

## PENGARUH RANCANGAN MEKANISME PENENDANG ROBOT SEPAK BOLA BERODA TERHADAP VARIASI SUDUT TENDANGAN

**Bagus Maulad Yunanto**

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: bagus.22093@mhs.unesa.ac.id

**Akhmad Hafizh Ainur Rasyid, S.T., M.T.**

Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: akhmadrasyid@unesa.ac.id

### Abstrak

Pada robot penyerang sepak bola beroda buatan C.V. Manufaktur Robot Industri hanya mampu melakukan 2 variasi sudut tendangan. Sistem mekanisme penendang robot menggunakan dua lengan penendang yang hanya mampu melakukan tendangan mendatar dan lambung. Oleh karena itu, dilakukan penelitian pengaruh rancangan mekanisme penendang robot sepak bola beroda terhadap variasi sudut tendangan sebagai dasar pengembangan performa robot. Penelitian ini dilakukan dengan membuat rancangan variasi sudut mekanisme dengan variasi sudut  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $75^\circ$ , dan  $90^\circ$ . Simulasi dilakukan menggunakan software MATLAB R2024b, berdasarkan hasil rancangan variasi sudut dapat dilakukan analisis kinematika sistem kerja penendang yang kemudian digunakan sebagai input parameter uji simulasi. Berdasarkan uji simulasi dihasilkan data dan grafik yang menunjukkan rancangan variasi sudut mekanisme mampu menghasilkan variasi sudut tendangan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa trajektori bola dipengaruhi oleh sudut dan jarak titik poros rotasi dengan impuls solenoid. Dengan hasil pengujian menunjukkan kecepatan awal bola paling cepat pada sudut  $90^\circ$ , jarak horizontal terjauh pada sudut  $60^\circ$ , serta tinggi maksimum dan waktu diudara terlama pada sudut  $45^\circ$ .

**Kata Kunci:** Robot Sepak Bola Beroda, Mekanisme Penendang, Variasi Sudut Tendangan, Analisis Kinematika, MATLAB.

### Abstract

*The wheeled soccer attacking robot made by C.V. Industrial Robot Manufacturing is only capable of performing 2 variations of kick angles. The robot's kicking mechanism system uses two kicking arms that are only capable of performing horizontal and high kicks. Therefore, a study was conducted to determine the effect of the wheeled soccer robot's kicking mechanism design on variations in kick angles as a basis for developing robot performance. This study was conducted by sketching the mechanism design with variations in angles of  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $75^\circ$ , and  $90^\circ$ . Simulations were carried out using MATLAB R2024b software, based on the results of the design sketch, a kinematic analysis of the kicker's working system was carried out which was then used as input parameters for the simulation test. Based on the simulation test, data and graphs were produced showing that the mechanism design sketch was capable of producing variations in kick angles. The simulation results showed that the ball's trajectory was influenced by the angle and distance of the rotational axis point with the solenoid impulse. The test results showed the ball's fastest initial speed at a  $90^\circ$  angle, the furthest horizontal distance at a  $60^\circ$  angle, and the maximum height and longest air time at a  $45^\circ$  angle.*

**Keywords:** Wheeled Soccer Robot, Kicking Mechanism, Kick Angle Variation, Kinematic Analysis, MATLAB.

### PENDAHULUAN

Kemajuan di bidang robotika telah mendorong peningkatan kemampuan robot dalam melakukan pergerakan dan berinteraksi secara aktif dengan lingkungan yang bersifat dinamis. Salah satu penerapannya dapat ditemukan pada sistem robot sepak bola beroda, yang dirancang sebagai platform robotika terintegrasi dengan memadukan berbagai disiplin ilmu, seperti mekanika, elektronika, sistem kendali, dan pengolahan citra (Kusumoputro dkk., 2024). Robot sepak bola beroda umumnya dikembangkan untuk beroperasi secara otonom maupun semi-otonom, sehingga dituntut mampu melakukan pendekripsi objek, khususnya bola, bernavigasi di area permianan, serta merespons perubahan

kondisi lingkungan secara cepat dan adaptif. Berbagai penelitian terdahulu telah mengkaji pengembangan robot jenis ini, terutama yang berkaitan dengan desain mekanisme, sistem kendali pergerakan omnidirectional, serta penerapan visi komputer untuk deteksi dan pelacakan objek.

