

RANCANG BANGUN ROBOT MOBIL PENCARI TARGET DAN PENGHINDAR RINTANGAN MENGGUNAKAN KENDALI LOGIKA FUZZY

Junaidi Santoso,¹ Iwan Setiawan, ST. MT.², Trias Andromeda, ST. MT.²
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jln. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia

Abstrak - Penelitian di dunia robot terbagi atas kajian pada sifat kinematik dan dinamik robot. Namun dewasa ini, penelitian tentang aplikasi kecerdasan buatan dalam kendali robot lebih banyak ditujukan untuk memperoleh kontrol kinematik yang canggih.

Pada tugas akhir ini, akan dirancang robot mobil dengan kemampuan menuju target posisi yang ditentukan dan menghindari halangan yang ditemui (*obstacle avoidance*). Sebagai objek kendali adalah robot jenis diferensial yang kedua rodanya mempunyai motor DC terpisah. Pengendali berupa logika fuzzy, berfungsi untuk mengatur kecepatan dan arah gerakan robot berdasarkan masukan posisi target dan sensor jarak. Perancangan robot berbasis pada mikrokontroler secara *embedded* (terpisah dari computer) dengan menggunakan bahasa C.

Dari pengujian didapatkan bahwa robot dapat bergerak menuju target yang telah ditentukan dan mampu menghindari halangan dengan baik. Semakin dekat jarak target dan makin sedikit halangan yang ada, maka akurasi gerakan robot ke target semakin presisi.

Kata Kunci : Robot Mobil, logika Fuzzy, Mikrokontroler

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Robot memegang peranan penting untuk menggantikan manusia dalam melakukan pekerjaan yang sulit. Jenis robot yang umum antara lain manipulator lengan robot dan robot mobil. Kendali pada manipulator lengan robot biasanya berupa pengaturan posisi. Pada mobil robot, penerapan kendali posisi akan coba dikombinasikan dengan kemampuan untuk menghindari objek halangan.

Hal penting yang harus diperhatikan yaitu desain sistem penggerak, pembangkitan lintasan (*trayektori*), dan pengendalian kecepatan. Pada Tugas Akhir ini kecepatan dibangkitkan berdasarkan input posisi yang terus di-*update*. Pertimbangannya berupa jarak terdekat, kecepatan, rintangan, dan waktu. Pengendali robot berupa dua buah algoritma yang terdiri atas kendali posisi sebagai kendali awal dan penghindar rintangan sebagai interupsi saat robot menemukan halangan.

Peningkatan performa kendali pada robot mobil ini cenderung dilakukan pada unsur kinematis dibandingkan dengan unsur dinamis sistem. Logika Fuzzy dipilih sebagai pengendali karena mampu bekerja baik pada sistem *non-linear* dan menawarkan kemudahan dalam perancangan program karena tidak memerlukan model matematis dari sistem.

1.2 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada tugas akhir ini adalah membangun sistem kendali robot mobil berbasis logika fuzzy dengan kemampuan menghindari rintangan untuk mencapai posisi tujuan yang diinginkan.

1.3 Pembatasan Masalah

Pembahasan dibatasi beberapa hal sebagai berikut :

1. Pengendalian secara kinematis dengan mengabaikan sifat dinamis seperti massa, percepatan, gaya inersia, dan gesekan sistem.
2. Medan berupa bidang datar dua dimensi.
3. Menggunakan kendali reaktif
4. Pengaturan parameter secara empiris
5. Tidak membahas mekanik robot.

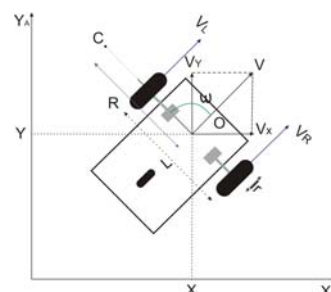
II. DASAR TEORI

2.1 Pengertian Robot mobil

Robot mobil adalah sistem robot yang mampu memindahkan dirinya sendiri dari posisi satu ke posisi yang lain, dimana keseluruhan badan robot berpindah tempat, bisa dikatakan bahwa robot tersebut bergerak dinamis.

2.2 Model Kinematika Robot Mobil Penggerak Diferensial

Salah satu jenis robot mobil yang umum digunakan adalah robot mobil dengan sistem penggerak diferensial. Alasan utamanya karena relatif lebih fleksibel dalam melakukan manuver.



