

SISTEM PENGENDALI PERLAMBATAN KECEPATAN MOTOR PADA ROBOT *LINE FOLLOWER* DENGAN SENSOR ULTRASONIK

Deaz Achmedo Giovanni Setyanoveka, Pembimbing 1: Ir. Purwanto, MT., Pembimbing 2: Ir. Bambang Siswoyo, MT.

Abstrak - Pada skripsi ini dilakukan pengendalian dalam memberhentikan gerakan robot pada jarak 100 cm dari penghalang dengan menggunakan mikrokontroler ATmega16 menggunakan parameter dari kontroler Proporsional Integral Deferensial (PID). Dengan menggunakan sistem Pulse Width Modulation (PWM) maka dapat dilakukan pemberhentian dengan cara memberikan pengereman secara otomatis pada motor DC sebagai penggerak. Besaran harga keluaran pada algoritma PID inilah yang dijadikan acuan dalam pembangkit PWM, sehingga terjadi pengereman kecepatan motor DC yang dapat berhenti tepat pada jarak 100 cm antara robot dengan objek penghalang. Piranti yang digunakan sebagai pengukur jarak dengan menggunakan sensor ultrasonik.

Pemograman dilakukan menggunakan software CodeVisionAVR. Pada skripsi ini, dicari harga kombinasi dari variabel PID yaitu K_p, K_i, K_d dengan metode osilasi Ziegler-nichols. Metode ini dipilih karena dapat mempersingkat waktu pencarian parameter karena menggunakan rumus-rumus yang sederhana dan proses trial and error hanya pada pencarian parameter K_p . Hasil parameter kontroler PID diperoleh nilai $K_p=15, K_i=21,429, K_d=2,625$. Dengan diperolehnya nilai K_p, K_i, K_d tersebut sistem dapat berjalan dengan baik karena ketika kendaraan tidak menemukan adanya penghalang, motor berjalan dengan kecepatan yang telah ditentukan. Namun ketika terdapat penghalang, robot akan berhenti pada jarak 100 cm dan jarak tersebut akan selalu dipertahankan sehingga jarak antara robot dan penghalang tetap 100 cm.

Kata Kunci : Sensor ultrasonik (PING)), Motor DC, Tuning Eksperimen, kontroler PID.

I. PENDAHULUAN

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi telah mendorong manusia untuk berusaha mengatasi segala permasalahan yang timbul di sekitarnya. Keterbatasannya untuk terjun langsung melakukan proses pengendalian karena jauh, banyaknya *plant* yang dikendalikan dan membutuhkan waktu yang lama, lambat laun telah dapat diatasi dengan ditemukannya teknologi baru, salah satunya adalah sistem gerak pada Robot pengikut garis (*Line Follower*) yang memungkinkan manusia lebih mudah mengangkat barang atau memindahkan barang ketempat lain dalam bidang industri serta dapat juga digunakan sebagai alat transportasi otomatis.

Dalam pembuatan *prototype* robot *line follower* pengambil sampah ini direncanakan agar sampah-sampah yang ada di beberapa titik tempat sampah bisa terkumpulkan di satu titik saja dengan menggunakan lintasan garis yang diinginkan. Maka dengan demikian

akan lebih efektif dan efisien untuk pengambilan sampah-sampahnya.

Dilakukan penerapan implementasi pengendalian dalam memberhentikan gerakan robot pada jarak tertentu dari penghalang menggunakan mikrokontroler AVR ATmega 16 dan AVR ATmega 8 dengan algoritma pengendali proporsional integral deferensial (PID). Dengan menggunakan sistem Pulse Width Modulation (PWM) maka dapat dilakukan pemberhentian dengan cara memberikan pengereman secara otomatis pada motor DC sebagai penggerak. Besaran harga keluaran pada algoritma PID inilah yang dijadikan acuan dalam pembangkit PWM, sehingga terjadi pengereman kecepatan motor DC yang dapat berhenti tepat pada jarak 100 cm antara robot dengan objek penghalang. Piranti yang digunakan sebagai pengukur jarak dengan menggunakan sensor ultrasonik (PING)). Diperlukan ketepatan harga variabel PID terhadap kemampuan pengendali untuk memberhentikan di depan penghalang pada posisi yang tepat. Ketika robot tidak menemukan adanya penghalang, motor berjalan dengan kecepatan yang tetap. Namun ketika terdapat penghalang pada jarak 1,5m-1m bel akan berbunyi dan jika sampai jarak 1m penghalang masih tetap ditempat, maka robot akan berhenti dan akan tetap membunyikan bel.

Dalam skripsi ini diharapkan dapat merancang suatu sistem pengatur jarak dimana jika terdapat penghalang, robot bisa mengantisipasi untuk membunyikan bel saja atau harus berhenti dengan menggunakan kontroler PID.