Robot sepak bola beroda umumnya dibagi menjadi dua peran utama, yaitu robot penyerang dan robot penjaga gawang. Robot penyerang memiliki tuntutan kinerja yang lebih kompleks karena harus mampu melakukan akuisisi bola, membawa bola, serta mengeksekusi tendangan secara efektif menuju target. Oleh karena itu, pada robot penyerang terdapat beberapa mekanisme utama yang sangat berpengaruh terhadap performa sistem, yaitu mekanisme penendang, mekanisme pemegang bola, dan

sistem roda sebagai penggerak utama (Kusumoputro dkk., 2024).

Penendang robot merupakan salah satu bagian utama, yang berfungsi untuk menendang bola. Pada umumnya bagian ini terdiri dari dua komponen utama yaitu aktuator dan lengan penendang. Dimana aktuator menghasilkan gaya dorong yang besar pada lengan penendang dalam waktu singkat untuk menembakkan bola. Pada umumnya terdapat dua variasi sudut tendangan yang dapat dilakukan yaitu *straight kick* dan *lob shot*, tetapi pada mekanisme tertentu dapat dilakukan controlled kick (Deegan *et al.*, 2024). *Controlled kick* merupakan jenis tendangan yang memungkinkan robot untuk menyesuaikan kekuatan tendangan dan sudut tendangan berdasarkan kebutuhan permainan.

Pada robot penyerang sepak bola beroda buatan CV. Manufaktur Robot Industri. Robot ini menggunakan solenoid sebagai aktuator untuk pendorong lengan penendang yang dilengkapi dengan sistem horizontal linier rail set untuk sistem pergantian penendang. Jenis penendang ini memiliki dua variasi sudut tendangan dengan dilengkapi dua lengan penendang yaitu *straight kick* dan *lob shot* sehingga tidak memungkinkan untuk melakukan *controlled shot*, dimana sudut tendangan tidak dapat disesuaikan (Fuadi, 2024).

Oleh karena itu dilakukan perancangan mekanisme penendang robot agar dapat melakukan controlled shot dengan sudut tendangan yang bervariasi. Rancangan mekanisme penendang yang telah dikembangkan perlu dianalisa lebih lanjut guna mengevaluasi performa sistem secara menyeluruh. Analisa ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi sudut tendangan serta besarnya daya yang dihasilkan oleh solenoid terhadap jarak tendangan bola. Perhitungan dilakukan melalui simulasi digital menggunakan perangkat lunak, kemudian hasilnya dibandingkan dengan data empiris dari hasil pengujian prototipe secara langsung (Beer, Johnston, 2010). Pengujian dilakukan melalui simulasi perangkat lunak. Pada tahap simulasi, parameter sudut dan daya tendangan dimasukkan ke dalam model digital untuk memperkirakan lintasan dan jarak yang dapat ditempuh bola.

Fokus utama dalam evaluasi performa rancangan ini dilakukan melalui pendekatan simulasi numerik menggunakan perangkat lunak MATLAB R2024b (Rao, 2019). Simulasi ini menjadi instrumen krusial untuk mengevaluasi efektivitas desain sebelum masuk ke tahap produksi, sekaligus meminimalkan kesalahan perancangan teoritis. Dalam simulasi ini, berbagai parameter fisik seperti massa bola, panjang lengan penendang, waktu kerja efektif solenoid, serta gaya impuls aktuator diintegrasikan ke dalam model digital untuk memprediksi lintasan dan trajektori bola secara akurat (Beer, Johnston, 2010). Melalui analisis kinematika gerak parabola, simulasi

MATLAB mampu menyajikan visualisasi trajektori yang menunjukkan pengaruh variasi sudut terhadap jarak horizontal terjauh dan tinggi maksimum bola (Palm, 2010). Pendekatan berbasis simulasi ini bertujuan untuk memberikan dasar ilmiah yang kuat dalam pengembangan performa robot penyerang sepak bola beroda, memastikan bahwa setiap variasi sudut yang dirancang memiliki akurasi teoritis.

## METODE

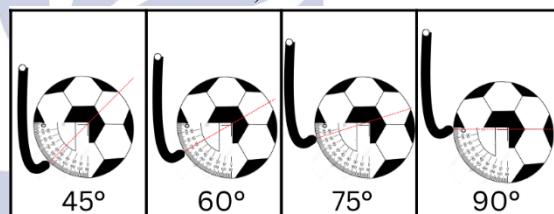
### Jenis Penelitian

Dalam penelitian kali ini menggunakan metode penelitian kuantitatif. Penelitian kuantitatif adalah suatu proses menemukan pengetahuan data berupa nomor yang dimanfaatkan dalam menganalisis pengetahuan mengenai apa yang ingin diketahui. Penelitian kali ini menghasilkan data berupa rancangan dan uji performa dari mekanisme sistem penendang.