Gambar 2.1 Posisi dan orientasi robot *mobile* dalam sistem koordinat *cartesian*

Untuk panjang jari-jari roda r , serta kecepatan rotasi roda kanan, dan kiri berturut-turut ω_R dan ω_L , maka kecepatan linear roda kanan dan kiri dapat dicari dengan persamaan berikut:

1) Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro UNDIP
2) Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro UNDIP

$$v_R(t) = r\omega_R(t) \quad (1)$$

$$v_L(t) = r\omega_L(t) \quad (2)$$

Ketika robot melakukan gerak memutar sesaat dengan panjang jari-jari R yang diukur dari pusat rotasi dan titik pusat kedua roda, kecepatan rotasi dapat dihitung sebagai:

$$\omega(t) = \frac{v_R}{R + \frac{L}{2}} \quad (3)$$

$$\omega(t) = \frac{v_L}{R - \frac{L}{2}} \quad (4)$$

Kecepatan linier robot $v(t)$ dan kecepatan rotasi robot $\omega(t)$ dapat diketahui berdasarkan kedua kecepatan linear roda. Secara matrik dapat disajikan sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} v(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/2 & 1/2 \\ 1/L & -1/L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_R(t) \\ v_L(t) \end{bmatrix} \quad (5)$$

Persamaan (5) diatas memperlihatkan relasi kinematika langsung antara kecepatan linear roda-roda robot terhadap kecepatan linear dan angular robotnya, sedangkan persamaan (6) di bawah memperlihatkan relasi sebaliknya.

$$\begin{bmatrix} v_R(t) \\ v_L(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & L/2 \\ 1 & -L/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} \quad (6)$$

Syarat mutlak pengendalian posisi robot mobil adalah diketahuinya posisi dan orientasi robot tiap saat. Salah satu solusinya adalah dengan menghitung jarak tempuh roda setiap waktu. Jarak tempuh roda kiri (S_L), roda kanan (S_R), dan jarak rata-rata (S) dalam kawasan waktu berturut-turut sebagai berikut:

$$S_L(t) = v_L(t)t \quad (7)$$

$$S_R(t) = v_R(t)t \quad (8)$$

$$S(t) = \frac{v_L(t) + v_R(t)}{2}t \quad (9)$$

Pendekatan rumus untuk orientasi, posisi koordinat x, dan koordinat y berturut-turut sebagai berikut.

$$\theta(t) = \frac{S_R(t) - S_L(t)}{L} + \theta_0 \quad (10)$$

$$x(t) = x_0 + S \cos \theta(t) \quad (11)$$

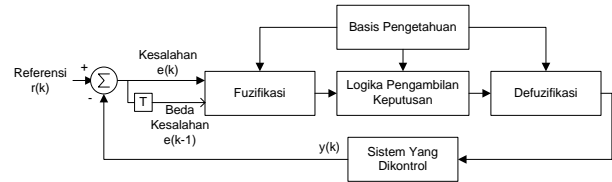
$$y(t) = y_0 + S \sin \theta(t) \quad (12)$$

2.3 Kendali Logika Fuzzy

Kendali logika *fuzzy* bekerja berdasarkan aturan linguistik yang dibuat mirip dengan seorang operator ahli dalam melakukan proses kendali.

Mekanisme kendali logika *fuzzy* kalang tertutup ditunjukkan pada Gambar 2.2, dimana terdapat dua masukan, yaitu masukan kesalahan

dan beda kesalahan. Dua masukan tersebut diolah oleh sistem kendali logika *fuzzy* yang terdiri atas empat komponen utama yang menyusun proses kendali logika *fuzzy*, yaitu proses fuzifikasi, basis pengetahuan, logika pengambil keputusan, dan defuzifikasi.



Gambar 2.2 Mekanisme kendali logika *fuzzy* kalang tertutup

2.3.1 Fuzzifikasi

Komponen fuzzifikasi berfungsi untuk memetakan masukan data tegas ke dalam himpunan *fuzzy* menjadi nilai *fuzzy* dari beberapa variabel linguistik masukan.

2.3.2 Basis Aturan

Basis aturan kendali Fuzzy adalah kumpulan aturan-aturan kendali Fuzzy yang dibuat berdasarkan pengetahuan manusia untuk menghubungkan antara variabel masukan dan variabel keluaran.

