

Rancang Bangun Sistem Robot Vacuum Cleaner Otomatis Berbasis Mikrokontroler

¹Abdul Kosim, ²Denik Damayanti

Teknik Mekatronika, Universitas Trunojoyo Madura, Bangkalan,
¹abdulkosim407@gmail.com ²denikdamayanti12@gmail.com

Article Info

Article history:

Received July 11th, 2024

Revised August 21th, 2024

Accepted September 09th, 2024

Keyword:

Robot Vacuum Cleaner
Automatic
Metode Maza
Metode PID
Mikrokontroler
Sensor Ultrasonic

ABSTRACT

Automatic Vacuum Cleaner Robot is electronic equipment that independently cleans dust from the floor and returns to its starting position. Its use requires precise room mapping using the Maze and PID methods. The Maze method determines the travel path based on column and row coordinates according to room requirements, while PID maintains the stability of the robot's movement. This robot relies on three ultrasonic sensors as the main input to measure the distance to obstacles around it. Data from this sensor is processed by a microcontroller which also regulates the DC motor with a rotary encoder to measure the distance traveled. Information processed by the microcontroller can be displayed via the LCD screen for direct monitoring. With advanced sensor technology and microcontroller control, this robot is able to provide efficient and accurate indoor cleaning, increasing user comfort in monitoring and managing its operations.

Copyright © 2024 Jurnal FORTECH.
All rights reserved.

Corresponding Author:

Email: abdulkosim407@gmail.com

Abstrak—Robot Vacuum Cleaner Automatic adalah peralatan elektronik yang mandiri dalam membersihkan debu dari lantai dan kembali ke posisi awal. Penggunaannya membutuhkan pemetaan ruangan yang tepat menggunakan metode PID dan Metode Maze. Metode Maze menentukan jalur perjalanan berdasarkan koordinat kolom dan baris sesuai kebutuhan ruangan, sementara PID menjaga stabilitas pergerakan robot. Robot ini mengandalkan tiga sensor ultrasonik sebagai input utama yang mengukur jarak terhadap halangan di sekitarnya. Data dari sensor ini diproses oleh mikrokontroler yang juga mengatur motor DC dengan rotary encoder untuk mengukur jarak tempuh. Informasi yang diolah oleh mikrokontroler dapat ditampilkan melalui layar LCD untuk pemantauan langsung. Dengan teknologi sensor yang canggih dan kontrol mikrokontroler, robot ini mampu memberikan pembersihan efisien dan akurat dalam ruangan, meningkatkan kenyamanan pengguna dalam memantau dan mengatur operasinya.

Kata Kunci: Robot Vacuum Cleaner Automatic, Metode Maza, Metode PID, Mikrokontroler, Sensor Ultrasonic.

1. PENDAHULUAN

Mebersihkan lantai merupakan kegiatan yang sangat menguras waktu dan energi saat membersihkan lantai, terutama bagi ibu rumah tangga yang bekerja. Hal ini mendorong pengembangan robot vacuum cleaner otonom untuk mengatasi masalah tersebut. Efektivitas robot vacuum cleaner industri yang ada yang

menggunakan metode seperti wall following dan gerakan acak, yang dapat mengakibatkan ketidakmampuan untuk mengenali area yang sudah dibersihkan. Sehingga, penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan dan menerapkan robot penyedot debu yang dapat membersihkan lantai sendiri, sehingga dapat meluangkan waktu untuk melakukan aktivitas lain secara efektif, dengan

tujuan akhir untuk memudahkan masyarakat dalam menjalankan kegiatan sehari-hari [1].

Pada umumnya robot dikontrol menggunakan computer, akan tetapi robot juga dapat dikendalikan dengan menggunakan mikrokontroler [2]. Dalam pengembangan robot ini, mikrokontroler berperan sebagai pusat kontrol dari sistem, memproses data yang diterima dari sensor ultrasonik yang mendeteksi hambatan dan memberikan perintah kepada motor penggerak [3]. Dengan desain yang ringkas, robot ini dapat mencapai area yang sulit dijangkau oleh alat pembersih konvensional, seperti di bawah meja atau tempat tidur [4]. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan robot vacuum cleaner ini tidak hanya meningkatkan efisiensi pembersihan, tetapi juga memberikan kenyamanan bagi pengguna, yang dapat menghemat waktu dan tenaga dalam menjaga kebersihan rumah [5].

