambar 12 merupakan grafik error terhadap jarak dan Gambar 13 merupakan grafik error terhadap sudut pada setiap target.



Gambar 12. Persentase Error Jarak menggunakan PID-TE



Gambar 13. Persentase Error Sudut menggunakan PID-TE

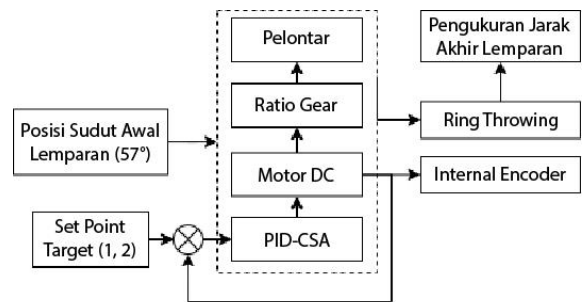
Persentase nilai error tertinggi pada target 1 terdapat pada pengujian ke 9, 10, 11 yang memiliki nilai persentase error diatas 1.6% dan nilai persentase error terendah terdapat pada pengujian ke 3, 4, 17, 18 dengan representasi nilai error dibawah 0,5%. Sedangkan nilai persentase error tertinggi pada target 2 terdapat pada pengujian ke 1, 4, 6, 19 yang memiliki nilai persentase error diatas 1,4% dan nilai persentase error terendah terdapat pada pengujian ke 15, 17 dengan representasi nilai error dibawah 0,5%. Rata-rata nilai persentase error jarak yang dihasilkan dari hasil pelemparan menggunakan PID-TE adalah 1,14% untuk target 1 dan 1,1% untuk target 2.

Pada Gambar 13, dapat dilihat bahwa terdapat 5 error terbesar pada percobaan ke 3, 12, 13, 14, 15 dengan nilai 8,69% untuk target 1. Sedangkan pada target 2 terdapat 2 error terbesar pada percobaan ke 4 dan ke 18 dengan nilai 9,67%. Hasil menunjukan bahwa rata-rata error yang dihasilkan target 1 adalah 3,91% dan rata-rata error untuk target 2 adalah 3,87%. Untuk mencapai semua target dengan baik sistem kontrol harus mempertahankan persentase error dari sudut lemparan dibawah 2%.

### Pelempar Robot Menggunakan Kontrol PID-CSA

Sistem kontrol lain yang digunakan dalam makalah ini adalah sistem kontrol yang menggunakan algoritma *cuckoo search* yang diterapkan pada aktuator motor DC untuk mempertahankan sudut elevasi yang diperlukan pada saat melemparkan ring agar mencapai kestabilan dan mencapai target dengan baik.

Sistem kontrol *close loop* yang digunakan sesuai pada Gambar 14. Umpan balik yang diberikan sistem akan masuk kedalam blok PID yang mana parameter pengontrol PID diperoleh dengan meminimalkan kesalahan antara nilai referensi dan nilai aktual menggunakan algoritma *cuckoo search*. Seperti pengujian sebelumnya, metode pengukuran data yang digunakan adalah mengukur jarak maksimal dan sudut dari proses aktuasi pelemparan robot.

