

SISTEM KONTROL KESEIMBANGAN ROBOT BERODA DUA PADA KONDISI BERGERAK MAJU

Silfani¹, Sujono²

^{1,2}Tenik Elektro, Universitas Budi Luhur
Jakarta, Indonesia

¹ftob95@gmail.com, ²sujono@budiluhur.ac.id

Abstract-In this research designed a two-wheeled robot's balance using the Arduino Pro Mini 328P as controllers, sensors, ultrasonic distance sensor is used as well as ultrasonic sensor is used as slope detection robots, the driver of the motor and the dc motor L298 as mover of the robot. The robot system is designed to be able to avoid the existing wall before him who is regarded as a deterrent, and is able to detect the tilt which occurs on the robot. This testing is done in 4 different positions, as the robot moves forward from the start, the robot will detect the existing wall before him, and then the robot will turn to the right and back to move forward, and if the robot again to detect the robot's wall will move backwards and turn to the left. Of the system that has been created and fully tested, the robot would avoid the walls and not hit the wall.

Index Terms: Robot balance, proximity Sensor, Tilt Sensor, Motor Driver L298, Arduino Pro Mini 328P.

Abstrak-Dalam penelitian ini dirancang sebuah robot keseimbangan beroda dua dengan menggunakan Arduino Pro Mini 328P sebagai controller, sensor ultrasonik digunakan sebagai sensor jarak depan dan juga sensor ultrasonik digunakan sebagai pendeteksi kemiringan robot, driver motor L298 dan motor dc sebagai penggerak robot. Sistem robot dirancang untuk mampu menghindari dinding yang ada di hadapannya yang dianggap sebagai penghalang, dan mampu mendeteksi kemiringan yang terjadi pada robot. Pengujian ini dilakukan dalam 4 posisi yang berbeda, saat robot bergerak maju dari titik start, robot akan mendeteksi dinding yang ada di hadapannya, lalu robot akan belok ke kanan dan kembali bergerak maju, dan jika robot kembali mendeteksi dinding robot akan bergerak mundur dan belok ke kiri. Dari sistem yang telah dibuat dan diujikan, robot akan menghindari dinding dan tidak menabrak dinding.

Kata Kunci: Robot Keseimbangan, Sensor jarak depan, Sensor Kemiringan, Driver Motor L298, Arduino Pro Mini 328P.

I. PENDAHULUAN

Robot keseimbangan adalah sebuah robot yang dirancang untuk dapat berdiri tegak di bidang yang rata dengan sudut 0° . Pengendalian keseimbangan merupakan masalah utama karena bentuk mekanik dan algoritma pengendalian saling berpengaruh terhadap pengendalian robot keseimbangan. Dalam perancangan sebuah robot keseimbangan diperlukan sebuah sensor yang berguna mendeteksi kemiringan sudut robot, guna mengatur titik kesetimbangan dari robot tersebut. Pada jurnal dengan judul Inverted Pendulum Pada Prototipe Mobil Dengan Metode Kendali Proporsional Integratif Derivatif [1], dijelaskan bahwa balancing robot beroda dua juga menggunakan prinsip kerja dari pendulum terbalik karena robot menyeimbangkan badan robot agar mampu berdiri tegak lurus terhadap permukaan bumi dibidang yang datar. Dengan menggunakan metode PID, dan mendapatkan hasil yaitu sistem dapat berjalan sesuai dengan yang diharapkan. Pada jurnal dengan judul Implementasi Kontroler PID Pada *Two Wheels Self Balancing* Robot Berbasis