Robot vacuum cleaner atau bisa disebut robot penyedot debu ini merupakan bentuk teknologi baru dari vacuum cleaner manual. Robots vacuum cleaner memiliki fungsi yang sama saja dengan robot vacuum konvensional, yang membedakannya hanya bagaimana cara kerja alatnya. Robots vacuum cleaner akan bergerak secara otomatis untuk membersihkan ruangan di dalam rumah dari debu-debu dengan cara menyedotnya. Pergerakan robot vacuum berdasarkan pada input yang dihasilkan oleh sensor ultrasonic yang terletak di bagian depan robot [6].

Salah satu metode yang diterapkan pada robot vacuum cleaner adalah algoritma maze dan kontrol PID (Proportional-Integral-Derivative). Algoritma maze memungkinkan robot untuk menavigasi ruang dengan cara yang efisien, menghindari rintangan, dan membersihkan area yang sulit dijangkau [7]. Sementara itu, kontrol PID berfungsi untuk mengatur kestabilan *rotation per minute* kecepatan dan arah gerakan robot pada saat melewati lintasan yang dilalui, sehingga gerakan yang dihasilkan menjadi stabil serta meningkatkan akurasi dan efektivitas dalam pembersihan [8].

Dalam hal ini dapat disimpulkan pentingnya otomasi dalam sistem kelistrikan yaitu untuk meningkatkan efisiensi operasional, dan meningkatkan keandalan suatu sistem secara menyeluruh [9].

2. METODE PENELITIAN

A. Metode Maze

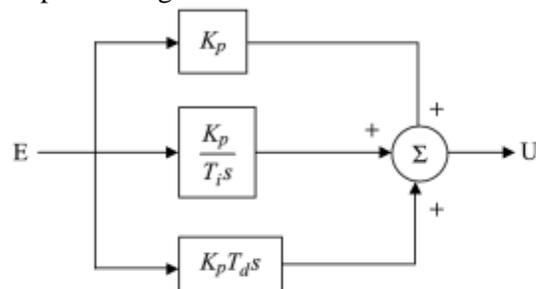
Robot Maze Solver adalah sebuah robot beroda yang mampu memetakan dan menavigasi lintasan berbentuk labirin, baik berupa garis maupun dinding. Tujuan pembuatan robot ini adalah agar

dapat menemukan jalan menuju garis finish dengan cepat [10]. Algoritma ini terdiri dari dua aturan, khususnya:

1. Aturan Tangan Kiri Ketika mengikuti aturan tangan kiri, robot akan berbelok ke kiri daripada bergerak lurus ke depan atau ke kanan. Jika tidak ada belokan ke kiri, robot akan bergerak lurus ke depan daripada berbelok ke kanan.
2. Aturan Tangan Kanan Menurut aturan tangan kanan, robot lebih memilih berbelok ke kanan daripada lurus dan lebih memilih berbelok ke kiri daripada lurus.
3. Agar dapat memecahkan Maze solving, memerlukan algoritma pencarian untuk menemukan solusi optimal untuk setiap maze, tidak peduli seberapa sulitnya. Algoritma A* yang merupakan salah satu algoritma pencarian jalur yang sering digunakan, dan termasuk dalam kategori teknik pencarian yang mencakup informasi digunakan dalam penyelesaian maze ini. (informed search method) [11].

B. PID

PID (Proportional Integral Derivative) adalah teknik yang akan dipakai pada penelitian ini. Tujuannya adalah melakukan pembenaran untuk mencapai kesalahan yang paling kecil, antara nilai setpoint dan nilai proses yang telah ditentukan akan diperbaiki. [12]. Pengontrol Proporsional, Integral, dan Derivatif adalah tiga komponen utama yang membentuk Pengontrol PID. proporsional, yang menentukan seberapa besar nilai respons pada nilai *error* yang sekarang. Turunannya menghitung nilai eror yang akan diubah dari nilai *error* yang sebelumnya kenilai *error* yang sekarang. Integral menghitung akumulasi dari semua nilai kesalahan yang terjadi.. Hasil yang dicapai melalui penggunaan teknik PID. Berikut Gambar 1. menampilkan diagram blok PID.



Gambar 1. Diagram Blok PID

Transfer Function pengendali PID pada sistem kontinu dinyatakan dengan rumus persamaan.