II. PERANCANGAN SISTEM

2.1. Tinjauan Umum

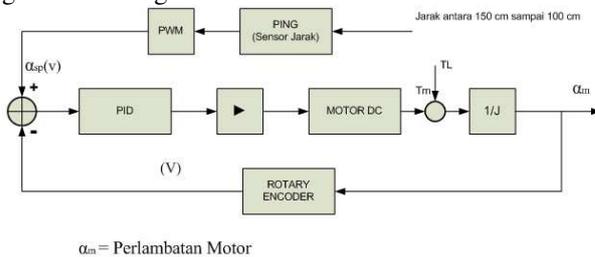
Bab ini menjelaskan mengenai spesifikasi alat, perancangan perangkat keras dari sistem pengatur kecepatan motor untuk pengereman adanya penghalang yang meliputi diagram blok sistem, cara kerja sistem, dan gambar rancangan alat. Selain perancangan perangkat keras akan dijelaskan juga mengenai perancangan perangkat lunak meliputi perncangan *flowchart* atau diagram alir kerja system dan PID.

Spesifikasi sistem yang dirancang adalah sebagai berikut:

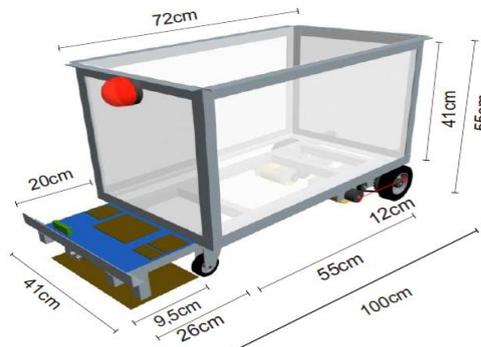
1. Robot *Line Follower* menggunakan rangka dengan spesifikasi sebagai berikut:
 - Dimensi robot secara keseluruhan yaitu panjang 100 cm, lebar 40 cm dan tinggi 45 cm.
 - Bak robot terbuat dari *acrylic* dengan panjang 70 cm, lebar 40cm dan tinggi 40 cm
2. Pergerakan Robot *Line Follower* Berbeban menggunakan dua buah motor DC.

3. Dua roda depan merupakan roda bebas dan dua roda belakang yang dikopel motor DC sebagai penggerak dengan sistem differensial (terpisah)
4. Dua buah *Rotary Encoder* sebagai sensor kecepatan yang dipasang pada masing-masing motor DC.
5. Sebuah sensor PING))) digunakan sebagai sensor pendeteksi adanya penghalang.
6. Menggunakan 8 (delapan) buah sensor *photo reflective*, enam berada di bagian depan dan satu di pojok belakang samping kanan dan kiri.
7. Mikrokontroler yang digunakan adalah satu buah ATMEGA 16 dan tiga buah ATMEGA 8
8. Catu tegangan untuk mikrokontroler menggunakan baterai *Li-po* 11.1 V 2200mA.
9. Catu tegangan untuk motor DC menggunakan *accu* 12 V.

Blok diagram dan Perancangan desain sesuai dengan gambar 1 dan gambar 2.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem



Gambar 2. Desain Robot

2.2. Perancangan Sistem Kerja

robot akan aktif saat tombol ON diaktifkan, sistem dari alat ini akan bekerja sesuai dengan sensor cahaya yang mendeteksi garis hitam dan putih, pada kondisi ini robot masih dalam keadaan memproses data (persiapan). Saat tombol start diaktifkan, baru robot akan aktif secara menyeluruh, robot ini diberi penggerak dengan dua motor DC magnet permanen serta sensor photodiode dan sensor PING))).

Sensor *photodiode* digunakan untuk membaca garis hitam dan mengirimkan sinyal input ke mikrokontroler ATMEGA8 untuk selanjutnya diteruskan ke ATMEGA16 yang terdapat pula sensor PING))) digunakan untuk mendeteksi adanya penghalang. Mikrokontroler ATMEGA16 sebagai MK utama berfungsi mengolah data dari Mikrokontroler ATMEGA8 yang terdiri dari MK sensor (MK1), MK motor kiri (MK2) serta MK motor kanan (MK3).

Setelah motor diatur oleh kontroler dari MK2 dan MK3 untuk memperoleh kecepatan yang *steady*, maka

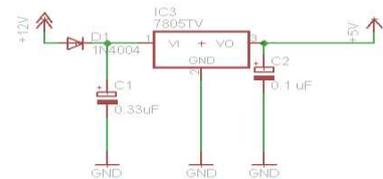
robot akan bergerak dengan kecepatan yang tetap yaitu 600 m/s. Keluaran kecepatan tersebut akan digunakan sebagai parameter dari sensor PING))).