### Variabel Penelitian

- Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi variabel terikat. Pada penelitian ini yang termasuk dalam variabel bebas adalah sudut tendangan lengan penendang (dalam derajat) seperti pada Gambar 1 dan gaya dari aktuator (gaya keluaran solenoid dalam Newton).



Gambar 1. Variasi Sudut Tendangan  
(Data Peneliti, 2025)

- Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas atau hasil yang diharapkan dari penelitian. Pada penelitian ini variabel terikat adalah jarak tempuh/lintasan bola (dalam meter), bentuk trajektori bola (parabola, ketinggian maksimum, jarak horizontal).

- Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang dikendalikan agar variabel bebas dan variabel terikat tidak dapat dipengaruhi oleh faktor yang ada dari luar penelitian. Variabel yang akan dikontrol dalam penelitian ini adalah:

- ❖ Robot penyerang sepak bola beroda
- ❖ Massa bola
- ❖ Jenis bola
- ❖ Lapangan
- ❖ Dimensi lengan penendang
- ❖ Jenis aktuator yang digunakan

### Rancangan Penelitian

- Tempat Penelitian

Perancangan dan pengambilan data robot penyerang sepak bola beroda dilakukan di Laboratorium Robotika, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya.

- Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Juli – Desember 2025.

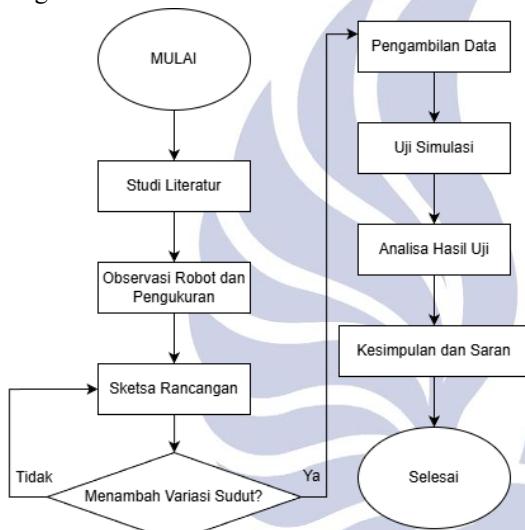
- Subjek Penelitian

Anggota tim robot penyerang sepak bola beroda yang pernah mengikuti Kontes Robot Indonesia dan yang menjadi bagian dari tim riset.

- Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah robot penyerang sepak bola beroda pada bagian sistem penendang bola.

- Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian  
(Data Peneliti, 2025)

### Sumber Data Penelitian

Sumber data sketsa sistem rancangan penendang mengacu pada robot penyerang sepak bola beroda produksi dari CV. Manufaktur Robot Industri. Sumber informasi dan data pengujian tentang robot penyerang sepak bola beroda diperoleh dari hasil simulasi menggunakan software MATLAB dan observasi di Laboratorium Robotika Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya.

### Teknik Pengumpulan Data

- Pengukuran

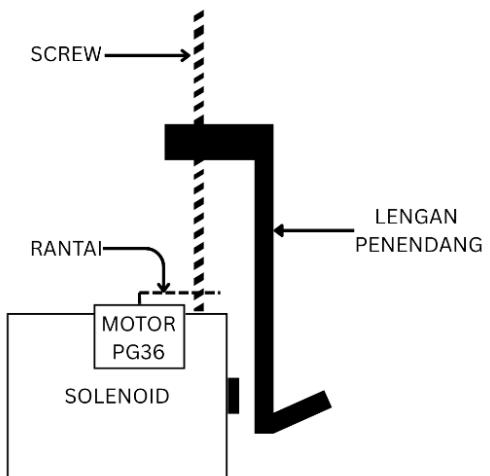
- ❖ Dimensi Komponen

Pengukuran dilakukan dengan membongkar robot eksisting yang kemudian dilakukan pengukuran masing-masing komponen. Pengukuran diakukan menggunakan jangka sorong dan penggaris dengan ketelitian 0,5-1mm.