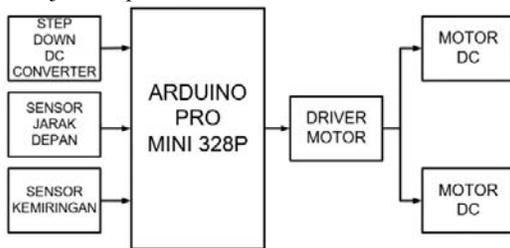
Arduino Uno [2] juga membahas tentang ide dasar untuk membuat robot beroda dua dapat setimbang yaitu dengan cara mengendalikan roda searah dengan arah jatuhnya bagian atas sebuah robot, dan dengan mengimplementasikan kontroler PID pada self balancing robot. Pada jurnal dengan judul Sistem Kendali Keseimbangan Robot Beroda dua dengan Pengendali PID [3] telah dibahas mengenai pengendalian robot keseimbangan beroda dua dengan menggunakan pengendali PID dengan tuning trial and error (*heuristik*) untuk keadaan diam atau standby. Pada jurnal dengan judul Implementasi Sistem Keseimbangan Robot Beroda Dua Dengan Menggunakan Kontroler Proporsional Integral Diferensial [4] telah dibahas bahwa penulis menggunakan metode PID untuk memuluskan pergerakan robot saat mempertahankan posisi tegak dan tidak terjatuh terhadap permukaan bumi. Dengan menggunakan metode osilasi Ziegler-Nichols. Pada jurnal yang berjudul Balancing Robot Beroda Dua Menggunakan Metoda Kontrol Proporsional, Integral dan Derivatif [5] dijelaskan

bahwa menggunakan PID untuk mengatur kecepatan dan arah putar motor.

Berdasarkan referensi yang telah diuraikan, maka dalam penelitian ini telah dirancang sistem kontrol keseimbangan robot beroda dua pada kondisi bergerak maju. Dengan menggunakan sensor ultrasonik sebagai pendeteksi kemiringan robot terhadap tanah, jika sensor mendeteksi jarak yang jauh dari pada tanah maka motor dc akan berputar makin cepat, tetapi jika terdeteksi dekat dengan tanah maka motor akan berputar dengan lambat, serta menggunakan metode proposional terhadap kemiringan, jika robot condong kedepan maka robot akan terus bergerak maju dan semakin condong kedepan, maka semakin cepat putaran motor yang akan dihasilkan.

II. SISTEM ROBOT KESEIMBANGAN

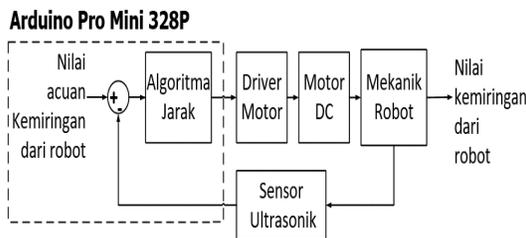
Sistem ini terdiri dari Step Down DC Converter, Sensor jarak depan, sensor kemiringan, Arduino pro mini 328P, driver motor dan motor DC. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Dari diagram blok sistem dapat dijelaskan sebagai berikut:

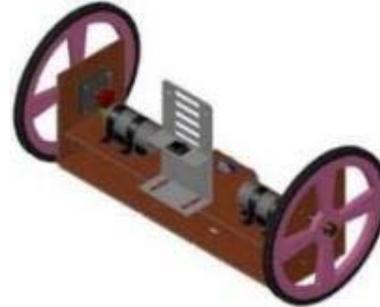
Step Down DC Converter digunakan sebagai penurun tegangan yang dihasilkan baterai sebesar 12V menjadi 5V. Sensor Jarak Depan, sebagai sensor yang akan mendeteksi adanya dinding (penghalang) dan Sensor Kemiringan, sebagai sensor yang akan mendeteksi kemiringan robot terhadap tanah, Mikrokontroler Arduino Pro Mini 328P sebagai pusat pengendalian. Driver motor DC sebagai penggerak motor dan Motor DC sebagai penggerak robot.