Sensor PING))) akan mendeteksi penghalang pada jarak 150 cm. Pada jarak tersebut *buzzer* akan aktif sampai jarak 100 cm. Jika penghalang tetap berada pada posisi, robot akan berhenti dan *buzzer* akan tetap aktif. Namun jika penghalang kemudian bergerak keluar dari posisi, maka robot akan berhenti mengaktifkan *buzzer* dan mengikuti lintasan yang telah dibuat.

2.3. Perancangan Catu Daya Sistem

Robot ini Menggunakan dua jenis catu daya. Catu daya 12V untuk motor yang bersumber dari AKI 12V. Serta catu daya 5V untuk rangkaian minimum sistem mikrokontroler ATmega16 dan ATmega8 yang bersumber dari baterai lipo (*lithium polimer*) 11,1V.

Pada perancangan digunakan catu daya sebesar 5V yang diperoleh dari rangkaian *Fixed Output Regulator* pada datasheet LM7805. Pada rangkaian digunakan regulator LM7805 agar diperoleh tegangan keluaran yang bisa diatur supaya nilai keluaran regulator bisa mendekati 5V. Skema rangkaian catu daya ditunjukkan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian Catu 5V

2.4. Perancangan Sensor Ultrasonik PING)))



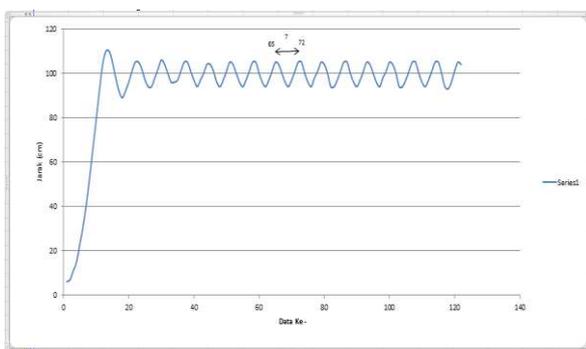
Gambar 4. sensor PING)))

Sensor ultrasonik pada perancangan ini berfungsi sebagai sensor pengukur jarak antara robot dengan penghalang. Keluaran dari sensor ultrasonik ini digunakan sebagai masukan (*set point*) dari kontroler PID.

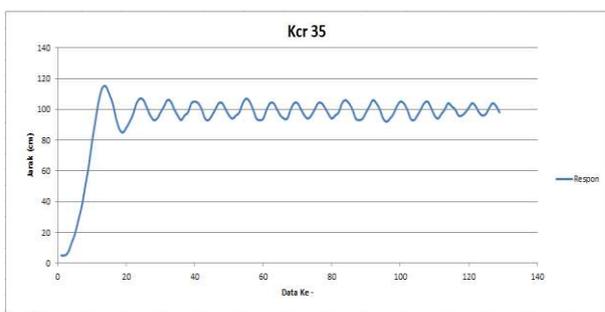
Dalam perancangan ini, digunakan satu buah sensor ultrasonik yang diletakkan di bagian depan robot dan dihubungkan dengan mikrokontroler utama ATMEGA16 sebagai mikrokontroler pengatur ultrasonik pada Pin B.1.

2.5. Perancangan Kontroler PID

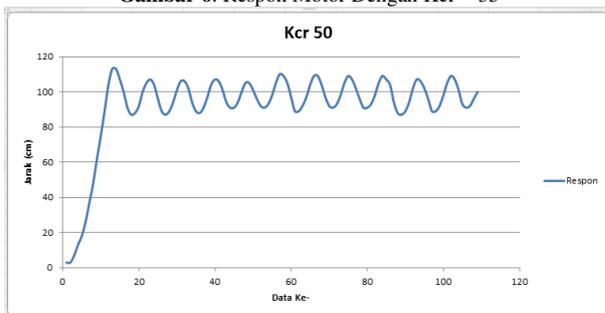
Perancangan kontroler dilakukan dengan menggunakan microsoft excel untuk mengamati respon motor dc. Langkah pertama adalah dengan melihat respon motor dc setelah diberi kenaikan $K_c = 25,35$, dan 50 seperti dalam Gambar 5,6, dan 7.