2.3.3 Mekanisme Pertimbangan Fuzzy

Berdasarkan basis aturan yang telah dibuat, variabel masukan Fuzzy diolah lebih lanjut untuk mendapatkan suatu penyelesaian. Dengan demikian dapat diambil suatu keputusan berupa keluaran Fuzzy, yaitu himpunan-himpunan keluaran Fuzzy dengan fungsi keanggotaan yang telah ditetapkan. Mekanisme pertimbangan Fuzzy yang sering digunakan adalah dengan metode MAX-MIN.

2.3.4 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah proses pengubahan nilai Fuzzy ke sinyal yang bersifat bukan Fuzzy. Salah satu metode defuzzifikasi untuk model Sugeno adalah metode bobot rata-rata (*weighted average*).

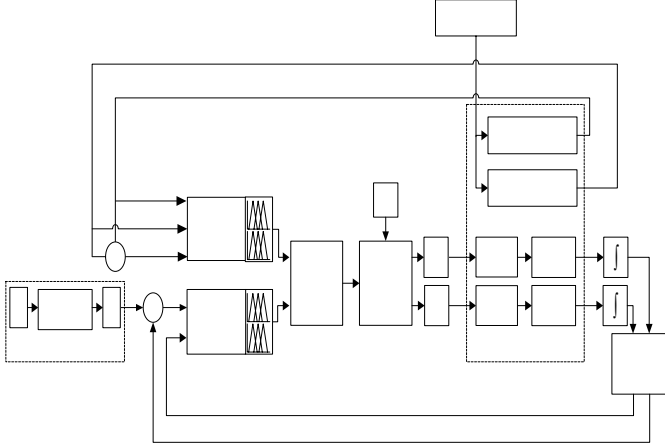
Nilai keluaran tegas metode ini adalah jumlah dari hasil kali bobot keluaran Fuzzy (w_i) dengan posisi singleton pada sumbu x setiap himpunan Fuzzy (z_i) keluaran dibagi dengan jumlah bobot semua keluaran Fuzzy (w_i) atau dapat dirumuskan :

$$\text{Crispoutput} = z = \sum_{i=1}^n \frac{w_i z_i}{w_i}$$

III. PERANCANGAN

Untuk kendali utama robot mobil ini, hasil akhir yang dituju adalah posisi dalam bentuk koordinat. Kendali tambahan berupa kemampuan untuk menghindari halangan dengan logika fuzzy.

Pengaturan dua kendali ini berdasarkan konsep kendali reaktif dengan pemicu berupa ada tidaknya halangan. Sinyal kontrol yang dihasilkan dari kedua kendali ini akan mengatur nilai dari kecepatan angular robot w . Kecepatan angular robot w digunakan untuk mengatur kecepatan roda kiri dan roda kanan (persamaan (6)) yang berfungsi sebagai kemudi robot dalam menuju target posisi. Secara umum diagram blok perancangan sistem kendali robot mobil penghindar rintangan menggunakan kendali logika fuzzy ditunjukkan pada Gambar 3.1

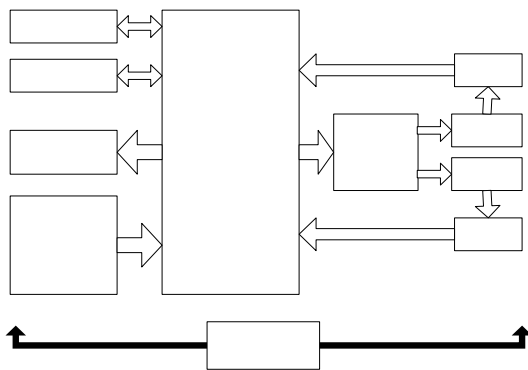


Gambar 3.1 Blok diagram pengendalian

3.1 Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras dari sistem yang akan dibangun meliputi sistem minimum mikrokontroler ATmega8535, sensor PING)))TM, Keypad, LCD, driver motor dc, dan catu daya.

Secara umum perancangan sistem yang akan dibuat dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Blok diagram sistem

3.1.1 Sensor Jarak Ultrasonik PING)))TM

Sensor yang digunakan adalah “PING)))TM Ultrasonic Range Finder”, buatan Parallax. Sensor ini digunakan untuk mengukur jarak antara robot mobil dengan suatu halangan dengan prinsip pemantulan gelombang ultrasonik. Jangkauan sensor ini antara 3 cm sampai dengan 300 cm.

3.1.2 Keypad

Keypad berfungsi sebagai media masukan untuk mengatur kecepatan rata-rata (V),

memasukkan target posisi (x,y), dan sebagai tombol untuk menjalankan proses pengendalian

3.1.3 LCD

LCD (Liquid Crystal Display) berfungsi sebagai media tampilan selama proses pengendalian berlangsung.