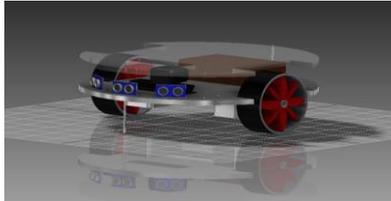
$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p + K_d s + K_i \frac{1}{s} \tag{1}$$

Dari persamaan tersebut, dapat dijelaskan bahwa:

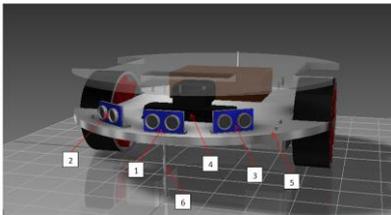
- a. Konstanta proporsionalnya merupakan K_p
- b. Konstanta integralnya merupakan K_i .
- c. Konstanta turunannya merupakan K_d .
- d. en adalah ukuran nilai kesalahan saat ini.
- e. Setelah komputasi, R_n adalah nilai keluaran saat ini.

C. *Desain Robot*

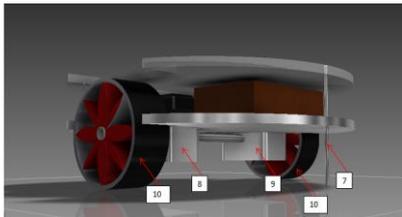
Berikut merupakan desain robot vacuum cleaner yang di desain menggunakan software inventor 2013:



Gambar 2. Desain Robot Vacuum Cleaner



Gambar 3. Tampak Depan Robot Vacuum Cleaner



Gambar 4. Tampak Belakang Robot Vacuum Cleaner

Gambar di atas adalah desain robot vacuum cleaner tampak bagian depan. Robot vacuum cleaner ini menggunakan metode maze dan PID, dengan dimensi keseluruhan yaitu panjang 30 cm, lebar 30 cm, dan tinggi 20 cm. Pada case/body alat tersebut menggunakan material akrilik dengan tebal 5mm yang sudah di laser cutting. Pada bagian atas terdapat 3 sensor ultrasonic yang dipasang berbeda arah, 1 sensor ultrasonic di pasang menghadap ke arah depan dengan posisi berada di tengah yang nantinya sensors ultrasonic ini mampu memberikan sinyal adanya halangan yang berada di depan robot, sedangkan posisi sensor ultrasonic 2 dan 3 di pasang di bagian depan kanan dan kiri dengan posisi menghadap kearah kesamping kurang lebih posisi kemiringannya 45 derajat. Sensor ultrasonic 2 dan 3 ini berfungsi untuk mengirimkan sinyal adanya halangan yang berada di samping robot. Mikrokontroler akan menangani informasi dari

ketiga sensor ultrasonik yang berfungsi sebagai sensor jarak jika input parameter diterima dari ketiga sensor tersebut. Sensor jarak memberikan masukan data ke mikrokontroler.

Gambar 2. Tiga jarak sensor ditampilkan pada tampilan depan desain robot penyedot debu. Nilai jarak yang diperoleh dari sensor jarak digunakan baik untuk pemetaan maupun sebagai data masukan pergerakan robot penyedot debu otonom. Nilai jarak mewakili jarak antara sensor dan penghalang. Motor DC dengan rotary encoder yang terintegrasi ke dalam motor digunakan oleh robot penyedot debu otonom ini untuk mengukur jaraknya. LCD 2x16 dapat menampilkan semua data yang telah diproses mikrokontroler dari input.

Gambar 4. Desain tampilan belakang robot penyedot debu terdiri dari beberapa bagian komponen, antara lain kotak berisi LCD, Arduino, dan bagian pendukung lainnya; baut yang dimodifikasi yang berfungsi sebagai penyangga punggung robot; dua roda plastik dilapisi karet untuk meningkatkan mobilitas; dan dua motor DC yang menggerakkan roda robot. Tabel 1 mencantumkan bagian-bagian yang membentuk robot penyedot debu.