Gambar 5. Respon Motor Dengan Kcr = 25



Gambar 6. Respon Motor Dengan Kcr = 35



Gambar 7. Respon Motor Dengan Kcr = 50

Berdasarkan Gambar, didapatkan nilai Kcr yang keluaran responnya mendekati osilasi sempurna yaitu pada Kcr=25 dengan nilai Pcr sebesar 1,4s. Nilai parameter kontroler PID ditentukan berdasarkan tabel aturan dasar Ziegler-Nichols dengan *critical gain* Kcr dan *critical period* Pcr yang ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Dasar Ziegler-Nichols Berdasarkan *Critical Gain* Kcr dan *Critical Period* Pcr

Type Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	$0.5 K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45 K_{cr}$	$\frac{1}{1.2} P_{cr}$	0
PID	$0.6 K_{cr}$	$0.5 P_{cr}$	$0.125 P_{cr}$

Maka nilai parameter PID yang diperoleh adalah :

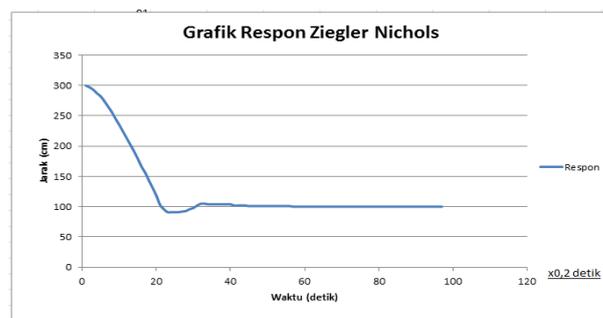
$$\begin{aligned}
 K_p &= 0,6 \times K_{cr} &= 0,6 \times 25 &= 15 \\
 T_i &= 0,5 \times P_{cr} &= 0,5 \times 1,4 &= 0,7 \\
 T_d &= 0,125 \times P_{cr} &= 0,125 \times 1,4 &= 0,175
 \end{aligned}$$

Dengan demikian dapat ditentukan nilai Kp, Ki, dan Kd adalah:

$$\begin{aligned}
 K_p &= 15 \\
 K_i &= \frac{K_p}{T_i}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{15}{0,7} \\
 &= 21,429 \\
 K_d &= K_p \times T_d \\
 &= 15 \times 0,175 \\
 &= 2,625
 \end{aligned}$$

Dari penghitungan penentuan nilai penguatan dari metode kedua Ziegler-Nichols di atas diperoleh $K_p = 15$, $K_i = 21,429$, $K_d = 2,625$ yang akan digunakan untuk pengendali kedua motor dc. Dengan nilai K_p , K_i , dan K_d yang sudah diperoleh, maka grafik sistem respon yang diperoleh ditunjukkan oleh Gambar 8.

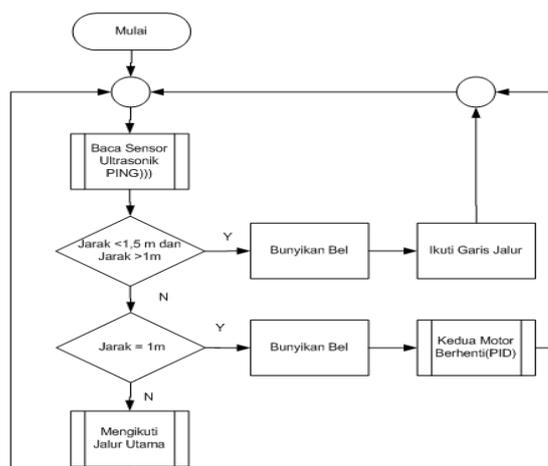


Gambar 8. Respon Sistem dengan Kp, Ki, dan Kd Berdasarkan Ziegler-Nichols

Dari gambar bisa dilihat grafik keluaran system dengan menggunakan perhitungan Ziegler-Nichols, didapatkan respon yang baik dan tidak terjadi *offset* pada saat *steady*.

2.6. Perancangan Perangkat Lunak

Diagram alir program utama kontroler PID meliputi proses baca sensor, bunyi bel, ikuti garis jalur, akumulasi error dan perhitungan PID sebagai proses berjalannya robot sesuai dengan yang direncanakan. Diagram alir program utama ditunjukkan dalam Gambar 9



Gambar 9. Diagram Alir Sensor PING))

III. PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM

3.1 Pengujian Data Sensor Ultrasonik PING))

Pada pengujian berikut ini, objek (penghalang) pada lintasan lurus diletakkan sejajar didepan sensor ultrasonik. Jarak objek dengan sensor diubah-ubah setiap kelipatan 50 cm dengan menggunakan penggaris panjang. Perangkat *timer 1* pada mikrokontroler pengatur sensor ultrasonik digunakan untuk menghitung

lamanya waktu aktif sinyal pantulan dari sensor ultrasonik. Data berupa lama waktu dalam milisekon lalu jarak terbaca dalam centimeter yang akan ditampilkan pada LCD.