Gambar 2. Diagram blok sistem kontrol

A. Rancangan Mekanik

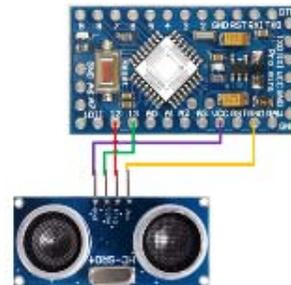
Mekanik yang dirancang akan berbentuk robot keseimbangan dengan menggunakan dua roda dan dua motor dc. Roda diposisikan pada kiri dan kanan robot. Ada dua tingkat dalam perancangan mekanik robot, lapisan dasar adalah tempat untuk menaruh baterai dan lapisan atas adalah tempat menaruh motor dan rangkaian elektronika. Ukuran robot memiliki 336mm x 86mm x 154mm.



Gambar 3. Desain Mekanik Robot

B. Rangkaian Sensor Jarak Depan

Rangkaian sensor jarak depan pada sistem robot keseimbangan beroda dua, berfungsi untuk membaca dinding yang ada dihadapannya pada jarak kurang dari 30 cm yang dianggap sebagai penghalang, sehingga robot bisa menghindari dinding yang ada didepannya dengan cara bergerak mundur kebelakang.

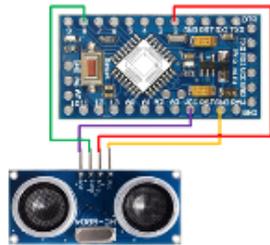


Gambar 4. Rangkaian Sensor Jarak Depan

C. Rangkaian Sensor Kemiringan

Rangkaian sensor kemiringan pada sistem robot keseimbangan beroda dua, berfungsi untuk membaca kemiringan robot terhadap tanah. Sensor ini bekerja dengan cara mendeteksi berapa jarak yang terbaca oleh sensor ultrasonik terhadap tanah, lalu hasil dari pembacaan jarak digunakan untuk menentukan berapa kecepatan putaran motor dc yang akan dihasilkan. Jika robot semakin condong kedepan artinya semakin jauh jarak yang dibaca oleh sensor kemiringan terhadap tanah maka akan semakin cepat putaran motornya untuk bergerak maju, tetapi jika robot condong kebelakang maka sensor kemiringan akan mendeteksi jarak yang

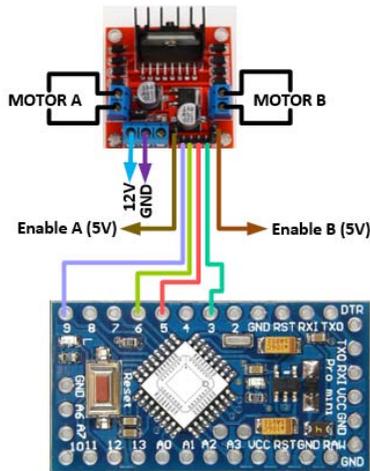
dekat dengan tanah dan motor dc akan merespon dengan bergerak mundur.



Gambar 5. Rangkaian Sensor Kemiringan

D. Rangkaian Driver Motor

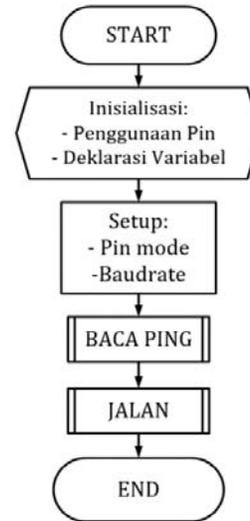
Pada sistem keseimbangan robot beroda dua pada kondisi bergerak maju menggunakan driver motor, untuk menggerakkan motor agar robot bisa bergerak dengan baik. Driver motor yg digunakan modul driver motor L298 merupakan driver motor dengan tipe H-Bridge dengan menggunakan IC L298.



Gambar 6. Rangkaian Driver Motor L298

E. Rancangan Algoritma Program

Dalam perancangan perangkat lunak pada Sistem keseimbangan robot beroda dua pada kondisi bergerak maju, digunakan software Arduino IDE sebagai tools untuk membuat perangkat lunak, sebelum masuk dalam tahap programming, sebelumnya dibuat lebih dahulu diagram alir program yang akan menggambarkan algoritma sistem yang akan dibuat.