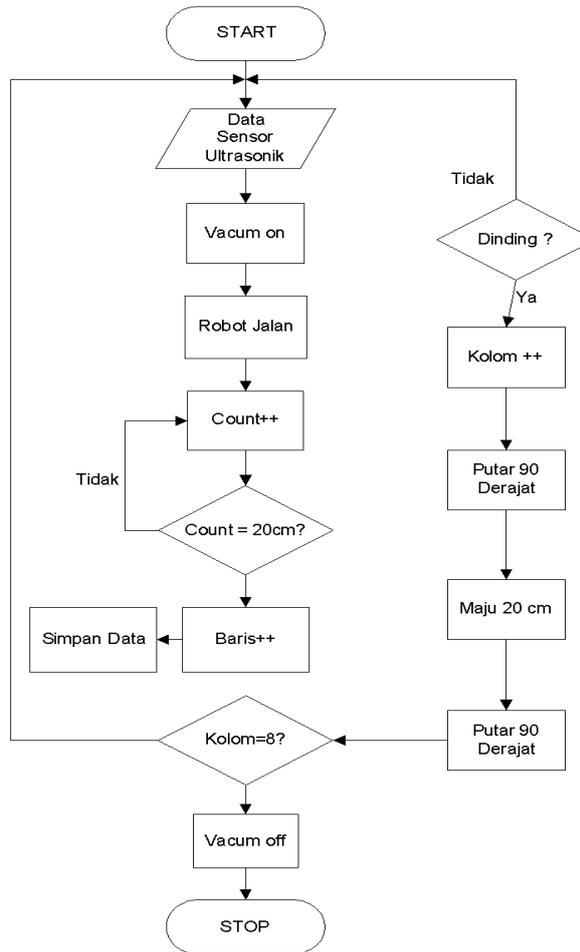
Tabel 1. Komponen dan bahan Robot vacuum cleaner

No.	Keterangan Komponen	Jumlah Komponen
1	Sensor Ultrasonik 1	1
2	Sensor Ultrasonik 2	1
3	Sensor Ultrasonik 3	1
4	Vacuum Cleaner	1
5	Akrilik 40x40x30, Tebal 3mm	2
6	Baut M6 x 40	1
7	Baut M6 x 40	1
8	Motor DC 12 volt 1	1
9	Motor DC 12 volt 2	1
10	Roda	2

D. *Flowchart Sistem*

Gambar 5 menampilkan keluaran desain perangkat keras, dan diagram alur menjelaskan cara kerja sistem robot penyedot debu yang dikembangkan. dimulai dengan robot penyedot debu dihidupkan dan diakhiri dengan kembalinya robot

ke lokasi semula setelah melakukan tugasnya. Dapat diamati lebih jelas pada Gambar 5.



Gambar 5. Flowchart Sistem

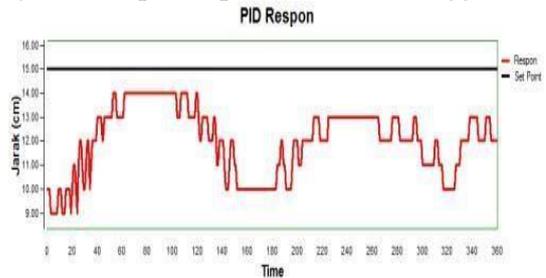
Robot vacuum cleaner mulai beroperasi; robot menyala dan bergerak setiap 20 sentimeter berturut-turut. Perjalanan robot akan disimpan data yang telah dilaluinya ketika sensor ultrasonik tidak mendeteksi adanya halangan di depan atau di samping. Penyimpanan data terjadi jika sensor ultrasonik menemukan suatu penghalang berupa dinding data akan disimpan dalam satu kolom, dengan satu motor bergerak memutar roda 90 derajat dan maju 20 sentimeter. Robot akan melaksanakan tugas ini dengan mengikuti penambahan baris pada pemetaan ruangan (Dalam penelitian ini, terdapat 8 kolom dan 8 baris, di mana setiap kolom dibagi lagi menjadi 8 indeks). Setelah delapan baris ditambahkan, Untuk memetakan ruangan, robot akan menambahkan lebih banyak baris (dalam hal ini, delapan kolom dan delapan baris digunakan; setiap kolom kemudian dibagi menjadi delapan indeks, dan baris-baris tersebut juga dibagi menjadi delapan indeks). Setelah robot mencapai baris kedelapan dan kolom kedelapan belas, robot akan melanjutkan lagi, menghitung baris seiring berjalannya waktu. Pada saat itu, secara

otomatis akan mencari jalur tercepat kembali ke tempat awal/penyimpanan.