Hasil pengujian yang diperoleh dari pembacaan jarak sensor (PING))) dengan jarak sebenarnya dalam beberapa kali pengambilan data dapat dilihat pada tabel 5.1 dan hasil grafik pengujian pada gambar 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik

Pengujian Ke -	Pembacaan Sensor (cm)	Jarak Sebenarnya (cm)
1	50	50
2	100	100
3	150	150
4	200	200
5	250	250
6	300	300

3.2 Pengujian Kecepatan Putaran Motor DC

Prosedur pengujian dilakukan dengan memberi perintah pada robot untuk memutar motor pada robot dengan mengatur prosentase pwm tertentu. Ada dua buah motor yang digunakan pada robot ini. Kecepatan tiap motor pada robot akan ditampilkan pada LCD. Ketika motor berputar, ukur kecepatan motor dengan menggunakan tachometer, maka akan diketahui perbandingan hasil pengukuran antara tachometer dengan tampilan yang terdapat pada LCD.dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian kecepatan Putaran Motor DC

Column1	Column2	Column3	Column4	Column5	Column6
Motor	PWM	Tacho	LCD	Kesalahan	Kesalahan
	(rpm)	(rpm)	(rpm)	(%)	rata-rata
	25%	708	714	0.85	
Motor Kiri	50%	1310	1305	0.38	
	75%	1400	1450	3.57	1.23
	100%	1560	1558	0.13	
	25%	810	825	1.85	
Motor Kanan	50%	1270	1280	0.79	
	75%	1420	1422	0.14	1.17
	100%	1485	1513	1.89	

3.3 Pengujian Keseluruhan

Pengujian keseluruhan sistem terdiri atas dua bagian yaitu pengujian robot pada lintasan lurus terhadap penghalang dan Pengujian robot pada lintasan berbelok terhadap penghalang. Prosedur pengujian dilakukan dengan meletakkan robot pada posisi awal dalam lintasan dan mengaktifkan robot agar bergerak menelusuri lintasan sampai jarak 100 cm terhadap penghalang, robot akan otomatis berhenti untuk setiap pengujiannya. Selanjutnya akan diketahui banyaknya error overshoot yang dilakukan robot terhadap penghalang pada jarak yang telah ditentukan.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui performa pada sistem kontrol PID dari parameter-parameter Kp, Ki dan Kd yang sudah didapatkan pada proses tuning yang diimplementasikan pada robot dalam mempertahankan jarak terhadap penghalang.

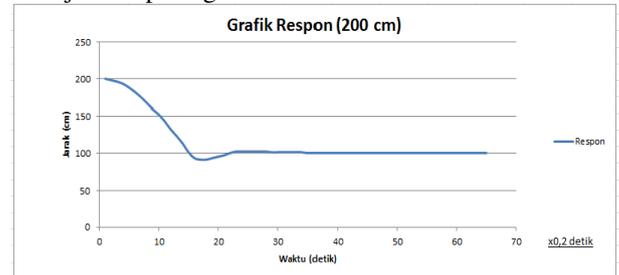
3.3.1 Pengujian dengan Jarak 200 cm

Proses pengambilan data pada jarak 200 cm dapat ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Respon Keseluruhan pada jarak 200 cm

Data Ke-	Jarak(cm)	Data Ke-	Jarak(cm)
1	200	26	102
2	198	27	102
3	196	28	102
4	193	30	101
5	188	30	101
6	182	31	101
7	175	32	101
8	167	33	101
9	159	34	101
10	152	35	100
11	143	36	100
12	132	37	100
13	123	38	100
14	113	39	100
15	101	40	100
16	93	41	100
17	91	42	100
18	91	43	100
19	93	44	100
20	95	45	100
21	97	46	100
22	100	47	100
23	102	48	100
24	102	49	100
25	102	50	100

Untuk respon dengan jarak 200 cm ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 10. Grafik Hasil Pengujian Respon Keseluruhan pada jarak 200 cm

Dalam keadaan steady, sistem dapat stabil tanpa terjadi osilasi. Namun masih terjadi overshoot disaat sebelum steady, maka overshoot pada jarak 200 cm adalah :

$$Overshoot = \frac{|100-91|}{100} \times 100\% = 9\%$$

Perhitungan offset jarak pada setpoint yang telah ditentukan dapat diperoleh melalui pendekatan matematik dengan hasil :

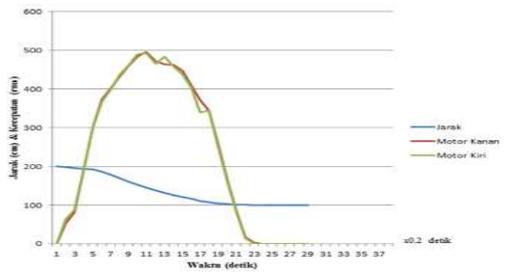
$$Offset = 9\% \times 100 = 0.09 \times 100 = 9 \text{ cm}$$