- ❖ Dimensi Rancangan variasi sudut

Pengukuran besar sudut akan mempengaruhi jarak poros ke plunger solenoid

seperti pada Gambar 3. Sketsa digambar dan dikumpulkan datanya menggunakan *software* Solidworks 2024.



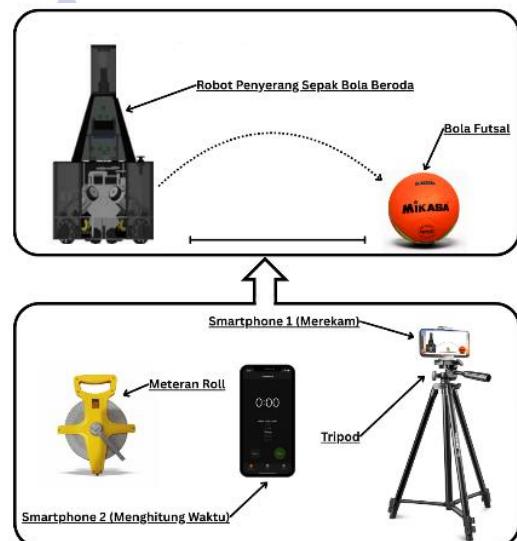
Gambar 3. Rancangan variasi sudut  
(Data Peneliti, 2025)

- ❖ Waktu Kerja Solenoid

Pengukuran waktu kerja solenoid dikakukan dengan direkam gerak lambat 0,2 kali menggunakan gawai VIVO Y20s.

- Uji Performa Robot Eksisting

Pengujian dilakukan dengan menendang bola dengan set poin program solenoid 30. Tendangan dilakukan dengan lengan penendang lambung. Pengukuran dilakukan dengan pengukuran jarak jatuh bola menggunakan meteral roll dengan ketelitian 1mm dan waktu bola diudara dari mulai ditendang hingga bola jatuh menggunakan *stopwatch* dengan ketelitian mili detik pada gawai VIVO Y20s. Skema pengujian pengambilan data seperti pada Gambar 3 dibawah ini:



Gambar 4. Tata letak alat, bahan, dan instrument  
(Data Peneliti, 2025)

## Teknik Analisis Data

- Kecepatan Awal Bola

Kecepatan awal bola ( $v_0$ ) dapat dihitung dari hasil uji dengan mengkalikan gravitasi ( $g$ ) dengan waktu bola diudara ( $t$ ) yang kemudian dibagi dengan besar sudut ( $\theta$ ) (Serway & John W. Jewett, 2008). Seperti pada persamaan 1 dibawah ini:

$$v_0 = \frac{gt}{2\sin\theta} \quad (1)$$

- Gaya Solenoid

Gaya solenoid ( $F_s$ ) dapat dihitung dari turunan persamaan (4) dengan mengkalikan massa bola ( $m_b$ ), kecepatan awal bola ( $v_0$ ), dan panjang lengan penendang ( $L$ ) yang kemudian dibagi dengan perkalian jarak poros dengan plunger ( $r$ ) dan waktu kerja solenoid ( $t_s$ ) (Serway & John W. Jewett, 2008). Seperti pada persamaan dibawah ini:

$$F_s = \frac{m_b v_0 L}{\eta r t_s} \quad (2)$$

- Energi Kinetik

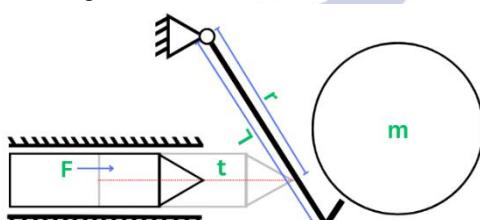
Diperlukan perhitungan untuk menghitung energi kinetik dari translasi solenoid ( $E_{trans}$ ) ke energi kinetik rotasi lengan penendang ( $E_{rot}$ ) (LING, SANNY, & MOEBS, 2018) seperti persamaan (3) dibawah ini:

$$E_{rot} = E_{trans} \quad (3)$$

- Impuls

Diperlukan perhitungan untuk menghitung impuls dari lengan penendang ( $J_{lengan}$ ) ke impuls pada bola ( $J_{bola}$ ) (Serway & John W. Jewett, 2008) dapat diamati pada Gambar 4 dengan persamaan (4) dibawah ini:

$$J_{bola} = J_{lengan} \quad (4)$$



Gambar 5. Skema Kinematika Rancangan Sistem Penendang  
(Data Peneliti, 2025)