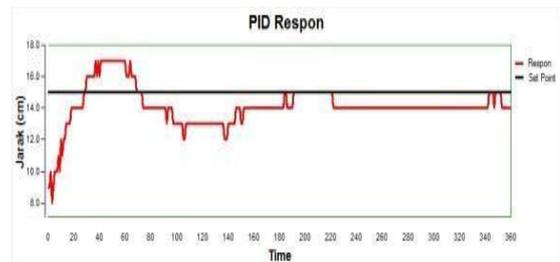
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian PID

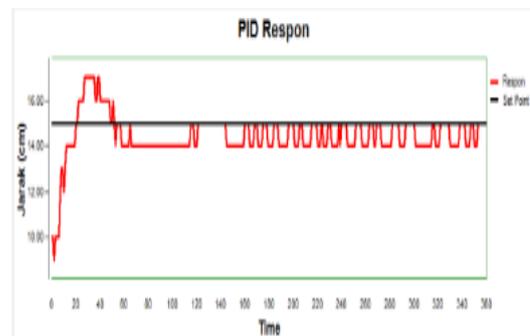
PID digunakan untuk mengevaluasi respons pergerakan robot saat mencapai titik yang telah ditentukan. Kita dapat memastikan nilai konstanta yang baik dan tingkat kesalahan kondisi tunak yang muncul dalam pengujian ini dari data eksperimen. Sembilan tes dengan kombinasi nilai KP, KI, dan KD yang berbeda di ilustrasikan di bawah ini. Hasil pengujian ditampilkan pada Gambar 6 hingga.14.



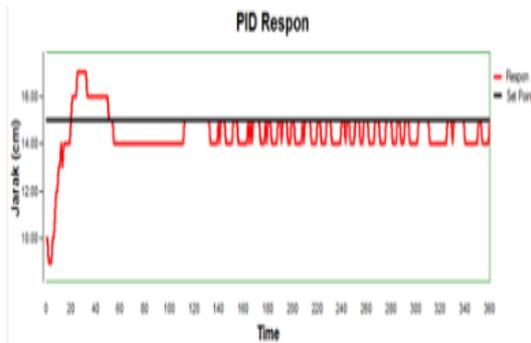
Gambar 6. Respon KP = 5, KI = 0, KD = 0



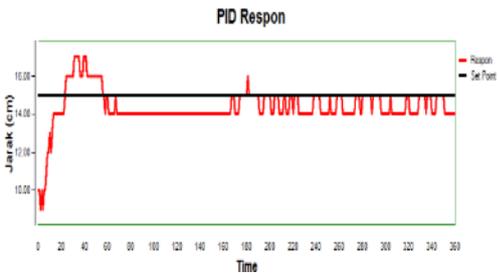
Gambar 7. Respon KP = 15, KI = 0, KD = 0



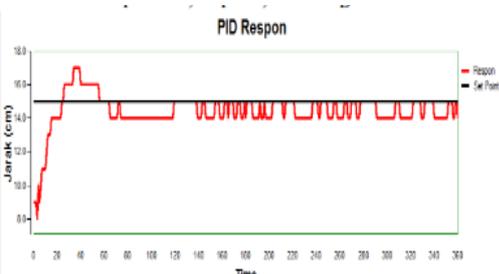
Gambar 8. Respon KP = 25, KI = 0, KD = 0



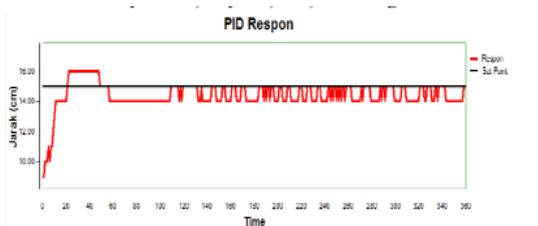
Gambar 9. Respon KP = 25 , KI = 0, KD = 5



Gambar 10. Respon KP = 25 , KI = 0, KD = 10



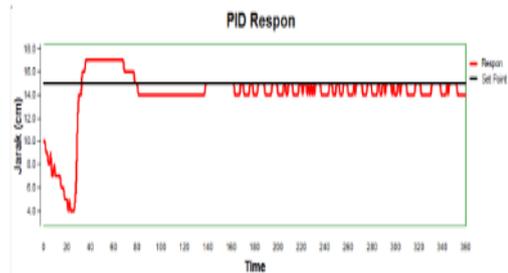
Gambar 11. Respon KP = 25 , KI = 0, KD = 20



Gambar 12. Respon Kp=25 , KI = 0,03 KD = 5



Gambar 13. Respon KP = 25 , KI = 0,5 KD = 5



Gambar 14 Respon KP = 25 , KI = 1 KD = 5

Grafik respon PID (Gambar 6 hingga 14) menunjukkan bagaimana konfigurasi nilai KP, KI, dan KD mempengaruhi nilai error stable state. Kombinasi nilai KP, KI, dan KD yang optimal ditemukan KP = 25, KI = 0,03, dan KD = 5 setelah menjalankan uji coba dengan nilai parameter tersebut berbeda.