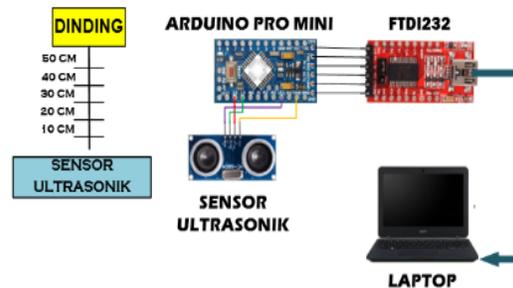


Gambar 7. Flowchart utama sistem

III. HASIL DAN ANALISA

A. Pengujian pembacaan robot terhadap dinding

Pengujian Pembacaan Robot Terhadap Dinding mengandalkan sensor ultrasonik yang ada pada bagian depan robot, pengujian ini dilakukan untuk melihat kinerja sensor saat membaca dinding yang dianggap sebagai penghalang yang ada di hadapan robot, dan juga untuk mengetahui keakuratan hasil pembacaan sensor jarak, apakah sudah sesuai dengan pengukuran menggunakan alat ukur pembanding berupa penggaris. Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan jarak sensor dan jarak alat ukur penggaris terhadap dinding yang dipindah pada setiap jarak 10cm, 20cm, 30cm, 40cm, 50cm. Setelah itu pada serial akan menampilkan hasil pembacaan jarak yang terbaca oleh sensor ultrasonik.



Gambar 8. Pengujian sensor ultrasonik terhadap dinding

Dari pengujian sensor jarak didapatkan data yang ditunjukkan pada Tabel 1:

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Dari Sensor Jarak Depan

Jarak Sebenarnya (cm)	Nilai Counter (µs)	Nilai pada Serial Monitor Arduino (cm)	Nilai Kesalahan (cm)	% Kesalahan
10	592	10.06	0.06	0.6
20	1224	20.81	0.81	8.1
30	1797	30.55	0.55	5.5
40	2370	40.29	0.29	2.9
50	2979	50.64	0.64	6.4
Akumulasi			2.35	23.5
Rata-rata			0.47	4.7

Dari hasil pengujian sensor jarak depan, maka didapatkan hasil sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Rata-rata Nilai Kesalahan} &= \frac{\text{Akumulasi Nilai Kesalahan}}{\text{Jumlah Percobaan}} \\ &= \frac{2.35}{5} = 0.47 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa nilai rata-rata kesalahan yang dihasilkan dari sensor ultrasonik yang digunakan adalah 0.47 cm. Persentase kesalahan pada masing-masing pengujian dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\% \text{ Kesalahan} = \frac{\text{Nilai Kesalahan}}{\text{Jarak Sebenarnya}} \times 100\%$$

Rata-rata dari persentase kesalahan adalah dengan cara sebagai berikut:

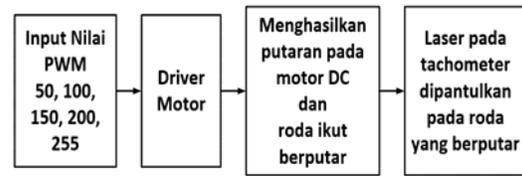
$$\begin{aligned} \text{Rata-rata \% kesalahan} &= \frac{\text{Akumulasi \% kesalahan}}{\text{jumlah percobaan}} \\ &= \frac{23.5}{5} \\ &= 4.7\% \end{aligned}$$

Hasil perhitungan dari persentase kesalahan yang dihasilkan, maka dapat disimpulkan bahwa pada nilai persentase terendah sebesar 0.6% dan nilai persentase tertinggi sebesar 8.1% serta nilai rata-rata kesalahan yang dihasilkan adalah 4.7%.