Tahap selanjutnya merupakan pengujian yang dilakukan pada pengambilan data perlambatan motor dc ,ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Pengambilan Data Perlambatan pada jarak 200 cm

Data Ke-	Jarak	Kec. Motor Kanan	Kec. Motor Kiri
1	200	0	0
2	198	82	82
3	196	82	87
4	194	197	198
5	192	203	201
6	187	272	267
7	178	402	398
8	170	432	436
9	161	459	461
10	153	484	489
11	145	498	493
12	138	472	466
13	128	462	458
14	122	464	462
15	124	462	458
16	121	447	438
17	118	409	409
18	115	372	338
19	107	244	244
20	104	261	233
21	103	164	159
22	102	88	81
23	101	18	15
24	100	2	0
25	100	0	0
26	100	0	0
27	100	0	0
28	100	0	0
29	100	0	0

Dari tabel pengambilan data perlambatan tersebut, maka akan diperoleh grafik respon seperti pada gambar 11.



Gambar 11. Grafik Hasil Pengujian Pengambilan Data Perlambatan pada jarak 200cm

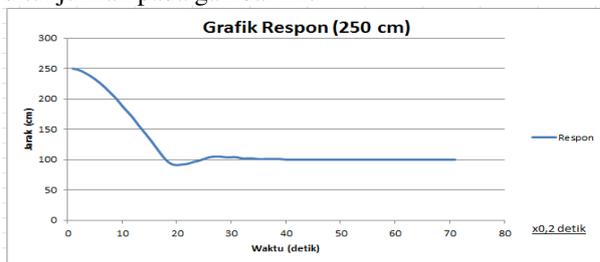
3.3.2 Pengujian dengan Jarak 250 cm

Proses pengambilan data pada jarak 250 cm dapat ditunjukkan pada tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian Respon Keseluruhan pada jarak 200 cm

Data Ke-	Jarak(cm)	Data Ke-	Jarak(cm)
1	250	31	104
2	248	32	102
3	244	33	102
4	239	34	102
5	233	35	101
6	226	36	101
7	218	37	101
8	209	38	101
9	200	39	101
10	189	40	100
11	179	41	100
12	169	42	100
13	157	43	100
14	146	44	100
15	135	45	100
16	123	46	100
17	111	47	100
18	100	48	100
19	93	49	100
20	91	50	100
21	92	51	100
22	93	52	100
23	96	53	100
24	98	54	100
25	101	55	100
26	104	56	100
27	105	57	100
28	105	58	100
29	104	59	100
30	104	60	100

Untuk respon dengan jarak 250 cm ditunjukkan pada gambar 12.



Gambar 12. Grafik Hasil Pengujian Respon Keseluruhan pada jarak 250 cm

Dalam keadaan *steady*, sistem dapat stabil tanpa terjadi osilasi. Namun masih terjadi *overshoot* disaat sebelum *steady*, maka *overshoot* pada jarak 250 cm adalah :

$$Overshoot = \frac{|100-91|}{100} \times 100\% = 9\%$$

Perhitungan *offset* jarak pada *setpoint* yang telah ditentukan dapat diperoleh melalui pendekatan matematik dengan hasil :

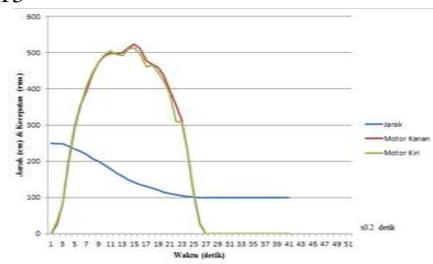
$$Offset = 9\% \times 100 = 0.09 \times 100 = 9 \text{ cm}$$

Tahap selanjutnya merupakan pengujian yang dilakukan pada pengambilan data perlambatan motor dc ,ditunjukkan pada tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pengujian Pengambilan Data Perlambatan pada jarak 250 cm

Data Ke-	Jarak	Kec. Motor Kanan	Kec. Motor Kiri
1	250	0	0
2	249	24	32
3	248	32	31
4	243	38	30
5	236	39	29
6	228	36	25
7	219	34	20
8	208	33	14
9	199	27	12
10	189	20	10
11	180	19	10
12	168	18	10
13	159	18	10
14	149	18	10
15	142	18	10
16	126	12	10
17	120	12	10
18	123	12	10
19	120	12	10
20	113	12	10
21	111	12	10
22	107	12	10
23	104	12	10
24	102	12	10
25	101	12	10
26	100	12	10
27	100	12	10
28	100	0	0
29	100	0	0
30	100	0	0
31	100	0	0
32	100	0	0
33	100	0	0
34	100	0	0
35	100	0	0
36	100	0	0
37	100	0	0
38	100	0	0
39	100	0	0
40	100	0	0
41	100	0	0

