

AKTUALISASI SISTEM PELEMPAR BOLA PADA ROBOT ISOLA_229

Ridha Nabawi A.M.^{a,1*}, Dr. H. R. Aam Hamdani, M.T.^a, Asep Hadian Sasmita, M.Pd.^a

^a Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung,

¹ am.ido@student.upi.edu

* Corresponding Author

ABSTRACT

The ISOLA_229 robot is designed to have a maximum dimension of a cube of 1 m³ with an extension of up to 1.8m, must be able to throw the ball in 3 throwing zones that have different shooting distances and heights according to the rules of the ABU Robocon robot contest with the theme "Throwing the blessing ball", a traditional game from Vietnam. The ISOLA_229 robot that has been made meets the dimensions, but throws the ball not yet able to reach the target in the shooting zone 3. There is a need for analysis to find out the cause of the problem and how to solve the problem, one of which is descriptive method. The analysis carried out on the ISOLA_229 robot focused on the problem of the ball throwing system. The results of the analysis of the ISOLA_229 robot ball throwing system found that it was necessary to reduce the throwing speed by 65% from normal speed at air pressure P = 6 bar and change the elevation angle from = 45o to = 50o to reach the target in throwing zone 3.



KEYWORDS

ABU Robocon,
Robot Contest,
Ball throwing system,
ISOLA_229 Robot.

ABSTRAK

Robot ISOLA_229 didesain memiliki dimensi maksimal berbentuk kubus 1 m³ dengan perpanjangan sampai 1,8m, harus mampu melempar bola pada 3 zona lempar yang memiliki jarak tembak dan ketinggian yang berbeda disesuaikan dengan aturan Kontes robot ABU Robocon yang bertema "Lempar bola berkah", permainan tradisional dari Negara Vietnam. Robot ISOLA_229 yang telah dibuat sudah memenuhi dimensi, namun lemparan bola belum mampu mencapai sasaran pada zona tembak 3. Perlu adanya analisis untuk mengetahui penyebab masalah dan bagaimana pemecahan masalah tersebut salah satunya dengan metode deskriptif. Analisis yang dilakukan pada robot ISOLA_229 terfokus pada masalah sistem pelempar bola. Hasil analisis dari sistem pelempar bola robot ISOLA_229 ditemukan bahwa perlunya reduksi kecepatan lemparan sebesar 65% dari kecepatan normal pada tekanan udara P = 6 bar dan perubahan sudut elevasi dari $\alpha = 45^\circ$ menjadi $\alpha = 50^\circ$ untuk mencapai sasaran pada zona lempar 3.



KATA KUNCI

ABU Robocon,
Kontes Robot,
Sistem pelempar bola,
Robot ISOLA_229.



This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license

1. PENDAHULUAN

Robot sudah mulai digemari oleh hampir seluruh masyarakat tidak hanya sebagai kebutuhan namun sudah masuk keranah seni dan budaya. Berbagai lembaga dan perusahaan saling mendukung dalam pengembangan teknologi robotika di dunia untuk menunjang dan melestarikan seni dan budaya. Salah satunya kegiatan Kontes Robot Indonesia (KRI) yang diadakan rutin setiap tahun oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (Dikti) Departemen Pendidikan Nasional. Tema KRI tahun 2018 adalah "Lempar Bola Berkah" yang diadopsi dari permainan tradisional Vietnam yang pada tahun 2018 ini menjadi tuan rumah kontes ABU Robocon se - Asia Pasifik.

Tema yang ditentukan mengharuskan para peserta membuat dua robot yang mampu bekerja sama dalam menyelesaikan misi. Robot pertama harus mampu mengambil bola-bola berkah berukuran diameter lebih dari 12cm dan beratnya diantara 60 – 100 gr yang terbuat dari bahan busa, memiliki ekor yang menjadi pegangan ketika bola itu akan dilempar. Kemudian bola tersebut dipindahkan ke robot yang kedua yang berfungsi sebagai robot pelempar bola. Bola yang akan dilempar hanya boleh disentuh pada bagian ekornya saja dan bola tersebut harus mampu terlempar dengan ketinggian dan jarak tertentu. Setiap peserta diberi waktu 3 menit untuk menyelesaikan misi melempar bola berkah.

Robot ISOLA_229 direncanakan harus memiliki beban dibawah 25kg, memiliki dimensi kurang dari 1 m³, perpanjangan sampai 1,8 m dan menggunakan tekanan pneumatik maksimal 6 bar. Kenyataannya robot ISOLA_229 sudah memenuhi kategori, dengan berat 17,4 kg, memiliki dimensi

panjang 97 cm, lebar 97cm, dan tinggi 70cm. Namun sistem pelempar bola pada robot ISOLA_229 belum mampu melempar dengan stabil pada jarak dan ketinggian tertentu. Hal ini diduga karena saat robot melakukan pelepasan, terjadi penurunan kekuatan yang mengakibatkan lemparan melemah dan bola tidak mencapai target pada lemparan berikutnya. Tim ISOLA_229 menerangkan bahwa konsumsi udara pada lemparan cukup besar berdasarkan ukuran silinder pneumatik yang digunakan sehingga perlu dihitung kapasitas yang harus disediakan agar robot mampu melempar stabil pada saat pertandingan.