B. Pengujian Karakteristik Motor DC

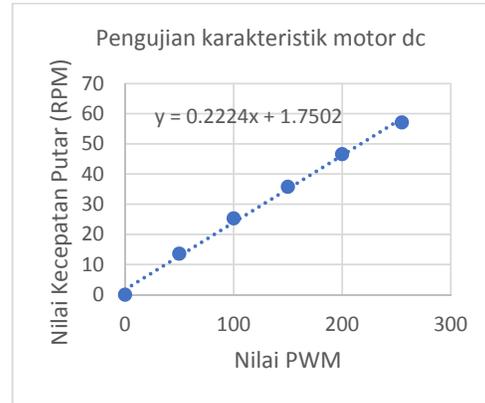
Pengujian Karakteristik Motor DC dilakukan untuk melihat nilai kecepatan yang dihasilkan oleh PWM terhadap motor dc, pengujian ini dilakukan dengan cara memasukan nilai input PWM dengan memberikan input 50, 100, 150, 200, dan 255 pada program Arduino IDE. Lalu hasil putaran motor dibaca dengan menggunakan *tachometer* untuk melihat nilai kecepatan putar yang dihasilkan oleh motor dc.

Setelah driver motor dc menerima input PWM 50, 100, 150, 200, dan 255 kemudian motor dc mulai menghasilkan putaran dan roda yang terpasang pun ikut berputar, hasil dari putaran roda itulah yang digunakan untuk memantulkan laser yang dihasilkan oleh *tachometer*, kemudian *tachometer* akan membaca berapa kecepatan putarnya dalam satuan RPM (rotasi permenit).



Gambar 9. Cara pengujian karakteristik motor

Dari hasil pengujian pada motor dc, maka didapatkan hasil analisa grafik regresi linier dari input pwm terhadap kecepatan putaran motor pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Regresi Linier

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, maka didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Kecepatan Putar} = 0.2224 \cdot \text{PWM} + 1.7502$$

Persamaan ini dapat digunakan untuk menentukan nilai kecepatan putar ataupun menentukan nilai pwm yang akan dihasilkan.

Tabel 2. Perbandingan nilai pengujian dan perhitungan

No.	Nilai PWM	Nilai Kecepatan Putar (RPM)		Selisih Nilai Pengujian dan Perhitungan (RPM)
		pengujian	Perhitungan	
1	0	0	0	0
2	50	13.6	12.87	0.73
3	100	25.3	23.99	1.31
4	150	35.8	35.35	0.45
5	200	46.6	46.23	0.37
6	255	57.1	58.46	1.36
Akumulasi Nilai Kesalahan				1.5
Rata-rata				0.25

$$\begin{aligned} \text{Rata-rata kesalahan} &= \frac{\text{Akumulasi Nilai Kesalahan}}{\text{Jumlah Percobaan}} \\ &= \frac{1.5}{6} = 0.25 \text{ rpm} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan dari selisih nilai pengujian dan nilai perhitungan didapatkan nilai

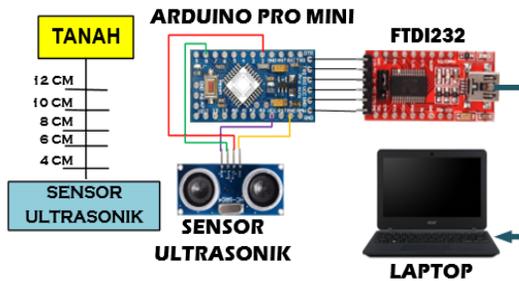
selisih tertinggi adalah 1.36 dan nilai selisih terendah adalah 0, sedangkan untuk nilai rata-rata sebesar 0.25 rpm.