3.1.4 Driver Motor DC L293D

Driver motor DC ini merupakan driver motor DC dua arah yang bisa menggerakkan motor untuk bergerak maju atau mundur sekaligus. Dalam satu IC dapat digunakan untuk mengendalikan 2 motor DC. Pada IC ini juga disediakan pin khusus untuk mencatu motor secara langsung. V_{motor} yang bisa digunakan pada IC ini adalah 4,5-36 Volt. Driver ini menerima masukan PWM yang berasal dari sistem mikrokontroler.

3.1.5 Motor DC

Motor DC adalah suatu mesin yang berfungsi untuk mengubah tenaga listrik arus searah (DC) menjadi tenaga mekanik (putaran) dengan prinsip elektromagnetik. Motor DC ini berfungsi sebagai sistem kemudi robot mobil.

3.1.6 Catu Daya

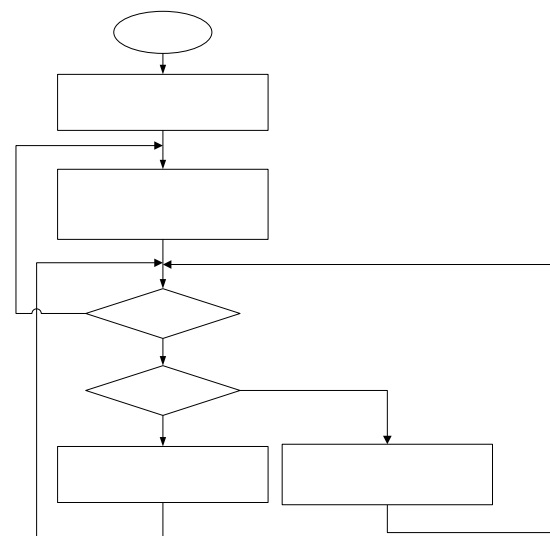
Catu daya berfungsi sebagai suplai sistem secara keseluruhan, terdiri dari suplai 5 Volt dan 9 Volt

3.1.7 Mikrokontroler ATmega8535

Mikrokontroler ATmega8535 yang berfungsi sebagai pusat pengendalian pada sistem.

3.2 Perancangan Perangkat Lunak

Secara umum diagram alir program utama dapat dilihat pada Gambar 3.3 dimana program dimulai dengan melakukan inialisasi semua variabel-variabel utama dari proses pengontrolan dan mikrokontroler.



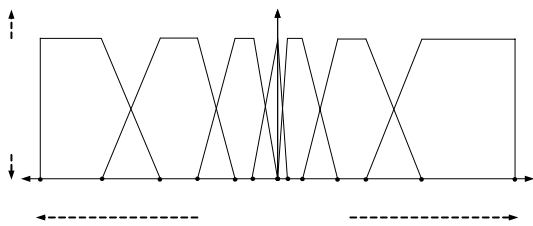
Gambar 3.3 Diagram alir program utama

3.2.1 Sub Rutin Kendali Logika Fuzzy

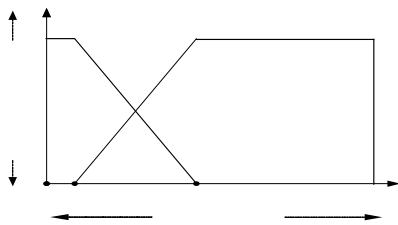
Pada perancangan sistem terdapat dua kendali fuzzy, yaitu kendali fuzzy untuk kendali posisi dan untuk penghindar rintangan. Pemrograman kendali logika fuzzy dilakukan oleh mikrokontroler ATmega8535 dari masukan hasil komputasi hingga diperoleh keluaran sinyal PWM.

3.2.1.1 Fuzifikasi

Untuk perancangan kendali posisi, terdapat dua masukan hasil dari komputasi odometri, yaitu galat sudut dan jarak target. Gambar 3.4 memperlihatkan fungsi keanggotaan galat sudut dan Gambar 3.5 memperlihatkan fungsi keanggotaan jarak sebagai masukan himpunan fuzzy.