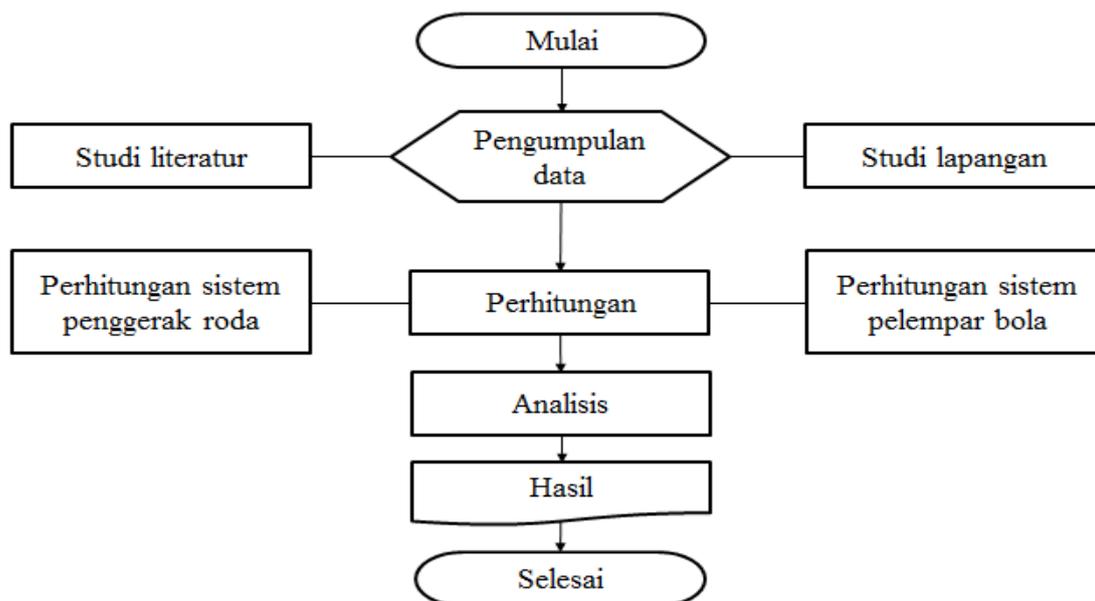
Penulis mencoba untuk menganalisis berdasarkan masalah-masalah diatas sebagai dasar untuk mengaktualisasi sistem pelempar bola robot ISOLA_229. Analisis tersebut akan penulis tuangkan dalam sebuah penulisan laporan Analisis dan Desain dengan judul “Aktualisasi Sistem Pelempar Bola Pada Robot ISOLA_229”.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode deskriptif. Metode deskriptif adalah penelitian yang dimaksudkan untuk menyelidiki keadaan, kondisi atau hal lain-lain yang sudah disebutkan, yang hasilnya dipaparkan dalam bentuk laporan penelitian [1]. Ciri-ciri metode deskriptif menurut [2], yaitu:

1. Memusatkan diri pada pemecahan masalah yang ada pada masalah sekarang dan masalah aktual.
2. Data yang dikumpulkan mula – mula disusun, dijelaskan kemudian dianalisis.

Data yang dikumpulkan adalah data berupa perhitungan konstruksi sistem pelempar robot ISOLA_229 serta data hasil percobaan lemparan bola, kemudian dianalisis berdasarkan tinjauan dari mekanika dan fisika. Adapun prosedur penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Prosedur Penelitian

3. HASIL PEMBAHASAN

3.1. Perhitungan pada sistem pelempar bola

3.1.1. Perhitungan gaya pada silinder pneumatik

- a. Perhitungan beban rencana pada sistem pneumatik

Benda yang dilempar adalah sebuah bola dengan berat 90 gr. Dilihat dari konstruksi pelempar, piston disambungkan dengan sebuah lengan dengan bahan profil stainless steel ukuran 0,5" x 0,5" panjang 75 cm tebal 2 mm. Lengan tersebut memiliki berat 0,5 kg. Maka beban rencana yang harus digerakkan oleh piston adalah berat lengan ditambah bola berjumlah 590 gram. Adapun rumus untuk menghitung beban rencana pada piston sesuai pada persamaan 1.

$$W = m g \quad (1)$$

Berdasarkan perhitungan persamaan 1, maka beban rencana pada sebuah piston adalah 5,8 N. setelah mendapatkan beban pada piston. Selanjutnya adalah menghitung gaya gesek pada piston. Untuk menghitung gaya gesek menggunakan persamaan 2.

$$F = W \mu \quad (2)$$

Berdasarkan persamaan 2, maka gaya gesek pada piston adalah 0,29 N. Sehingga gaya total pada sistem pneumatik adalah 6,09 N.

- b. Merencanakan diameter piston

Rumus untuk menghitung perencanaan diameter piston seperti pada persamaan 3.

$$D^2 = \frac{(F + Fg)}{(p \times 0,785)} \quad (3)$$

Dari perhitungan persamaan 3, didapat diameter rencana untuk piston adalah 0,0036 m atau 3,6 mm, sedangkan piston yang digunakan pada robot ISOLA_229 memiliki diameter 32 mm. Maka berdasarkan beban rencananya, piston yang digunakan sudah aman karena jauh melebihi diameter rencana piston.