C. Pengujian Kemiringan Robot Terhadap Tanah

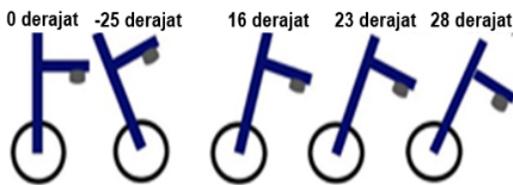
Pengujian kemiringan robot terhadap tanah dilakukan untuk melihat kinerja sensor ultrasonik, yang difungsikan untuk membaca kemiringan robot terhadap tanah dan juga untuk mengetahui keakuratan hasil pembacaan sensor jarak, apakah sudah sesuai dengan pengukuran menggunakan penggaris.

Pengujian dilakukan dengan cara sensor ultrasonik yang ada pada robot sudah dalam posisi menghadap ke tanah, dan robot mulai di miringkan kearah depan dan belakang untuk melihat berapa jarak robot terhadap tanah dari mulai tegak sampai robot condong ke depan dengan jarak maksimum, untuk mengetahui berapa sudut yang dihasilkan akan digunakan fitur kompas pada ponsel. Jarak yang akan dipindahkan dimulai dari 4cm, 6cm, 8cm, 10cm, 12cm.

Untuk Gambar pengujian ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Pengujian Sensor Kemiringan



Gambar 12. Posisi kemiringan robot saat dilakukan pengujian

Dari pengujian sensor jarak didapatkan data yang ditunjukkan pada Tabel 3:

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Dari Sensor Kemiringan

Sudut (derajat)	Jarak Sebenarnya (cm)	Nilai Counter (µs)	Nilai pada Serial Monitor Arduino (cm)	Nilai Kesalahan (cm)
-25°	4	262	4.45	0.45
0°	6	353	6.00	0

16°	8	486	8.26	0.26
23°	10	592	10.06	0.06
28°	12	717	12.19	0.19
Akumulasi Nilai Kesalahan				0.96
Rata-rata				0.192

Dari hasil pengujian sensor ultrasonik, maka didapatkan hasil sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Rata-rata kesalahan} &= \frac{\text{Akumulasi Nilai Kesalahan}}{\text{Jumlah Percobaan}} \\ &= \frac{0.96}{5} = 0.192 \text{ cm} \end{aligned}$$

Untuk grafik dari hasil pengujian kemiringan robot, didapatkan hasil seperti pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik hasil pengujian sensor kemiringan robot

Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa semakin jauh sensor ultrasonik dalam pengujian kemiringan robot terhadap tanah, maka semakin besar nilai sudut yang dihasilkan, dan nilai rata-rata kesalahan yang dihasilkan dari sensor ultrasonik yang digunakan adalah 0.192 cm.

D. Pengujian saat robot di Paddock

Pengujian saat robot diletakkan pada *paddock* dilakukan untuk mengetahui respon kecepatan robot terhadap kemiringan yang diberikan. Pengujian ini dilakukan dengan cara menaruh robot di atas *paddock* yang telah disediakan, lalu memiringkan robot kearah depan dan belakang untuk mengetahui berapa nilai rpm yang dihasilkan dari kemiringan tersebut. Semakin jauh jarak sensor ultrasonik terhadap alas yang di berikan, maka semakin cepat putaran motor yang akan dihasilkan.

Untuk mengetahui berapa nilai rpm yang dihasilkan, akan digunakan *tachometer* untuk melihat kecepatan putarnya dengan cara menembakkan laser pada roda yang berputar.