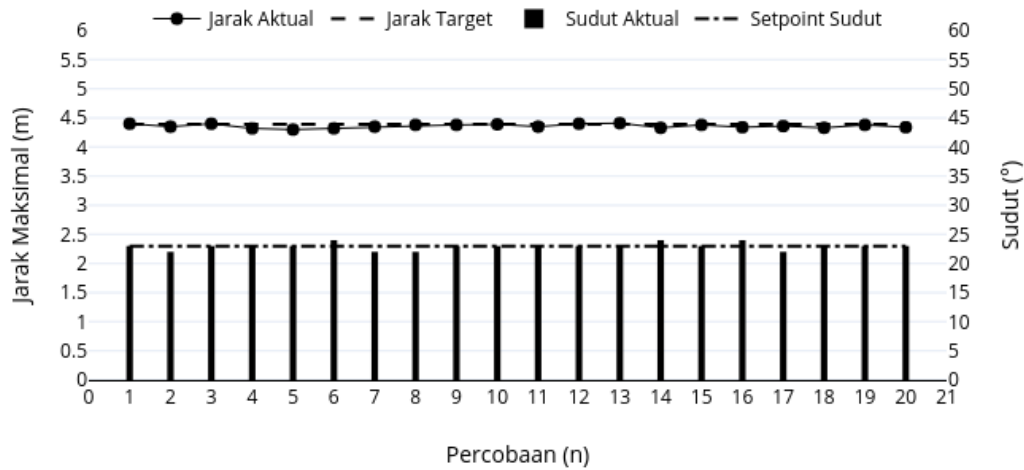


Gambar 14. Diagram Blok Close Loop PID-CSA

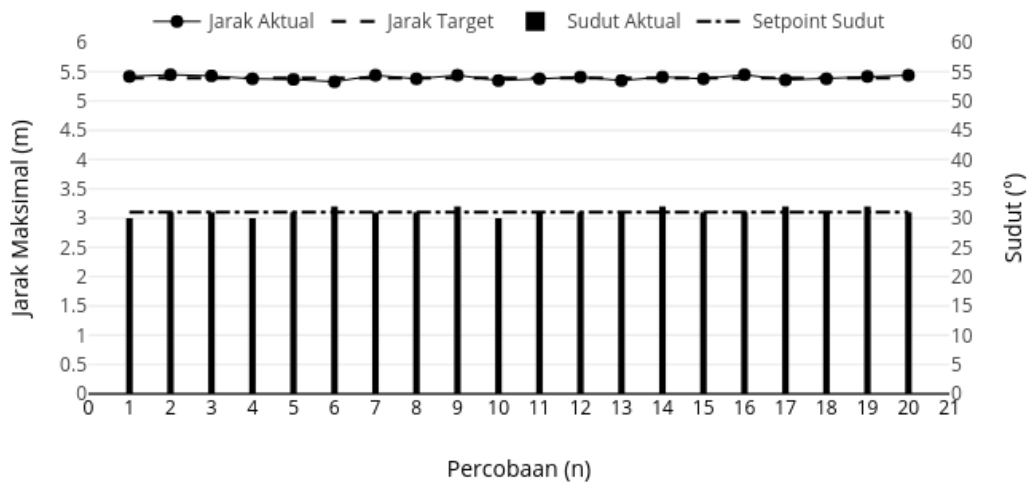
Gambar 15 menunjukan hasil dari pelemparan yang dilakukan oleh robot pada target 1. Terdapat 20 data pengukuran yang memiliki rata-rata jarak yang dihasilkan sebesar 4,36m dari jarak target pelemparan yaitu 4,39m. Semua data hasil jarak maksimal memiliki data yang lebih stabil meskipun masih terdapat perbedaan jarak kecil pada setiap hasil pelemparan ring terhadap target 1. Hasil ini memiliki selisih jarak terhadap target 1 sebesar 0,03m. Sedangkan, untuk hasil sudut terlihat bahwa tidak terlalu jauh nilai antara sudut aktual dengan sudut setpoint sehingga sudut elevasi yang dihasilkan stabil dan membuat jarak maksimal target dapat terjaga dengan baik.

Sama seperti pengujian yang dilakukan pada target 1, pada saat melakukan pelemparan terhadap target 2 sistem kontrol yang diterapkan menggunakan PID-CSA. Jarak yang dihasilkan dengan 20 percobaan memiliki nilai yang cukup stabil walaupun perbedaan yang kecil pada setiap percobaannya. Hasil rata-rata jarak yang diperoleh dari hasil lemparan pada target 2 adalah 5,38m dan jarak target yang diharapkan adalah 5,39m. Hasil ini memiliki selisih jarak yang cukup kecil terhadap target 2 yaitu sebesar 0,01m. Selanjutnya, pada pengujian sudut memiliki hasil yang cukup stabil namun masih memiliki kekurangan seperti pada percobaan ke-1, 4 dan 10.