Berdasarkan temuan eksperimen, respons PID yang ideal adalah respons yang memiliki nilai kesalahan kondisi tunak terendah. Ketika ia memiliki nilai titik setel tercepat, ia mendekati nilai titik setel yang ditentukan dan mencapainya. Berdasarkan temuan penelitian, respon PID pada KP = 25, KI = 0,03, dan KD = 5 mempunyai nilai error stable state sebesar 16. Karena mendekati nilai set point, dimana errornya ditentukan menggunakan persamaan 2 maka angka tersebut adalah sangat sedikit.

$$\text{Error} = \frac{[\text{error steady state} - \text{set point}]}{\text{set point}} * 100\% \quad (2)$$

KP = 25, KI = 0,03, dan KD = 5 semuanya dapat digabungkan sehingga diperoleh nilai error sebesar 6,66% dengan menggunakan Persamaan 2. Selanjutnya persamaan 2 digunakan untuk melakukan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Error} = \frac{[16 - 15]}{15} * 100\% = 6.66\%$$

Dengan nilai error stable state sebesar 4 maka pengaturan konfigurasi KP=25, KI=0.5, dan KD=5 mempunyai nilai error tertinggi. Dengan menggunakan persamaan 2 di atas, kita peroleh:

$$\text{Error} = \frac{([4 - 15])}{15} * 100\% = 73.33\%$$

Di antara uji coba yang dilakukan pada investigasi ini, reaksi dengan nilai error keadaan tunak sebesar 6,66% mencapai set point = 15cm dalam waktu 0,6 detik, menjadikannya respons tercepat. Nilai KP yang optimal akan ditentukan oleh temuan penelitian, dan semakin banyak nilai KP yang dipilih maka akan semakin baik pula hasilnya. Nilai KD dapat mempercepat respon hingga mencapai titik yang ditentukan dan menjadi stabil. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai KI mampu menurunkan nilai error stable state pada set point;

namun, penentuan nilai KI yang tidak akurat menyebabkan waktu respons yang buruk.

B. Pengujian Maze

Pengujian labirin adalah proses mengaktifkan fungsi robot untuk memastikan apakah robot mematuhi aturan yang telah ditentukan atau tidak. Jalur atau rute yang akan dilalui robot sepanjang baris dan kolom yang terbentuk di dalam suatu ruangan disebut sebagai aturan yang dimaksud. Ketika robot mencapai baris, kolom, atau titik akhir terakhir, robot dimaksudkan untuk mengambil jalan pintas kembali ke posisi awalnya.

Sebuah ruangan berukuran 200 cm kali 200 cm yang akan dibersihkan, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1, terdapat delapan baris, delapan kolom, dan delapan indeks pada setiap kolom dan baris.

Tabel 2. Rule Robot

No	1	2	3	4	5	6	7	8
1	16	48	70	76	93	119	143	163
2	21	36	58	79	105	121	147	157
3	24	44	74	84	103	124	134	161
4	19	33	62	91	109	128	149	164
5	22	35	53	82	97	119	145	160
6	18	40	57	73	108	120	141	153
7	20	38	76	91	103	123	147	166
8	19	43	64	87	101	118	139	164

Dengan melakukan tes ini, hasil aturan dapat dilihat, dan berikut ini dapat diperhatikan tentang cara kembali ke titik awal tes metode maze:

1. Aturan Data untuk pengoperasian robot
Perhitungan berikut dapat dilakukan dengan menggunakan Tabel 2:

$$L.Ru = 200 \text{ cm} \times 200 \text{ cm.}$$

$$L. Bot = 160 \text{ cm} \times 160 \text{ cm.}$$

$$LT.Bot = L.Ru - L.Bot$$

$$= 40000 - 25600$$

$$= 14400$$

$$\%LT.Bot = LT.Bot / L.Ru * 100$$

$$= 14400 / 40000 * 100$$

$$= 36 \%$$

Dimana:

L.Ru = Luas ruangan

L.Bot = Luas traversal robot

LT.Bot = Luas ruangan yang tidak dilalui robot
% LT.Bot = Persentase luas yang gagal dilalui robot

Oleh karena itu, persamaan 3 dapat digunakan untuk menghitung proporsi luas ruangan yang dicakup robot: $\%L.Bot = 100\% - \%LT.Bot$. Dengan menggunakan persamaan 3, 64% area tertutup oleh robot.