Gambar 14. Contoh pengujian robot saat berada di paddock

Dari pengujian yang telah dilakukan maka didapatkan data yang ditunjukkan pada tabel 4:

Tabel 4. Pengujian respon kecepatan robot terhadap kemiringan yang diberikan

No	Jarak yang terdapat (cm)	Durasi (cm)	Sudut (derajat)	Input PWM	Kec. Putar (RPM)	Respon Robot
1	12 < jarak < 13	-	-	15	-	-

2	11 < jarak < 12	11.22	660	20°	105	25.4	Maju
3	10 < jarak < 11	10.52	619	18°	95	23.3	Maju
4	9 < jarak < 10	9.76	574	15°	85	21.1	Maju
5	8 < jarak < 9	8.40	449	12°	75	18.9	Maju
6	7 < jarak < 8	7.55	444	9°	65	16.8	Maju
7	6 < jarak < 7	6.22	366	6°	55	14.4	Maju
8	5 < jarak < 6	5.87	345	0°	45	12.1	Maju

a r a k < 6						
9 j a r a k < 5	4 . 5 6	2 6 8	-22°	4 0	1 1 . 3	M a j u
1 0 j a r a k < 4	3 . 7 1	2 1 8	-35°	7 5	1 8 . 3	M u n d u r

Dari hasil pengujian respon kecepatan putaran motor terhadap kemiringan yang diberikan, didapatkan hasil robot bekerja sesuai dengan rancangan yang dibuat, karena saat robot dimiringkan kearah depan ataupun belakang dan semakin jauh sensor ultrasonik mendeteksi tanah maka semakin cepat putaran motornya.

Saat sensor ultrasonik membaca kemiringan robot pada jarak 12 cm sampai 13 cm terhadap tanah, hasil yang didapatkan tidak sesuai karena pantulan dari sensor ultrasonik makin jauh dengan tanah, dan menjadi tidak sejajar dengan tanah, itu menyebabkan sensor memberikan nilai yang tidak sesuai pada pembacaan yang ditampilkan pada serial monitor.

E. Pengujian Keseluruhan

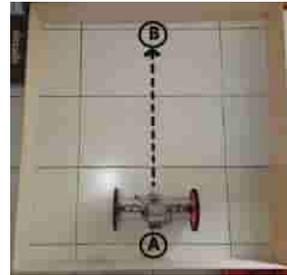
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui performa robot beroda dua, saat bergerak maju, mundur, belok kanan dan belok kiri. Robot akan diuji di dalam arena dengan bidang yang datar seluas 1m x 1m, saat robot di letakkan di dalam arena dalam kondisi mati, akan diamati bagaimana gerakan robot dan bagaimana respon robot saat membaca dinding yang ada dihadapannya.



Gambar 15. Arena Pengujian

a. Pengujian Robot Saat Bergerak Maju dari titik A (start)

Pengujian ini di lakukan untuk mengetahui bagaimana respon robot saat bergerak maju dan mendeteksi dinding pada jarak kurang dari 30 cm, sehingga robot memberikan respon diam selama 2s.



Gambar 16. Pengujian Robot Saat Bergerak Maju dari titik A

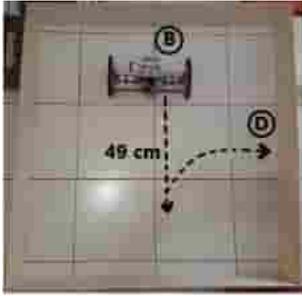
Pengujian ini dilakukan dengan cara meletakkan robot didalam arena, pada pengujian pertama ini robot *start* pada titik A ke titik B, robot berjalan untuk kondisi bergerak maju, lalu saat sensor depan mendeteksi jarak masih lebih besar dari 30 cm, maka robot akan tetap bergerak maju, tetapi jika sensor jarak depan sudah mendeteksi jarak kurang dari 30 cm, maka robot akan diam selama 2s. Saat robot bergerak maju dan sensor jarak depan mendeteksi adanya dinding pada jarak 20 cm, robot merespon diam selama 2s.

Dapat disimpulkan dari pengujian robot saat bergerak maju, adalah robot berhasil mendeteksi dinding yang ada dihadapannya dengan pembacaan jarak depan sejauh 20 cm. Selisih jarak 10 cm yang dihasilkan dimungkinkan karena gerakan robot yang tidak lancar saat bergerak maju, menyebabkan sensor jarak depan kesulitan dalam mendeteksi dinding yang ada di hadapannya.

b. Pengujian Robot Saat Bergerak Mundur Dan Belok Kanan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana respon robot saat telah mendeteksi

dinding, dan merespon belok kanan untuk menghindari dinding.