Dari tabel pengambilan data perlambatan tersebut, maka akan diperoleh grafik respon seperti pada gambar 13



Gambar 13. Grafik Hasil Pengujian Pengambilan Data Perlambatan pada jarak 250cm

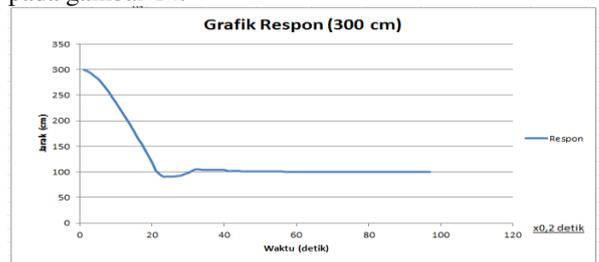
3.3.4 Pengujian dengan Jarak 300 cm

Proses pengambilan data pada jarak 300 cm dapat ditunjukkan pada tabel 6.

Tabel 8. Hasil Pengujian Respon Keseluruhan pada jarak 300 cm

Data Ke-	Jarak (cm)	Data Ke-	Jarak (cm)	Data Ke-	Jarak (cm)
1	300	31	102	61	100
2	297	32	105	62	100
3	293	33	105	63	100
4	287	34	104	64	100
5	282	35	104	65	100
6	274	36	104	66	100
7	265	37	104	67	100
8	256	38	104	68	100
9	245	39	104	69	100
10	235	40	104	70	100
11	224	41	102		
12	213	42	102		
13	202	43	102		
14	191	44	102		
15	179	45	101		
16	166	46	101		
17	156	47	101		
18	143	48	101		
19	131	49	101		
20	118	50	101		
21	103	51	101		
22	96	52	101		
23	91	53	101		
24	91	54	101		
25	91	55	101		
26	91	56	101		
27	92	57	100		
28	93	58	100		
29	96	59	100		
30	98	60	100		

Untuk respon dengan jarak 300 cm ditunjukkan pada gambar 14.



Gambar 14. Grafik Hasil Pengujian Respon Keseluruhan pada jarak 300 cm

Dalam keadaan *steady*, sistem dapat stabil tanpa terjadi osilasi. Namun masih terjadi *overshoot* disaat sebelum *steady*, maka *overshoot* pada jarak 300 cm adalah :

$$\begin{aligned} \text{Overshoot} &= \frac{|100-91|}{100} \times 100\% \\ &= 9\% \end{aligned}$$

Perhitungan *offset* jarak pada *setpoint* yang telah ditentukan dapat diperoleh melalui pendekatan matematik dengan hasil :

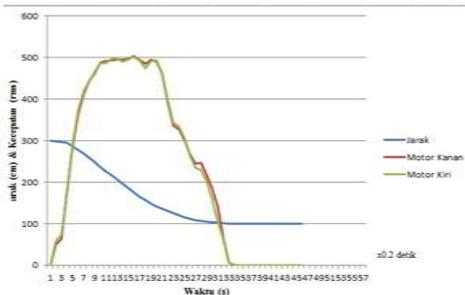
$$\begin{aligned} \text{Offset} &= 9\% \times 100 \\ &= 0.09 \times 100 \\ &= 9 \text{ cm} \\ &= 9 \text{ cm} \end{aligned}$$

Tahap selanjutnya merupakan pengujian yang dilakukan pada pengambilan data perlambatan motor dc ,ditunjukkan pada tabel 9.