Tabel 1 menunjukkan bahwa 64% luas ruangan dilalui oleh robot, sedangkan 36% luas ruangan tidak dilalui. Robot beroperasi langsung pada jarak 20 cm dari dinding, oleh karena itu, daerah yang tidak terjangkau disebabkan oleh titik set point yang sebesar 20 cm. Hal ini mencegah agar robot tidak bertabrakan dengan dinding sehingga berjalan dengan lancar.

C. Pengujian Sensor Ultra Sonic

Pengujian sensor ultrasonik pada Gambar 15 digunakan untuk mengetahui pembacaan sensor terhadap waktu hambatan (t). Gunakan rumus berikut, yang dapat ditemukan pada data sheet sensor ultrasonik, untuk menentukan jarak:

$$S = v * t / 2 \tag{2}$$



Gambar 15. Pengujian Sensor Ultrasonik

1. Pengujian Sensor Ultrasonik Bagian Depan

Pengujian sensor pendeteksi ultrasonik dilakukan untuk memverifikasi keakuratan ketepatan waktu sensor ultrasonik. Tabel 3 menampilkan hasil pengujian sensor ultrasonik.

Tabel 3. Pengujian Sensor Ultrasonik Bagian Depan

Jarak asli (cm)	Jarak terbaca oleh sensor	T= waktu (m/s)
3	3.45	200.1
4	4.21	244.18
5	5.12	296.96
6	6.02	349.16
7	7.17	415.86
8	8.09	469.22
9	9.31	539.98
10	10.41	603.78
20	20.33	1178.14
40	40.28	2336.24

50	50.03	2901.74
100	100.24	5813.92
125	125.19	7261.02
150	150.34	8719.72
200	200.47	11627.26

Hasil waktu jarak terdekat sebesar 187,35 m/s, dan jarak terjauh sebesar 11622,62 m/s, sesuai tabel hasil pengujian sensor Ultrasonik diatas.

2. Pengujian Sensor Ultrasonik Bagian Kiri

Pengujian sensor ultrasonik dilakukan untuk memastikan keakuratan dan ketepatan waktu sensor tersebut. Tabel 4 menampilkan hasil pengujian sensor ultrasonik. Tujuannya adalah untuk memastikan waktu (t) yang diperoleh sensor saat menginterpretasikan penghalang. Gunakan rumus yang terdapat pada lembar data sensor ultrasonik untuk menentukan jarak.

Tabel 4. Pengujian Sensor Ultrasonik Bagian Kiri

Jarak Asli (cm)	Jarak terbaca oleh sensor	t = waktu (m/s)
3	3.05	176.9
4	4.03	233.74
5	5.07	294.06
6	6.1	353.8
7	7.12	412.96
8	8	464
9	9.14	530.12
10	10.12	586.19
20	20.12	1166.96
40	40.14	2328.12
50	50.09	2905.12
100	100.24	5813.92
125	125.31	7267.98
150	150.07	8704.06
200	200.26	11615.08

Berdasarkan tabel nilai Uji Sensor Ultrasonik di atas, nilai timer jarak tersingkat adalah 176,9 m/s, sedangkan jarak terjauh adalah 11615,08 m/s.

3. Pengujian Sensor Ultrasonik Bagian Kanan

Pengujian dilakukan pada sensor ultrasonik untuk memastikan akurasi waktu sensor tersebut. Temuan pengujian sensor ultrasonik ditampilkan pada tabel 5.