Gambar 17. Pengujian robot saat mendeteksi dinding B

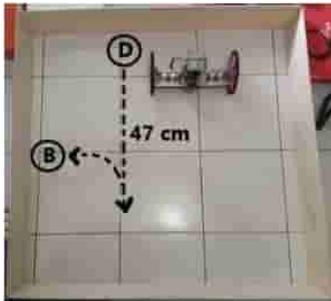
Pengujian ini dilakukan dengan cara menempatkan robot di depan dinding pada titik B, kurang dari 30 cm, dan robot akan merespon dengan bergerak mundur sampai terdeteksi jaraknya sudah lebih dari 40 cm, setelah itu robot mulai berbelok kekanan ke titik D.

Dari Gambar 17. dapat dilihat saat sensor jarak mendeteksi adanya dinding, robot akan merespon dengan bergerak mundur sejauh 49 cm, dan berbelok kekanan selama 1.6s.

Dapat disimpulkan hasil dari pengujian robot saat bergerak mundur, robot berhasil menghindari dinding yang ada di hadapannya, dengan cara merespon mundur dan belok kanan untuk menghindari dinding yang ada di hadapannya.

c. Pengujian Robot Saat Mundur dan Belok Kiri

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana respon robot saat telah mendeteksi dinding dan berbelok kiri sebagai respon untuk menghindari dinding.



Gambar 18. Pengujian robot saat mendeteksi dinding D

Pengujian ini dilakukan dengan cara menempatkan robot di depan dinding, dan robot akan merespon dengan bergerak mundur sampai terdeteksi jaraknya sudah lebih dari 40 cm, setelah itu robot mulai berbelok ke kiri.

Dari Gambar 18. Dapat dilihat saat sensor jarak mendeteksi adanya dinding pada titik D, robot akan merespon dengan bergerak mundur sejauh 47 cm, dan berbelok ke kiri selama 1.4s ke titik B.

Dapat disimpulkan hasil dari pengujian robot saat bergerak mundur, robot berhasil menghindari dinding yang ada di hadapannya dengan cara merespon mundur dan belok kiri untuk menghindari dinding yang ada di hadapannya.

IV. KESIMPULAN

Robot berjalan dari titik start dan bergerak maju sampai mendeteksi dinding yang ada di hadapannya, lalu robot akan belok ke kanan, dan kembali bergerak maju sampai mendeteksi dinding kembali, dan bergerak mundur lalu belok ke kiri.

REFERENSI

- [1] Jatmiko, S. P., Kurniawan, W. and Prasetyo, B. H. (2017) 'Inverted Pendulum Pada Prototipe Mobil Dengan Metode Kendali Proporsional Integatif Derivatif', *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (J-PTIHK)*, 1(1), pp. 1-7.
- [2] Ketaren, L. P., Ma, M. and Rahmawaty, M. (2015) 'Balancing Robot Beroda Dua Menggunakan Metoda Kontrol Proporsional, Integral dan Derivatif', *Jurnal Politeknik Caltex Riau*, 1(2), pp. 39-48.
- [3] Nursan, M. and Musafa, A. (2016) 'SISTEM KENDALI KESEIMBANGAN ROBOT'.
- [4] Raranda, P. W. R. (2015) 'IMPLEMENTASI KONTROLER PID PADA TWO WHEELS SELF BALANCING ROBOT BERBASIS ARDUINO UNO Raranda Puput Wanarti Rusimanto Abstrak', pp. 89-96.
- [5] Rokhmat, M. M. (2013) 'Implementasi sistem keseimbangan robot beroda dua dengan menggunakan kontroler proporsional integral diferensial', *Jurnal Mahasiswa TEUB*.