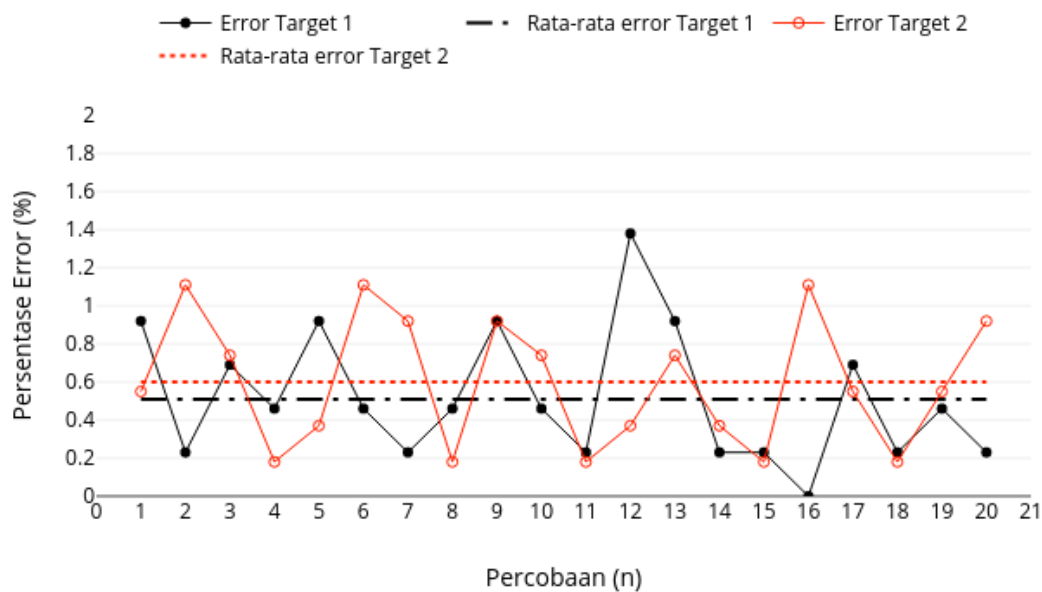




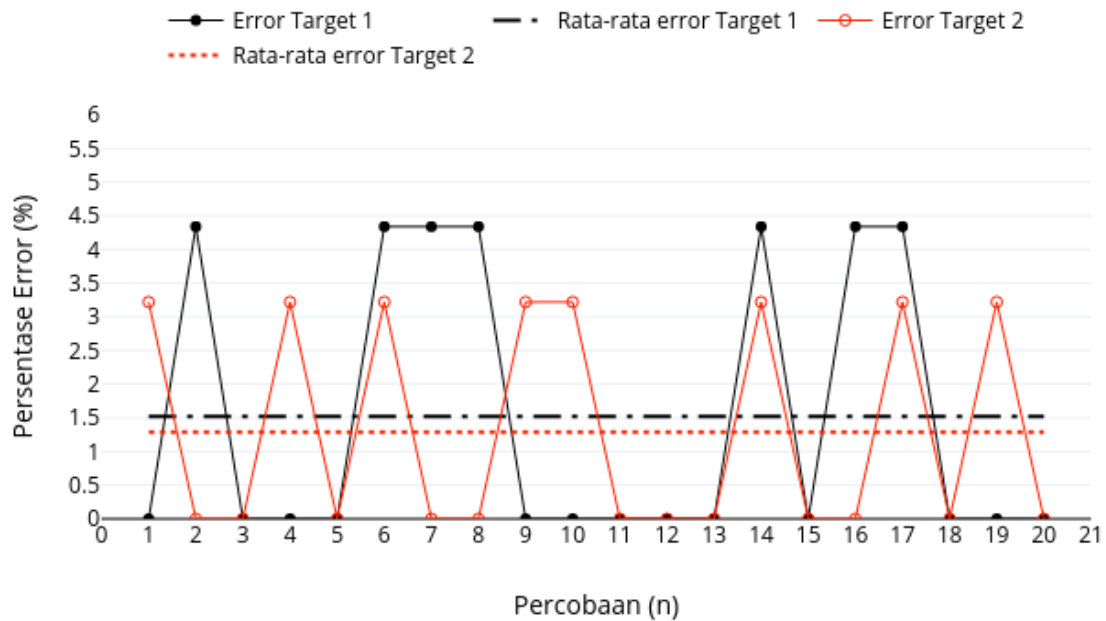
Gambar 15. Hasil Lemparan Jarak Maksimal Target 1 dengan PID-CSA



Gambar 16. Hasil Lemparan Jarak Maksimal Target 2 dengan PID-CSA



Gambar 17. Persentase Error Jarak menggunakan PID-CSA



Gambar 18. Persentase Error Sudut menggunakan PID-CSA

Nilai persentase error jarak tertinggi pada target 1 terlihat pada percobaan ke-12 dengan nilai 1,4%. Sedangkan, untuk percobaan yang lain memiliki nilai persentase error yang relatif stabil dibandingkan dengan sebelumnya. Pada target 2 nilai error tertinggi terdapat pada percobaan ke-2, 6 dan 16 yang memiliki nilai error sebesar 1,1%. Nilai rata-rata persentase error jarak yang dihasilkan pada target 1 adalah 0,51% dan untuk target 2 adalah 0,6%.