Tabel 5. Pengujian Sensor Ultrasonik Bagian Kanan

Jarak Asli (cm)	Jarak terbaca oleh sensor	t = waktu (m/s)
3	3.23	187.34
4	4.11	238.38
5	5.1	295.8
6	6.32	366.56
7	7.15	414.7
8	8.27	479.66
9	9.25	536.5
10	10.36	600.88
20	20.12	1166.96
40	40.2	2331.6
50	50.05	2902.9
100	100.2	5811.6
125	125.54	7281.32
150	150.33	719.14
200	200.39	11622.62

Hasil waktu jarak terdekat sebesar 187,35 m/s, dan jarak terjauh sebesar 11622,62 m/s, sesuai tabel hasil pengujian sensor Ultrasonik diatas.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan berikut dapat diambil dari analisis dan temuan percobaan dalam penelitian ini:

1. Robot penyedot debu dapat beroperasi sesuai dengan tujuan penelitian, antara lain dapat beroperasi secara mandiri dan berhenti sendiri setelah menyelesaikan suatu tugas, sehingga menghilangkan kebutuhan akan kendali manusia dan pengawasan terhadap robot selama pengoperasian.
2. Robot penyedot debu otonom membentuk pola baris dan kolom yang dilaluinya untuk mengidentifikasi setiap wilayah berukuran 2 m x 2 m.
3. Robot penghisap debu otonom dapat beroperasi lurus dan stabil dengan nilai kesalahan kondisi tunak minimum sebesar 6,66% dengan menerapkan pendekatan PID. Robot vacuum cleaner otomatis mengidentifikasi setiap area berukuran 2m x 2m dengan membuat pola baris dan kolom yang dilaluinya.
4. Robot penyedot debu otonom dapat beroperasi lurus dan stabil dengan nilai kesalahan keadaan stabil minimum sebesar 6,66% ketika pendekatan PID diterapkan.

5. Dengan menggunakan pendekatan labirin dan menetapkan aturan putaran robot, robot dapat diprogram untuk berjalan secara konsisten hingga mencapai titik akhir, mencakup 64% ruang. Dari sana, dapat kembali ke titik awal dengan menggunakan sistem wall follower untuk mengambil jalan pintas dan melintasi garis 1.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. D. I. S. A. W. Deo Mahesa Ramadhan, "Rancang Bangun Robot Pembersih Debu," *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*, vol. 7, 2023.
- [2] M. S. A. Ade Zulkarnain Hasibuan, "Rancang Bangun Robot Vacuum Cleaner Berbasis Mikrokontroler dengan Pengendali Smartphone Android," *Jurnal Nasional Informatika dan Teknologi Jaringan*, vol. 4, 2019.
- [3] A. R. P. Muhamad Taufiq Tamam, "Prototipe Robot Pembersih Lantai Berbasis Mikrokontroler," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 11, 2023.
- [4] S. K. d. M. M. A. A. Remigius Tandioaga, "Rancang Bangun Robot Pembersih Halaman Berbasis Mikrokontroler," *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, vol. 3, pp. 15-21, 2019.
- [5] T. Y. P. Y. L. Amanulloh, "Perancangan Robot Penghisap Debu Berbasis Arduino Uno Dengan Kontrol Android," *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, vol. 3, pp. 15-21, 2023.
- [6] D. A. P. A. ., M. U. M. F. I. S. M. A. S. P. R. H. Dhoni Hidayatullah, "Desain Prototype Robot Vacuum Cleaner Otomatis Berbasis Arduino Uno," *Jurnal Komputer dan Elektro Sains*, pp. 14-17, 2024.
- [7] H. S. E. M. a. V. S. Eveline Ecsedi, "The Development of an Autonomous Maze Robot," *International Conference on Engineering of Modern Electric Systems*, pp. 169-172, 2019.
- [8] A. I. N. H. Zamroni Adeyanto, "Rancang Bangun Robot Cacuum Cleaner Dengan Menerapkan Proporsitional Logic Untuk Pengaturan Navigasi," *Jurnal MNEMONIC*, vol. 3, 2020.
- [9] I. B. Sulistiawati, R. B. Putra, A. Soetedjo, Sotyohadi and S. Priyanto, "Penggunaan PLC Outseal dan Haiwell Hmi Scada untuk Optimasi Pengontrolan Daya dan Beban di Gedung Laboratorium Teknik Elektro ITN Malang," *SENIATI*, no. 2085-4218, 2023.
- [10] M. S. Z. Arief Rahmadiansyah, "Maze Solver Robot Dengan Kendali PID Berbasis Arduino Uno Dengan Tunning Melalui Smartphone Android," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 8, 2019.
- [11] V. S. A. R. Kinkin Agustriana, "Perancangan dan Implementasi Cleanbot menggunakan Algoritma A*," in *e-Proceeding of Engineering*, Bandung, 2020.
- [12] K. W. Daniel Sutopo Pamungkas, "Pengendalian Robot Roda Dua Dengan Kendali Pid," *Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV)*, pp. 214 -222, 2022.