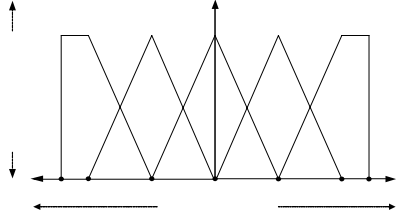
Gambar 3.4 Fungsi keanggotaan galat sudut



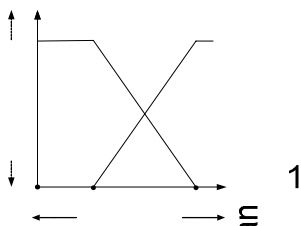
Gambar 3.5 Fungsi keanggotaan jarak target

Masukan galat sudut berfungsi menjaga orientasi robot agar selalu menuju ke arah target. Masukan kedua (jarak target) dirancang dengan pertimbangan semakin dekat robot dengan target, tanggapan terhadap galat sudut harus lebih sensitif.

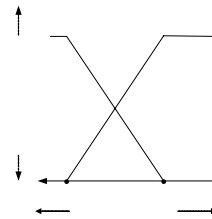
Untuk perancangan kendali posisi, terdapat tiga masukan hasil dari komputasi pembacaan sensor, yaitu jarak rintangan kanan, jarak rintangan kiri, dan selisih antara jarak rintangan kiri dan kanan, seperti terlihat pada gambar berikut.



Gambar 3.6 Fungsi keanggotaan selisih jarak rintangan



Gambar 3.7 Fungsi keanggotaan jarak rintangan kiri

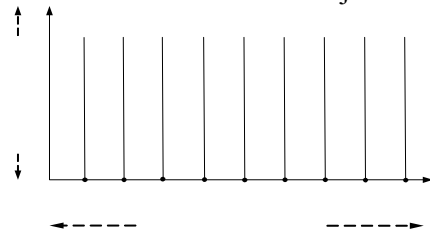


Gambar 3.8 Fungsi keanggotaan jarak rintangan kanan

Keputusan arah belok robot ke kiri atau kanan ditentukan oleh masukan selisih jarak rintangan. Selisih jarak rintangan sebagai berikut.

$$\text{selisih} = \text{ping_kanan} - \text{ping_kiri}$$

Pertimbangan yang digunakan apabila selisih positif berarti rintangan di sebelah kiri lebih dekat dan robot harus berbelok ke arah kanan, demikian juga sebaliknya. Untuk menambah kehandalan, maka diperhitungkan juga dua masukan berikutnya, yaitu jarak rintangan kiri dan jarak rintangan kanan. Jika rintangan makin dekat dengan robot, maka gerakan belok robot akan semakin tajam.



Gambar 3.13 Fungsi keanggotaan keluaran

Kendali logika fuzzy untuk robot mobil ini menggunakan 1 himpunan fuzzy keluaran untuk 2 algoritma kendali dengan fungsi keanggotaan berupa singleton, seperti tampak pada Gambar 3.13.

Untuk fungsi-fungsi keanggotaan masukan dan keluaran di atas nilai N, Z, dan P berturut-turut menyatakan nilai negatif, nol, dan positif. Angka di belakangnya menyatakan tingkat nilai. Sebagai contoh N4 lebih negatif daripada N3, N3 lebih negatif daripada N2 dan seterusnya.

Untuk keluaran, nilai singleton Z menyatakan robot berjalan lurus, N menyatakan robot berbelok ke kiri, dan P menyatakan robot berbelok ke kanan. Besarnya nilai singleton keluaran dapat dilihat dari potongan listing di bawah ini.

```

out[0]= -kecepatan;
out[1]= -kecepatan*3/4;
out[2]= -kecepatan/2;
out[3]= -kecepatan*1/4;
out[4]= 0;
out[5]= kecepatan*1/4;
out[6]= kecepatan/2;
out[7]= kecepatan*3/4;
out[8]= kecepatan;

```

3.2.1.2 Evaluasi aturan

Kendali pertama (posisi) terdiri dari 2 himpunan fuzzy masukan, yaitu galat sudut dengan 7 fungsi keanggotaan dan jarak target (R) dengan 2 fungsi keanggotaan. Basis aturan yang dibuat akan menentukan arah gerakan (belokan) robot. Ada 14

aturan yang dipakai, dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Basis Aturan Kendali Logika Fuzzy untuk Kendali Posisi

Galat Sudut	N3	N2	N1	Z	P1	P2	P3
Dekat	N4	N3	N2	Z	P2	P3	P4
Jauh	N3	N2	N1	Z	P1	P2	P3

Kendali kedua (penghindar rintangan) terdiri dari 3 himpunan fuzzy masukan, yaitu selisih jarak rintangan (selisih) dengan 6 fungsi keanggotaan, jarak rintangan kiri (PING kiri) dengan 2 fungsi keanggotaan, dan jarak rintangan kanan (PING kanan) dengan 2 fungsi keanggotaan.