- c. Kemampuan piston

Piston yang digunakan adalah piston dengan langkah maju mundur atau *double acting cilinder*. Memiliki diameter silinder 32 mm, diameter batang 12 mm, dan panjang langkah 300 mm. Gaya pada piston dapat dihitung dari masing-masing langkah. Pada sistem ini tekanan yang bekerja dibatasi pada tekanan rata-rata 6 bar atau 600.000 Pa. Untuk menghitung gaya yang dihasilkan piston untuk melangkah maju dapat dilihat pada persamaan 4.

$$F_{maju} = \frac{D^2 \pi P}{4} \quad (4)$$

Sedangkan untuk gaya yang dihasilkan piston untuk melangkah mundur dapat dilihat pada persamaan 5

$$F_{mundur} = \frac{(D^2 - d^2) \pi P}{4} \quad (5)$$

Berdasarkan persamaan 4 dan persamaan 5, gaya yang digunakan untuk piston melangkah maju adalah 482 N, sedangkan gaya yang digunakan untuk piston melangkah mundur adalah 415 N. Sehingga langkah piston yang digunakan pada saat pelemparan bola adalah langkah maju. Karena langkah maju memiliki gaya yang lebih besar dibanding langkah mundur. Maka untuk menghitung F_{piston} efektif seperti pada persamaan 6.

$$F_{Piston} = F_{maju} - F_{total} \quad (6)$$

Berdasarkan persamaan 6, perhitungan gaya piston efektif adalah 475,91 N.

d. Perhitungan gaya *buckling*

Untuk menghitung gaya bengkok diperlukan data modulus elastisitas bahan batang silinder pneumatik dan panjang langkah. Bahan batang silinder terbuat dari *stainless steel*, memiliki modulus elastisitas $E = 187,5 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ dan panjang langkahnya adalah 300 mm, maka $L = 600 \text{ mm}$.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI_x}{L^2 S} \quad (7)$$

Dari perhitungan pada persamaan 7, gaya bengkok yang diizinkan (P_{cr}) adalah 1043 N atau setara 104,3 kg, sedangkan besar dari gaya yang digunakan adalah 6,09 N atau setara 0,609 kg. Maka berdasarkan gaya bengkoknya, silinder pneumatik yang digunakan sudah aman.

e. Pemakaian udara pada sistem pneumatik

Untuk bisa menghitung udara yang dipakai, perlu dicari dahulu perbandingan kompresi pk menggunakan persamaan 8.

$$pk = \frac{101,3 + \text{tekanan}}{101,3} \quad (8)$$

Berdasarkan persamaan 8, didapatkan bahwasannya perbandingan kompresi pada sistem pneumatik adalah 6,82 Kpa. Robot Isola_229 harus melempar 3 buah bola pada 3 posisi yang berbeda untuk menyelesaikan misi dalam waktu 3 menit. Maka dalam satu kali pertandingan minimal robot harus melempar sebanyak 3 kali. Volume yang digunakan untuk satu siklus menggunakan persamaan 9, sedangkan untuk menghitung volume konsumsi ketika langkah mundur menggunakan persamaan 10. Kemudian setelah menghitung volume satu siklus dan volume konsumsi, langkah selanjutnya adalah menjumlahkan kedua volume tersebut

$$V_1 = pk \left(\frac{\pi}{4}\right) D^2 h \quad (9)$$

$$V_2 = px \left(\frac{\pi}{4}\right) x (D^2 - d^2) x h \quad (10)$$

Maka total konsumsi udara untuk satu siklus adalah :

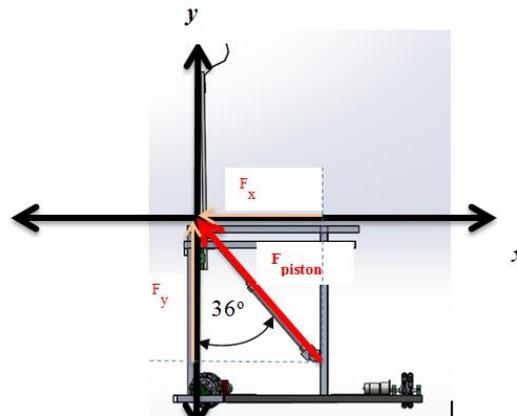
Berdasarkan persamaan 9 dan 10, maka volume untuk satu siklus dan volume konsumsi langkah mundur adalah 1,65 liter dan 1,41 liter. Sehingga dari perhitungan tersebut, didapatkan total volume untuk satu kali siklus adalah 3,06 liter. Sedangkan untuk minimal 1 kali pertandingan terdapat tiga kali siklus. Sehingga volume total untuk 3x siklus adalah 9,18 liter.

Dari perhitungan diatas, kebutuhan untuk satu pertandingan adalah 9,18 liter udara. Angka ini juga dapat dikatakan sebagai kebutuhan udara untuk menyelesaikan 3 siklus pelemaran, yakni tiga kali silinder bergerak maju dan tiga kali silinder bergerak mundur. Sebagai penyimpanan udara, robot ISOLA_229 menggunakan botol bekas minuman dengan kapasitas 1,5 liter/botolnya. Maka untuk mampu melempar 3 kali, minimal botol yang harus tersedia adalah 7 botol. Sedangkan robot ISOLA_229 menggunakan 16 botol.