- Trajektori Bola

Skema trajektori bola dapat dilihat seperti pada Gambar 5 dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

- Menguraikan Kecepatan Awal Bola

Kecepatan awal bola membentuk sudut  $\theta$  terhadap bidang horizontal. Ini berasal dari trigonometri segitiga siku-siku (Apsley, 2025) dengan persamaan berikut:

- Komponen vertical

$$v_{0y} = v_0 \sin\theta \quad (5)$$

- Komponen horizontal

$$v_{0x} = v_0 \cos\theta \quad (6)$$

- Gerak Vertikal Bola

Setelah bola lepas dari lengan:

- Tidak ada gaya dorong
- Hanya gravitasi bekerja

Sehingga berlaku persamaan kinematika:

$$v_y = v_{0y} - gt \quad (7)$$

- Waktu Bola di Udara

Untuk menghitung lama bola di udara selama balistik dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$t_{udara} = \frac{2v_{0y}}{g} \quad (8)$$

- Tinggi Maksimum Bola

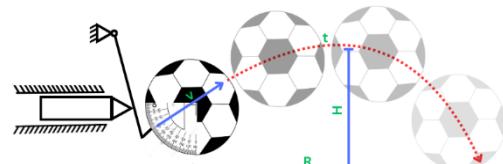
Untuk menghitung tinggi maksimum selama bola balistik, dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$h_{maks} = \frac{v_{0y}^2}{2g} \quad (9)$$

- Jarak Horizontal Bola

Untuk menghitung jarak balistik maksimum bola, dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$R = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g} \quad (10)$$



Gambar 6. Skema Trajektori Bola  
(Data Peneliti, 2025)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Penelitian

- Pengukuran Robot

Hasil Pengukuran dilakukan dengan fokus ke bagian sistem mekanisme penendang seperti pada Gambar. Didapatkan hasil data sebagai input parameter simulasi seperti Tabel dibawah ini:



- Transmisi Spherical Linkage
- Linear Slider
- Solenoid
- Lengan Penendang

Gambar 7. Komponen Sistem Penendang Robot Eksisting  
(Data Peneliti, 2025)

Tabel 1. Input Parameter Robot Eksisting

Parameter	Satuan	Hasil
Panjang lengan penendang	m	0,238 m
Waktu kerja efektif solenoid	s	0,067

- Jarak titik dorong solenoid ke poros

Berdasarkan hasil pengukuran robot eksisting dapat dilakukan pengukuran sudut tembakan menggunakan software CAD untuk menentukan jarak titik dorong solenoid ke poros seperti pada Gambar 1 dan Tabel 2 dibawah ini:

Tabel 2. Jarak titik dorong solenoid ke poros

Parameter	Satuan	Sudut			
		45°	60°	75°	90°
Jarak titik dorong solenoid ke poros	m	0,091	0,1165	0,143	0,170

- Uji Tendang Robot Eksisting

Hasil uji tendang pada robot penyerang eksisting dilakukan sebanyak 10 kali percobaan. Pengujian dilakukan pada robot eksisting dengan sudut sebesar 50° dengan jarak tumbukan dan poros 0,1 m pada set poin program 30. Hasil pengujian bisa dilihat pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Uji tendang robot eksisting

No	Waktu di Udara (s)	Jarak Horizontal (cm)
1	1,21	490
2	1,17	510
3	1,19	513
4	1,37	538
5	1,21	530
6	1,28	528
7	1,19	547
8	1,21	514
9	1,21	528
10	1,26	514
Rata-rata	1,23	521,2

- Gaya Solenoid

Hasil perhitungan gaya solenoid didapatkan melalui data hasil uji tendang robot eksisiting dengan sudut 50° yang meliputi waktu diudara 1,23 s dan jarak horizontal 5,212 m. Berdasarkan data tersebut dapat dihitung kecepatan awal bola seperti dibawah ini:

$$v_0 = \frac{gt}{2\sin\theta}$$

$$9,8 \times 1,23$$

$$v_0 = \frac{2 \times \sin 50^\circ}{12,054}$$

$$v_0 = \frac{1,532}{1,532}$$

$$v_0 \approx 7,87 \text{ m/s}$$

Berdasarkan nilai kecepatan awal bola yang telah diperoleh, gaya solenoid dihitung dengan menggunakan parameter mekanik yang diambil dari robot penyerang eksisting, parameter tersebut meliputi:

- Panjang lengan penendang:  $L = 0,238 \text{ m}$
- Jarak titik dorong solenoid ke poros:  $r = 0,1 \text{ m}$
- Waktu kerja efektif solenoid:  $t = 0,067 \text{ s}$
- Massa bola:  $m_b = 0,41 \text{ kg}$
- Efisiensi Tumbukan:  $\eta = 1$  (Asumsi Ideal)

$$F_s = \frac{m_b v_0 L}{\eta r t_s}$$

$$F_s = \frac{0,41 \times 7,87 \times 0,238}{1 \times 0,10 \times 0,067}$$

$$F_s = \frac{0,768}{0,0067}$$

$$F_s \approx 115 \text{ N}$$

Perhitungan gaya solenoid menunjukkan bahwa pada set point program 30 dihasilkan gaya solenoid efektif sebesar 115N.

- Uji Simulasi

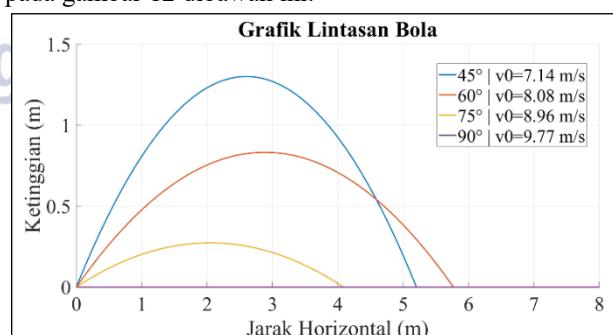
Hasil uji simulasi performa menggunakan sudut 45°, 60°, 75°, dan 90° dengan parameter berdasarkan rancangan yang telah dikembangkan seperti pada Tabel 4.2 dan observasi robot eksisting seperti pada Tabel 4.1 dengan tambahan parameter massa bola sebesar 0,41 kg dan Gaya Solenoid sebesar 115 N menghasilkan data peforma rancangan yang telah dikembangkan seperti pada Tabel 4 dibawah ini:

Tabel 4. Data Hasil Uji Simulasi

Hasil Uji	Satuan	Sudut			
		45°	60°	75°	90°
Kecepatan Awal Bola	m/s	7,14	8,08	8,95	9,76
Jarak Horizontal Maksimal	m	5,20	5,76	4,08	-
Waktu Bola Diudara	s	1,03	0,82	0,47	0
Tinggi Maksimum Parabolik	m	1,30	0,83	0,27	0

## Analisa dan Pembahasan

Berdasarkan data pada Tabel 4 hasil uji simulasi dapat dikonversikan dalam bentuk grafik lintasan bola seperti pada gambar 12 dibawah ini:



Gambar 8. Grafik Simulasi Lintasan Bola  
(Data Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil simulasi lintasan bola seperti pada Gambar 12 menggunakan MATLAB, variasi sudut tendangan menunjukkan pengaruh yang signifikan

terhadap kecepatan awal, jarak horizontal maksimum, waktu bola di udara, dan tinggi maksimum lintasan. Pada sudut  $45^\circ$ , kecepatan awal bola sebesar 7,14 m/s menghasilkan jarak horizontal maksimum 5,20 m dengan waktu di udara 1,03 s dan tinggi maksimum 1,30 m. Sudut  $60^\circ$  menghasilkan kecepatan awal 8,08 m/s dengan jarak horizontal maksimum terbesar, yaitu 5,76 m, meskipun waktu di udara (0,82 s) dan tinggi maksimum lintasan (0,83 m) lebih kecil dibandingkan sudut  $45^\circ$ . Pada sudut  $75^\circ$ , meskipun kecepatan awal meningkat menjadi 8,95 m/s, jarak horizontal justru menurun menjadi 4,08 m dengan waktu di udara 0,47 s dan tinggi maksimum hanya 0,27 m. Sementara itu, pada sudut  $90^\circ$ , meskipun kecepatan awal paling besar yaitu 9,76 m/s, bola tidak menghasilkan jarak horizontal, waktu di udara, maupun ketinggian lintasan yang signifikan, sehingga lintasan bola cenderung mendatar.