Tabel 9. Hasil Pengujian Pengambilan Data Perlambatan pada jarak 300 cm

Data No	Jarak	Kec. Motor Kanan	Kec. Motor Kiri
1	300	0	0
2	299	40	20
3	298	80	40
4	297	120	60
5	296	160	80
6	295	200	100
7	294	240	120
8	293	280	140
9	292	320	160
10	291	360	180
11	290	400	200
12	289	440	220
13	288	480	240
14	287	520	260
15	286	560	280
16	285	600	300
17	284	640	320
18	283	680	340
19	282	720	360
20	281	760	380
21	280	800	400
22	279	840	420
23	278	880	440
24	277	920	460
25	276	960	480
26	275	1000	500
27	274	1000	500
28	273	1000	500
29	272	1000	500
30	271	1000	500
31	270	1000	500
32	269	1000	500
33	268	1000	500
34	267	1000	500
35	266	1000	500
36	265	1000	500
37	264	1000	500
38	263	1000	500
39	262	1000	500
40	261	1000	500
41	260	1000	500
42	259	1000	500
43	258	1000	500
44	257	1000	500
45	256	1000	500
46	255	1000	500
47	254	1000	500
48	253	1000	500
49	252	1000	500
50	251	1000	500
51	250	1000	500
52	249	1000	500
53	248	1000	500
54	247	1000	500
55	246	1000	500
56	245	1000	500
57	244	1000	500
58	243	1000	500
59	242	1000	500
60	241	1000	500
61	240	1000	500
62	239	1000	500
63	238	1000	500
64	237	1000	500
65	236	1000	500
66	235	1000	500
67	234	1000	500
68	233	1000	500
69	232	1000	500
70	231	1000	500
71	230	1000	500
72	229	1000	500
73	228	1000	500
74	227	1000	500
75	226	1000	500
76	225	1000	500
77	224	1000	500
78	223	1000	500
79	222	1000	500
80	221	1000	500
81	220	1000	500
82	219	1000	500
83	218	1000	500
84	217	1000	500
85	216	1000	500
86	215	1000	500
87	214	1000	500
88	213	1000	500
89	212	1000	500
90	211	1000	500
91	210	1000	500
92	209	1000	500
93	208	1000	500
94	207	1000	500
95	206	1000	500
96	205	1000	500
97	204	1000	500
98	203	1000	500
99	202	1000	500
100	201	1000	500

Dari tabel pengambilan data perlambatan tersebut, maka akan diperoleh grafik respon seperti pada gambar 15



Gambar 13. Grafik Hasil Pengujian Pengambilan Data Perlambatan pada jarak 300cm

Dari hasil pengujian tersebut didapatkan *error steady state* sebesar 0%, karena jarak pembacaan sensor (PING))) sama dengan jarak sebenarnya. Dan pada percobaan 200 cm, 250 cm, 300 cm diperoleh *offset* yang sama sebesar 9 cm. Respon robot telah mampu memenuhi batas *offset* yang diharapkan yaitu tidak melebihi 10 cm. Pada grafik respon pada jarak yang bervariasi terhadap penghalang tersebut, didapatkan data performa system yang dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Data Performa system

Jarak	Settling Time (ts)	Maksimum Peak (Mp)	Error Steady State
200 cm	7	9%	0%
250 cm	8	9%	0%
300 cm	11.4	9%	0%

4 KESIMPULAN & SARAN

4.1 Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Dengan menggunakan kontroler PID yang telah dirancang menggunakan metode *Ziegler nichols*, robot *line follower* telah mampu mengambil keputusan pergerakan robot terhadap penghalang. Pada jarak 100 cm robot akan berhenti sesuai dengan yg telah ditentukan. parameter kontroler PID diperoleh dari hasil *tuning* dengan hasil $K_p=15$, $K_i=21,429$, dan $K_d=2,625$. Respon robot telah mampu memenuhi batas *error* yang diharapkan yaitu tidak melebihi 10 cm dari nilai *setpoint* yang telah ditetapkan dengan *settling time* (ts) = 0,2 sekon.
2. Sensor ultrasonik (PING))) memiliki tingkat keakuratan dalam pembacaan jarak terhadap objek berupa penghalang dengan kesalahan rata-rata sebesar 0 cm.

4.2 Saran

Dalam perancangan dan pembuatan alat ini masih terdapat banyak kekurangan. Maka dapat disarankan dan direkomendasi untuk pengembangan lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan kurang lebih 3 sensor jarak agar bisa mendeteksi penghalang jika berada pada lintasan berbelok.
2. Menggunakan pengontrolan dengan metode selain PID.
3. Mempercepat respon robot agar mencapai *setpoint* yang diinginkan bila nilai *error* yang terjadi lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, Arnas Elmiawan. 2013. *Implementasi Sistem Navigasi Wall Following Menggunakan Kontroler PID dengan Metode Tuning pada Robot Kontes Robot Cerdas Indonesia (KRCI) Divisi Senior Beroda*. Malang: Skripsi Jurusan Teknik Elektro FT-UB.
- Andrianto, Heri. 2008. *Pemrograman Mikrokontroler AVR Atmega16*. Bandung: Informatika.
- Atmel. 2007b. *8-bit AVR with 8K Bytes In-System Programmable Flash Atmega8, Atmega8L*. San Jose: Atmel.
- Dwi Septian Suyadhi, Taufiq. 2010. *Buku Pintar Robotika Bagaimana Merancang & Membuat Robot Sendiri*. Yogyakarta: ANDI.
- Ogata, Katsuhiko. 1997. *Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan)*. Jakarta: Erlangga.
- Parallax. 2008. *(PING))) Ultrasonic Distance Sensor*. California: Parallax.
- Sigit, Riyanto. 2007. *Robotika, Sensor, dan Aktuator*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Soebhakti, Hendawan. 2007. *AVR Application Note*. Jakarta: Erlangga.