3.1.2. Lengan pelempar

a. Kekuatan bahan lengan pelempar

Bahan lengan pelempar adalah propil *stainless steel* dengan kekuatan tarik bahan $\sigma_t = 520 \text{ N/mm}^2$. Mendapat gaya dorong dari piston sebesar $F_{\text{piston}} = 475,91 \text{ N}$. Jika diuraikan pada sumbu x dan y dengan orientasi sumbu x adalah batang lengan pelempar pada posisi awal. Adapun penguraian gaya pada sumbu X dan sumbu Y dapat dilihat pada Gambar 2.



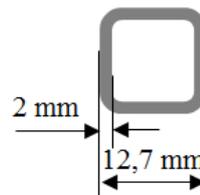
Gambar 2 Menguraikan gaya piston pada sumbu X dan sumbu Y

Jika diketahui gaya piston 475,91 N membentuk sudut $\alpha = 36^\circ$. Maka gaya piston yang diuraikan menjadi sumbu X dan sumbu Y adalah 279,73 N dan 382,02 N.

Berdasarkan penguraian gaya terhadap sumbu X dan Y, maka terjadi 2 tegangan yang berbeda. Gaya F_x adalah gaya radial mengakibatkan tegangan lentur σ_b . Sedangkan F_y adalah gaya aksial yang mengakibatkan tegangan aksial σ . Jika diambil faktor keamanan $k=3$ untuk beban aksial, maka untuk menghitung tegangan izin menggunakan persamaan 11.

$$\bar{\sigma}_a = \frac{\sigma_t}{k} \quad (11)$$

Dari persamaan 11, maka didapatkan nilai tegangan izinnnya adalah 173,34 N/mm². Setelah diketahui tegangan izin untuk jenis pembebanan aksial, maka bandingkan dengan tegangan yang terjadi, jika A adalah luas penampang profil batang stainless steel seperti Gambar 3.



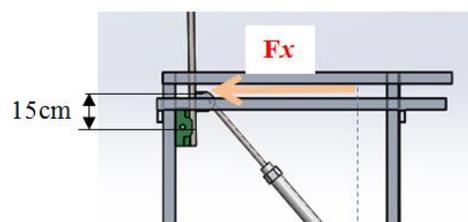
Gambar 3. Penampang batang pelempar

Adapun luas penampang profil batang memiliki luas 46,8 mm². Selanjutnya adalah menghitung tegangan aksial dengan persamaan 12.

$$\sigma_a = \frac{F_y}{A} \quad (12)$$

Berdasarkan persamaan 12, didapatkan bahwasannya tegangan aksialnya adalah 8,23 N/mm². Berdasarkan hasil perhitungan tegangan, didapat tegangan aksial yang terjadi lebih kecil dari tegangan aksial izin ($\sigma_a < \bar{\sigma}_a$), maka ditinjau dari beban aksialnya bahan ini aman digunakan sebagai lengan pelempar. Sedangkan untuk beban radial, menghitung tegangan izinnnya menggunakan persamaan 13.

$$\bar{\sigma}_b = 0,75 \times \bar{\sigma}_a \quad (13)$$



Gambar 4. Jarak pusat gaya ke tumpuan

Berdasarkan persamaan 13, didapatkan bahwasannya tegangan izin pada beban radial adalah 130 N/mm². Tegangan lentur dihitung menggunakan persamaan 14.

$$\sigma_b = \frac{F_x \cdot l}{Z} \quad (14)$$

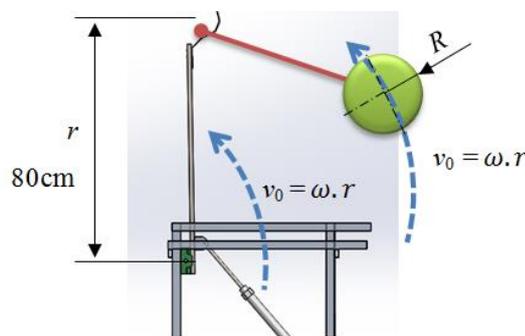
Berdasarkan persamaan 14, didapatkan bahwasannya tegangan lenturnya adalah 305,78 N/mm². Maka perbandingan kedua tegangannya didapat tegangan lentur yang terjadi lebih besar dari pada tegangan lentur izin ($\sigma_b > \bar{\sigma}_b$).

Ditinjau dari pembebanan radial, bahan ini tidak aman. Maka batang perlu diganti dengan bahan pejal agar inersianya menjadi lebih besar, maka nilai σ_b dihitung menggunakan persamaan 14 dan menghasilkan nilai tetangan lenturnya 122,9 N/mm². Jika batang adalah pejal, nilai tegangan lentur yang terjadi akan lebih kecil dari tegangan lentur izin ($\sigma_b < \bar{\sigma}_b$) dan aman digunakan sebagai bahan untuk lengan pelempar.

b. Kecepatan sudut lengan pelempar

Kecepatan sudut lengan pelempar, didapat dari kecepatan gerak translasi silinder rata-rata (1 m/s). Jika beban yang didorong silinder adalah sebesar 0,609 kg, maka energi kinetiknya dapat dihitung menggunakan rumus energi kinetik translasi seperti pada persamaan 15.