Gambar 18. menunjukkan hasil dari persentase error sudut yang dihasilkan pada saat melakukan pelemparan ring menggunakan sistem kontrol PID-CSA. Nilai persentase error pada target 1 menunjukkan hasil yang stabil dengan 20 data dengan rata-rata 1,52% dan pada target 2 memiliki nilai rata-rata 1,29%. Berdasarkan semua hasil percobaan, sistem yang diusulkan dapat dinyatakan stabil karena ring mencapai target dan memiliki nilai error sudut dibawah 2%.

## KESIMPULAN

Untuk mencapai kinerja sistem kontrol yang lebih baik, meningkatkan ketahanan dan stabilitas merupakan hal yang penting agar robot pelempar ring dapat mencapai target 1 dan target 2 dengan tepat. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa menggunakan PID-CSA dapat mempertahankan kestabilan pada sudut tertentu. Hal ini terbukti dari hasil persentase error yang dihasilkan oleh PID-TE dan dibandingkan dengan PID-CSA bahwa persentase error terhadap jarak yang dihasilkan untuk mencapai target berkurang hingga 0.68%. Sedangkan kestabilan sudut yang dihasilkan memiliki persentase error yang berkurang hingga 2.39%.

## REFERENSI

[1] R. Diantoro and W. S. Aji, "Design of Blessing Ball Throwing Techniques for KRAI 2018 Robot," *Bul. Ilm. Sarj. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 3, p. 119, 2020, doi:

10.12928/biste.v2i3.2623.  
 [2] I. Ferdiansvah, B. Sandi Martha, F. Ardila, and H. Firdiawan Zaky, "Control System Scheme for Shuttlecock Thrower Robotic Based on PID-CSA," *Proc. - 2018 Int. Semin. Appl. Technol. Inf. Commun. Creat. Technol. Hum. Life, iSemantic 2018*, pp. 98–103, 2018, doi: 10.1109/ISEMANTIC.2018.8549702.  
 [3] P. Penh, A. B. U. A. R. Contest, and P. Penh, "ABU Asia-Pacific Robot Contest 2023 Theme and Rules Casting Flowers over Angkor Wat," no. August 2022, pp. 1–9, 2023.  
 [4] A. H. A. H. A.M, Ridha Nabawi; Sasmita, "Aktualisasi Sistem Pelempar Bola pada Robot ISOLA\_229," vol. 2, no. 1, pp. 1–12, 2020.  
 [5] S. Gao, Y. Gao, Y. Zhang, and T. Li, "Adaptive cuckoo algorithm with multiple search strategies," *Appl. Soft Comput.*, vol. 106, p. 107181, 2021, doi: 10.1016/j.asoc.2021.107181.  
 [6] K. S. M. J. Singh, I. Elamvazuthi, K. Z. K. Shaari, and N. Perumal, "Development of PID controller tuning tool based on cuckoo search algorithms," *2017 IEEE 3rd Int. Symp. Robot. Manuf. Autom. ROMA 2017*, vol. 2017-Decem, pp. 1–5, 2017, doi: 10.1109/ROMA.2017.8231738.  
 [7] M. Ruswandi Djalal, D. Ajiatmo, A. Imran, and I. Robandi, "Desain Optimal Kontroler Pid Motor Dc Menggunakan Cuckoo Search Algorithm," *Sentia*, vol. 7, no. 1, pp. 121–126, 2015.  
 [8] A. A. M. Zahir, S. S. N. Alhady, W. A. F. W. Othman, and M. F. Ahmad, "Genetic algorithm optimization of pid controller for brushed DC motor," *Lect. Notes Mech. Eng.*, vol. 0, no. 9789811087875, pp. 427–437, 2018, doi: 10.1007/978-981-10-8788-2\_38.  
 [9] Y. Wang *et al.*, "A novel bat algorithm with multiple strategies coupling for numerical optimization," *Mathematics*, vol. 7, no. 2, pp. 1–17, 2019, doi: 10.3390/math7020135.  
 [10] G. K. Rajput *et al.*, "Design of TID controller based on firefly algorithm for controlling the speed of a D.C. Motor," *E3S Web Conf.*, vol. 184, pp. 2–6, 2020, doi: 10.1051/e3sconf/202018401038.  
 [11] Y. Liu and B. Cao, "A Novel Ant Colony Optimization Algorithm with Levy Flight," *IEEE Access*, vol. 8, pp.