Fenomena tersebut menunjukkan bahwa jarak tendangan maksimum tidak hanya dipengaruhi oleh besar kecepatan awal, tetapi juga oleh pembagian komponen kecepatan horizontal dan vertikal akibat variasi sudut tendangan. Sudut  $60^\circ$  memberikan keseimbangan paling optimal antara kedua komponen tersebut, sehingga menghasilkan jarak horizontal terjauh dibandingkan sudut lainnya. Pada sudut  $45^\circ$ , meskipun secara teoritis merupakan sudut optimal pada sistem ideal, lintasan yang lebih tinggi menyebabkan energi lebih banyak terserap pada arah vertikal sehingga kontribusi terhadap jarak horizontal berkurang. Sebaliknya, pada sudut  $75^\circ$  dan  $90^\circ$ , komponen kecepatan horizontal semakin kecil sehingga jarak tempuh bola menurun secara signifikan. Perlu dicatat bahwa hasil simulasi MATLAB hanya merepresentasikan fase gerak parabola bola di udara. Pada kondisi nyata, khususnya pada sudut tendangan besar seperti  $75^\circ$  dan  $90^\circ$ , bola masih memiliki energi kinetik horizontal setelah menyentuh permukaan lantai, sehingga berpotensi mengalami gerak menggelinding. Dengan demikian, berdasarkan hasil simulasi MATLAB, dapat disimpulkan bahwa sudut tendangan  $60^\circ$  merupakan sudut optimal pada mekanisme penendang yang dirancang.

### Simpulan

Berdasarkan hasil rancangan variasi sudut dan simulasi penendang robot sepak bola beroda, maka dapat diambil simpulan sebagai berikut:

- Mekanisme penendang yang dikembangkan melalui rancangan variasi sudut berhasil menambah variasi sudut tendangan dibandingkan mekanisme eksisting, sehingga mampu mendukung konsep *controlled kick* pada robot penyerang KRSBI Beroda dengan variasi sudut tendangan  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $75^\circ$ , dan  $90^\circ$ .
- Hasil simulasi menunjukkan bahwa variasi sudut tendangan mempengaruhi karakteristik lintasan bola,

meliputi jarak horizontal, waktu bola di udara, dan tinggi maksimum.

### Simpulan

Berdasarkan simpulan yang telah diperoleh, maka saran yang dapat diberikan untuk pengembangan selanjutnya adalah sebagai berikut:

- Penelitian selanjutnya disarankan untuk memasukkan faktor rugi-rugi energi, seperti efisiensi tumbukan, gesekan mekanisme, dan deformasi bola, ke dalam model simulasi agar hasil simulasi lebih mendekati kondisi aktual prototipe.
- Diperlukan pengujian lanjutan dengan jumlah data yang lebih banyak serta variasi kondisi lapangan yang berbeda untuk meningkatkan akurasi dan reliabilitas hasil penelitian, sekaligus memperkuat validasi performa rancangan variasi sudut mekanisme penendang.

### DAFTAR PUSTAKA

- Apsley, D. (2025). ROTATION, 1–51.
- Beer, Johnston, C. (2010). Vector Mechanics for Engineers :, 9.
- Deegan, A. S., Hameeteman, D. M. J., Kolodko, I., Chen, H. L., Beumer, R. M., Olthuis, J. J., ... Molengraaf, M. J. G. van de. (2024). Tech United Eindhoven Team Description 2024, 6.
- Fuadi, M. M. (2024). Perancangan Sistem Kontrol Tendangan Berdasarkan Posisi Robot Pada Four Wheeled Omnidirectional Mobile Robot Berbasis Fuzzy Logic Controller Perancangan Sistem Kontrol Tendangan Berdasarkan Posisi Robot Pada Four Wheeled Omnidirectional Mobile Robot Berba, 111–121.
- Kusumoputro, B., Purnomo, M. H., Rochardjo, H. S. B., Prabowo, G., Purwanto, D., Pitowarno, E., ... Muis, A. (2024). Pedoman Kontes Robot Indonesia (Kri) Pendidikan Tinggi Tahun 2024. Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, Dan Teknologi, 1–164.
- LING, S. J., SANNY, J., & MOEBS, W. (2018). University Physics Volume 1.
- Palm, W. J. (2010). Introduction to MATLAB for Engineers.
- Rao, S. S. (2019). Engineering Optimization Theory and Practice.
- Serway, R. A., & John W. Jewett, J. (2008). PHYSICS for Scientists and Engineers with Modern Physics.