$$Ek = \frac{1}{2} m v^2 \quad (15)$$



Gambar 5. Kecepatan awal lemparan

Dari persamaan 15, didapatkan energi kinetiknya adalah 0,305 Joule. Untuk mengetahui kecepatan sudutnya maka hitung terlebih dahulu momen inersia menggunakan persamaan 16.

$$I = \frac{2}{5} MR^2 \quad (16)$$

Dari persamaan 16, didapatkan momen inersianya adalah 0,00081 kg.m². Kecepatan sudutnya menggunakan persamaan 17.

$$\omega = \sqrt{\frac{Ek}{I}} \quad (17)$$

Dari persamaan 17 didapatkan kecepatan sudutnya adalah 19,4 rad/s. Kecepatan sudut ini juga merupakan kecepatan awal bola ketika melakukan lemparan (v_0) dengan konversi satuan dari rad/s ke satuan m/s. Kemudian dikonversi satuan dari rad/s ke m/s, sehingga kecepatan awal bolanya adalah 15,52 m/s.

3.2. Gerak parabola dari lemparan

Untuk menyelesaikan misi robot harus melempar 3 bola pada 3 posisi yang berbeda sebagaimana dijelaskan pada tabel dibawah ini.

Tabel 1. Keterangan zona lempar

Zona lempar	Jarak x ke titik y (m)	Ketinggian y (m)	Jarak x ke zona mendarat (cm)
1	4	3 – 4	
2	7	3 – 4	
3	7	4 – 5	10,2 – 11,2

Tabel 1 merupakan acuan dalam menentukan variabel-variabel yang mampu diubah guna mencapai target dari tiap zona lempar. Variabel yang tetap adalah sudut elevasi (sudut awal lemparan) dan variabel bebasnya adalah kecepatan lemparan.

Kenyataan dilapangan tidak memungkinkan untuk mengukur ketinggian maksimal, maka variabel yang dijadikan patokan adalah jarak terjauh. Untuk mengkalibrasi sudut elevasi, penulis melakukan percobaan melempar dengan kecepatan awal $v_0 = 15,52$ m/s. Berikut data hasil percobaan yang telah dilakukan:

Tabel 2. Data hasil percobaan kalibrasi lemparan

Percobaan ke-	Jarak terjauh x_{max} (m)	Waktu (s)
1	24,4	2,24
2	23,8	2,15
3	24,2	2,24
4	24,8	2,31
5	24,2	2,24
6	24,3	2,24
7	24,2	2,22
8	24,8	2,25
9	24,8	2,24
10	24,9	2,25
Rata-rata	24,4	2,238

Variabel waktu dimasukkan kedalam rumus gerak parabola untuk mengidentifikasi sudut elevasi yang terbentuk ketika bola terlempar dari lengan pelempar seperti pada persamaan 18

$$\sin\alpha = \frac{g \cdot tx_{max}}{2v_0} \quad (18)$$

Dari persamaan 18, didapatkan sudut antara bola terlempar dengan lengan pelempar adalah 45° .

3.2.1. Zona lempar 1

Diketahui $v_0 = 15,52$ m/s dan $g = 9,8$ m/s², $x_1 = 4$ m, $y = (3 - 4)$ meter. Sudut v_0 diasumsikan 45° berdasarkan teori tentang *trebuchet* yang dikemukakan (Saimre,2006:68) bahwa, untuk rentang terbesar dalam keadaan normal, sudut ini kira-kira 45° ke cakrawala, juga berdasarkan hasil kalibrasi lemparan yang dilakukan oleh penulis. Langkah selanjutnya menghitung waktu dan jarak setelah waktu dilemparkan. Adapun untuk menghitung waktu dan jarak pada sumbu Y adalah persamaan 19 dan 20

Maka digunakan rumus x dan rumus y .

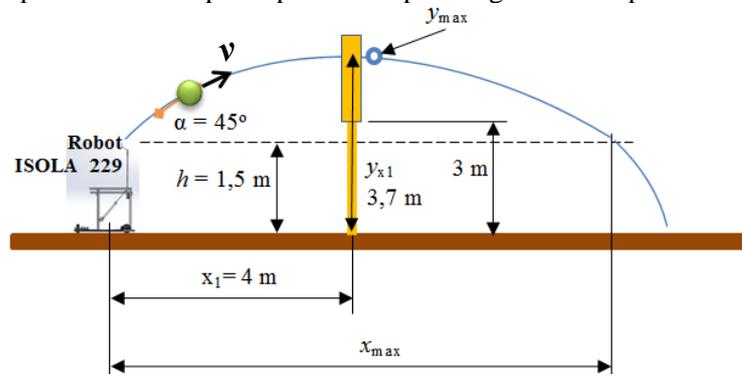
$$t_{x1} = \frac{x_1}{v_0 \cdot \cos(45)} \quad (19)$$

$$y_{x1} = v_0 t_1 \cdot \sin\alpha - \frac{1}{2} g t_1^2 \quad (20)$$

Berdasarkan persamaan 19 dan 20, maka didapatkan dengan jarak sumbu X 4 meter, maka waktu yang dibutuhkannya adalah 0,37 detik dan jarak terhadap sumbu Y nya adalah 3,39 meter. Pada jarak 4 meter dari robot, bola terlempar setinggi 3,39 meter dari ketinggian awal. Maka total ketinggian dihitung dari tanah yang dicapai pada jarak $x_1 = 4$ meter adalah $y_{x1} = 3,39 + 1,5 = 4,89$ meter. Sedangkan ketinggian yang masuk kategori pada jarak $x_1 = 4$ meter adalah antara (3 – 4) meter. Maka penulis

mencoba mengurangi/mereduksi kecepatan awal menjadi 60%. Sehingga kecepatan awalnya menjadi 9,31 m/s. kemudian persamaan 19 dan 20 untuk mengetahui waktu tempuh dan jarak pada sumbu Y.