- 67205–67213, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2985498.
- [12] K. Vanchinathan and N. Selvagesan, “Adaptive fractional order PID controller tuning for brushless DC motor using Artificial Bee Colony algorithm,” *Results Control Optim.*, vol. 4, no. April, p. 100032, 2021, doi: 10.1016/j.rico.2021.100032.
- [13] Z. Bingul and O. Karahan, “A novel performance criterion approach to optimum design of PID controller using cuckoo search algorithm for AVR system,” *J. Franklin Inst.*, vol. 355, no. 13, pp. 5534–5559, 2018, doi: 10.1016/j.jfranklin.2018.05.056.
- [14] M. Ridwan, F. Hunaini, and M. Mukhsim, “Sistem Kontrol Governor Menggunakan Pid Yang Dioptimasi Dengan Metode Cuckoo Search Algorithm (Csa) (Governor Control System Using Pid Optimized With the Cuckoo Search Algorithm (Csa),” *JEEE-U (Journal Electr. Electron. Eng.*, vol. 3, no. 1, p. 162, 2019.
- [15] K. K. Nimisha and R. Senthilkumar, “A Survey on Optimal Tuning of PID Controller for Buck-Boost converter Using Cuckoo-Search Algorithm,” *2018 Int. Conf. Control. Power, Commun. Comput. Technol. ICCPCCT 2018*, pp. 216–221, 2018, doi: 10.1109/ICCPCCT.2018.8574321.
- [16] A. Kaur, R. Kaur, and S. Sondhi, “CSA based PID controller design technique for optimizing various integral errors,” *Proc. Conflu. 2020 - 10th Int. Conf. Cloud Comput. Data Sci. Eng.*, pp. 55–62, 2020, doi: 10.1109/Confluence47617.2020.9057816.
- [17] S. Gao, Y. Gao, Y. Zhang, and L. Xu, “Multi-strategy adaptive cuckoo search algorithm,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 137642–137655, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2916568.

## AUTHOR(S) BIOGRAPHY



### Aris Budiarto

Is an esteemed Lecturer at Politeknik Manufaktur Bandung, specializing in Automation and Mechatronics Engineering. With a teaching tenure since 1992, Aris imparts knowledge in subjects like Digital Electronics, Microprocessor

& Interface, Maintenance & Repair, Industrial Electronics, and Industrial Automation. Holding degrees from institutions including Bandung Institute of Technology, he has a Diploma degree in Electronics Engineering, a Bachelor’s in Electronics Engineering (Computer Engineering Science), a Master’s in Electronics Engineering (Computer and Control Eng. Science), and a Doctorate in Higher Education Management. Aris is an active member of academic societies like ISAS and SME. He can be contacted at email: [aris@ae.polman-bandung.ac.id](mailto:aris@ae.polman-bandung.ac.id)



### Ridwan

I am Ridwan, a lecturer at Politeknik Manufaktur Bandung in the Automation Engineering Technology study program in the Department of Manufacturing Automation and Mechatronics Engineering. My last study was at the Masters level in the field of Signaling and Electronic Systems (SIE) - Electrical Engineering Gadjah Mada University Yogyakarta. My Diploma 4 studies were in the field of Software Engineering Information Technology (RPL) – PENS, and my D3 program was in Mechatronics Engineering at Politeknik Manufaktur Bandung, where I have worked and served since 2000 until now. Email: [ridwan@polman-bandung.ac.id](mailto:ridwan@polman-bandung.ac.id)



### Rizky Andhika Akbar

Rizky Andhika Akbar is a Bachelor's degree or Diploma 4 from Mechatronics Engineering Politeknik Manufaktur Bandung in 2023. He had active as Head of Robotics Organizations at college, also active contribute for robotics team, give his solutions and solving several problems in the robot. He interested about knowledge for development of robotics technology in the future