Dengan mengurangi kecepatan awal, maka waktu yang ditempuh dan jarak pada sumbu Y juga berubah yaitu menjadi 0,61 detik dan 2,2 meter. Dengan begitu $y_{x1} = 2,20 + 1,5 = 3,7$ meter. Ketinggian y_{x1} masuk kategori ketinggian bola di zona lempar 1, yakni antara 3 – 4 meter. Maka untuk pelemparan di zona lempar 1 dengan penurunan kecepatan piston sampai dengan 60% dapat dikatakan baik.

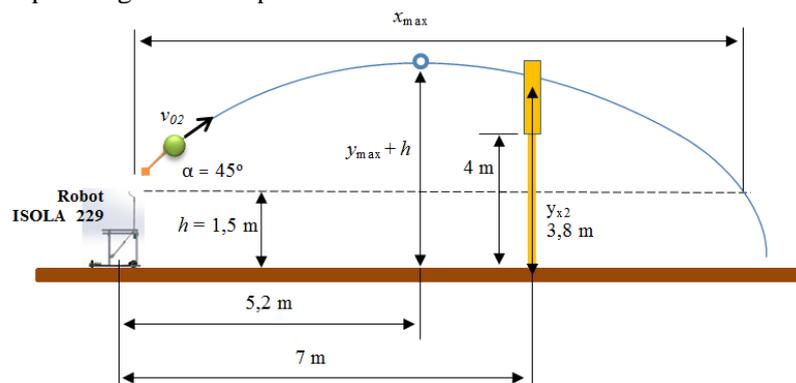


Gambar 6. Gerak parabola pada zona lempar 1

3.2.2. Zona lempar 2

Pada zona lempar 2, jarak $x_2 = 7$ meter dan ketinggian y_{x2} yang masuk kateregorei adalah 3 – 4 meter. Kecepatan pada zona ini direduksi menjadi 65% dari kecepatan normal piston. Sehingga kecepatannya 10,1 m/s. Jika menggunakan kecepatan awal 10,1 m/s, maka menggunakan persamaan 19 dan 20 dan menghasilkan waktu tempuhnya 0,97 s, dan jarak pada sumbu Y adalah 2,3 meter.

Dengan begitu $y_{x2} = 2,30 + 1,5 = 3,8$ meter. Ketinggian y_{x1} masuk kategori ketinggian bola di zona lempar 2, yakni antara 3 – 4 meter. Maka untuk pelemparan di zona lempar 2 dengan penurunan kecepatan piston sampai dengan 65% dapat dikatakan baik.



Gambar 7. Gerak parabola pada zona lempar 2

3.2.3. Zona lempar 3

Pada zona lempar 3, jarak $x_3 = 7$ meter dan ketinggian y_{x3} yang masuk kateregorei adalah 4 – 5 meter. Pada zona 3, terdapat x_{max} yang harus dicapai bola yaitu 10,2 – 11,2 meter. Bola harus mendarat di area lingkaran berdiameter 1m. Ketinggian area mendarat bola adalah 50 cm dari tanah.

Tabel 3. Perhitungan lemparan di zona 3 kecepatan 100 – 10%, $\alpha = 45^\circ$.

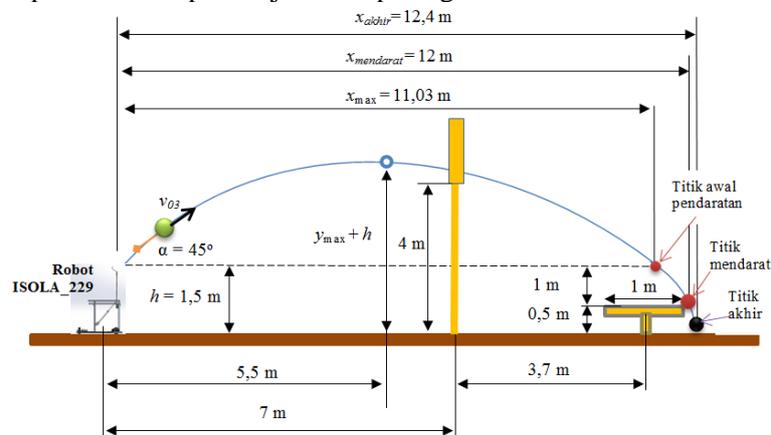
Kecepatan %	Kecepatan setelah direduksi (m/s)	y_{x3} (m)	Ketinggian y_{x3} dari tanah (m)	x_{max} (m)
100	15,52	5,01	6,51	24,58
90	13,97	4,54	6,04	19,91
80	12,42	3,88	5,38	15,73
70	10,86	2,93	4,43	12,04
60	9,31	1,46	2,96	8,85
50	7,76	-0,97	0,53	6,14
40	6,21	-5,46	-3,96	3,93
30	4,66	-15,15	-13,65	2,21
20	3,10	-42,84	-41,34	0,98
10	1,55	-192,36	-190,86	0,25

Pada tabel 3 dapat disimpulkan bahwa tidak ada angka x_{max} yang memenuhi kriteria $x = 10,2 - 11,2$ meter. Maka dibuat tabel 4 untuk angka yang mendekati, yakni pada reduksi kecepatan antara 60 – 70 %.

Tabel 4. Perhitungan lemparan di zona 3 kecepatan 70 – 65%, $\alpha = 45^\circ$.

Kecepatan %	Kecepatan setelah direduksi (m/s)	y_{x3} (m)	Ketinggian y_{x3} dari tanah (m)	x_{max}	$x_{mendarat}$ pada $y = -1m$
70	10,86	2,93	4,43	12,04	12,97
69	10,71	2,81	4,31	11,70	12,63
68	10,55	2,69	4,19	11,37	12,29
67	10,40	2,56	4,06	11,03	11,96
66	10,24	2,42	3,92	10,71	11,63
65	10,09	2,28	3,78	9,42	11,30

Dilihat dari ketinggian y_{x3} pada tabel diatas, didapat angka yang masuk kategori lemparan di zona lempar 3, yakni pada reduksi kecepatan 67 – 70 %. Namun dilihat dari posisi akhir atau jarak bola mendarat pada $y = -1$ meter, tidak ada angka x yang memenuhi kriteria. Angka yang paling mendekati adalah data pada kecepatan 67% seperti dijelaskan pada gambar dibawah ini.



Gambar 8. Gerak parabola pada zona lempar 3, kecepatan 67%, $\alpha = 45^\circ$

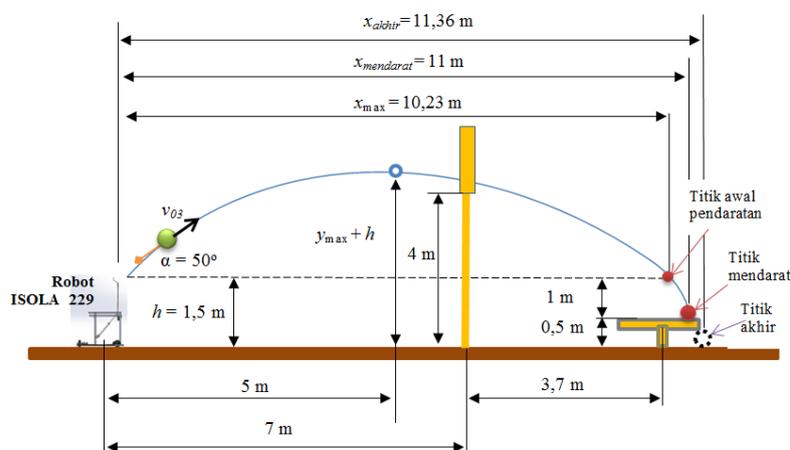
Setiap uji coba lemparan pada zona lempar 3, bola tidak mencapai sasaran. Berdasarkan data perhitungan pada tabel 3.5. disimpulkan bahwa robot ISOLA_229 yang telah dibuat tidak mampu melemparkan bola agar mendarat tepat pada area sasaran.

Perlu ditambah sistem baru untuk mengatasi permasalahan tersebut, yakni berupa sistem yang mampu menambah sudut lemparan α menjadi lebih dari 45° . Pada kasus ini jika lemparan di zona lempar 3 dihitung dengan sudut lempar 50° hasilnya dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Perhitungan lemparan di zona 3 kecepatan 70 – 65%, $\alpha = 50^\circ$.

Kecepatan %	Kecepatan setelah direduksi (m/s)	y_{x3} (m)	Ketinggian y_{x3} dari tanah (m)	x_{max}	$x_{mendarat}$ pada $y = -1$ m
70	10,86	3,42	5,92	11,86	12,65
69	10,71	3,27	4,77	11,52	12,31
68	10,55	3,12	4,62	11,19	11,98
67	10,40	2,97	4,47	10,86	11,68
66	10,24	2,80	4,30	10,54	11,32
65	10,09	2,63	4,13	10,23	11

Dengan menambah sudut lempar α menjadi 50° , didapat kesimpulan bahwa robot ISOLA_229 akan mampu melempar di zona lempar 3 dengan baik pada kecepatan 65%. Karena pada $x = 7$ meter, $y_{x3} = 4,13$ meter, masuk kategori ketinggian 4 – 5 meter. Pada titik mendarat $y = -1$ meter, $x_{mendarat} = 11$ meter, masuk kategori $x = 10,2 - 11,2$ meter. Dengan begitu dengan sudut lempar $\alpha = 50^\circ$ robot ISOLA_229 mampu menyelesaikan misi untuk pelemparan di zona lempar 3.



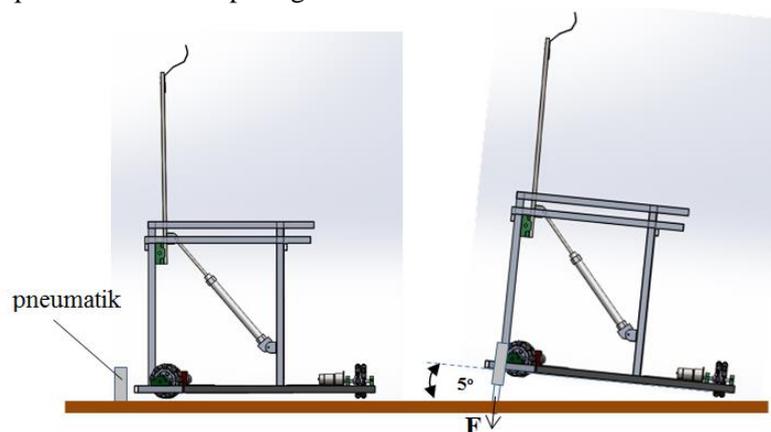
Gambar 9. Gerak parabola pada zona lempar 3. Kecepatan 65%. $\alpha = 50^\circ$

4. KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan dan percobaan yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Silinder pneumatik yang digunakan merupakan silinder yang tersedia di sekretariat KOMPOR UPI, memiliki diameter silinder 32mm. Berdasarkan perhitungan beban yang akan di dorong oleh silinder, silinder yang dipakai sudah aman.
2. Pemilihan material batang pelempar pada robot ISOLA_229 adalah propil stainless steel $\frac{1}{2}$ " x $\frac{1}{2}$ " dengan tebal 2mm belum dikatakan aman ditinjau dari perhitungan tegangan lentur yang terjadi yakni $\sigma_b = 305,78 \text{ N/mm}^2$ melebihi tegangan lentur yang diizinkan $\sigma_b = 130 \text{ N/mm}^2$.
3. Kapasitas penyimpanan udara pada robot ISOLA_229 sudah aman, yakni 16 botol bekas air mineral 1,5 liter atau sebanyak 12 liter udara, sedangkan pemakaian udara untuk satu kali permainan minimal 9,18 liter dengan tekanan udara yang stabil 6 bar.
4. Lemparan
 - a. Pada zona lempar 1, robot ISOLA_229 sudah cukup stabil melempar bola tepat sasaran.

- b. Pada zona lempar 2, bola yang dilempar robot ISOLA_229 belum mampu mencapai sasaran dikarenakan kecepatan lemparan terlalu tinggi sehingga diperlukan reduksi kecepatan sebanyak 65% menggunakan *throttle valve*.
- c. Pada zona lempar 3, diperlukan reduksi kecepatan lemparan sebesar 65% dari kecepatan normal dan perubahan sudut elevasi dari semula $\alpha=45^\circ$ menjadi $\alpha=50^\circ$ agar lemparan bola berhasil mencapai sasaran.
- d. Pada zona lempar 2 dan 3, diperlukan komponen pneumatik *throttle valve* untuk mereduksi kecepatan silinder sebesar 65% dari kecepatan normalnya. Khusus untuk zona lempar 3 diperlukan suatu sistem tambahan untuk merubah sudut elevasi lemparan dari semula $\alpha=45^\circ$ menjadi $\alpha=50^\circ$, dapat menggunakan sistem naik turun menggunakan pneumatik sebagai kaki yang dipasang dibagian depan di sisi kiri dan kanan untuk mencapai sudut $\alpha=50^\circ$ seperti gambar dibawah ini.



Gambar 10. Desain sistem kaki perubah sudut elevasi

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arikunto, S. 2010. *Prosedur Penelitian*. Jakarta: PT Adsi Mahasatya
- [2] Surakhmad, W. 2006. *Pengantar Penelitian Ilmiah*. Bandung: Tarsito.
- [3] Cambridge Engineering Selector software. 2003. *Materials Data Book*. Cambridge : Cambridge University Engineering Department.
- [4] Pitowarno. Endra. 2006. *ROBOTIKA : Desain, Kontrol, dan Kecerdasan*. Buatan. Yogyakarta : Andi Offset.
- [5] Hamidah, Ida. *Fisika 1* 2009. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- [6] Hennessey, Michael P. dan Johnson, Michael D. 2010. *Design and manufacture of a museum-grade children's indoor trebuchet by mechanical engineering students : International Journal of Mechanical Engineering Education*, 38, 1, 28-44. University of St. Thomas, USA.
- [7] Nugroho, Erifiyanto Dwi. 2016. *Pengembangan Alat Pelontar Bola Multifungsi* (Skripsi). Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.
- [8] Saimre, Tanel. 2006. *Trebuchet . A Gravity-Operated Siege Engine: Estonian Journal of Archaeology*, 10, 1, 61-80. Department of History, University of Tartu, Estonia.
- [9] Subhan, Muhammad. dan Satmoko, Ari. 2016. *Penentuan Dimensi Dan Spesifikasi Silinder Pneumatik Untuk Pergerakan Tote Iradiator Gamma Multiguna Batan : Jurnal Perangkat Nuklir*, 10, 02, 50-61. Batan : Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir (PRFN).
- [10] Sularso, dan Suga, Kiyokatsu. 1978. *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: PT. Pradnya paramita.

-
- [11] Universitas Pendidikan Indonesia. 2017. *Pedoman Penulisan Karya Tulis Ilmiah UPI*. Bandung: UPI.