Aturan untuk kendali penghindar rintangan dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Basis Aturan Kendali Logika Fuzzy untuk Kendali Penghindar Rintangan

Selisih	N3	N2	N1	P1	P2	P3
Ki / Ka						
Kiri Dekat	-	-	-	P2	P3	P4
Kiri Jauh	-	-	-	P2	P3	P4
Kanan Dekat	N3	N2	N1	-	-	-
Kanan Jauh	N3	N2	N1	-	-	-

Metode pengambilan keputusan (inferensi) yang digunakan untuk kedua kendali di atas adalah metode Max-Min.

3.2.1.3 Defuzzifikasi

Dengan metode rata-rata berbobot (weighted average), nilai tegas keluarannya dirumuskan sebagai berikut:

$$CrispOutput = \frac{\sum_i (Fuzzy Output_i) \times (Posisi singleton di X axis_i)}{\sum_i (Fuzzy Output_i)}$$

Hasil keluaran crisp output pada fungsi defuzzifikasi di atas menentukan besar kecepatan angular robot $w(t)$. Nilai kecepatan angular inilah yang akan menentukan kecepatan kedua motor pada robot sesuai dengan persamaan (6) :

$$V_R = V(t) - \omega(t) \frac{L}{2}$$

$$V_L = V(t) + \omega(t) \frac{L}{2}$$

dengan

V_R = Kecepatan roda kanan

V_L = Kecepatan roda kiri

$V(t)$ = Kecepatan linier robot

$w(t)$ = Kecepatan angular robot

L = Jarak roda kanan ke kiri = 18 cm

Nilai $V(t)$ dapat diatur saat akan menjalankan robot, berkisar dari 0 hingga 255. Misal dimasukkan nilai 128, maka besarnya tegangan untuk kecepatan rata-rata adalah:

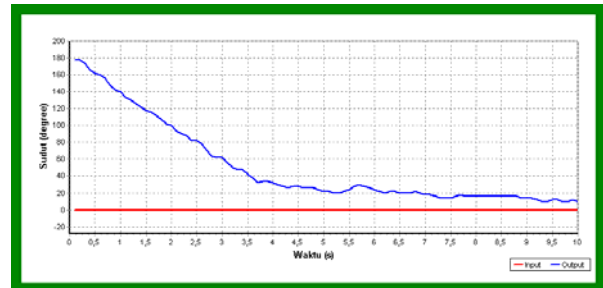
$$\frac{128}{255} \times 9Volt = 4,5Volt$$

IV. PENGUJIAN DAN ANALISA

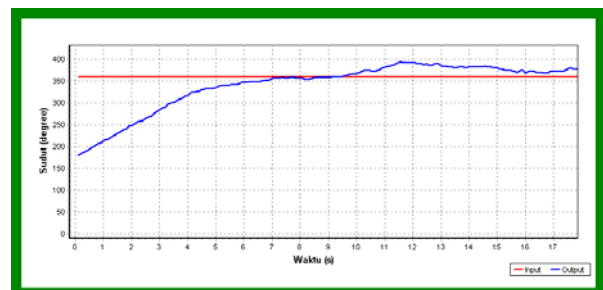
4.1 Pengujian Karakteristik Sistem

Pengujian ini terdiri dari pengujian tanggapan sistem terhadap waktu. Dari hasil pengujian dapat dianalisa besarnya waktu cuplik yang dibutuhkan, penguatan ideal sistem, dan karakteristik kendali yang tepat. Hasil pengujian berupa grafik sinyal referensi dan output terhadap waktu. ditampilkan lewat PC melalui fitur serial mikrokontroler ATmega8535 dengan program bantu Delphi.

Masukan sistem berupa referensi sudut dalam derajat. Kondisi awal robot pada sudut 180^0 . Percobaan dilakukan dengan simpangan referensi maksimal, yaitu 0^0 dan 360^0 dengan penguatan sebesar 1 hingga 2,5. Berikut adalah beberapa grafik hasil pengujian.



Gambar 4.1 Uji karakteristik untuk referensi 0^0 dan nilai penguatan 2 kali



Gambar 4.2 Uji karakteristik untuk referensi 360^0 dan nilai penguatan 2 kali

Dengan pendekatan sebagai sistem orde 1, sistem mempunyai fungsi alih sebagai berikut.

$$G(s) = \frac{1}{Ts + 1}$$

dengan T adalah konstanta waktu sistem, yaitu waktu pada saat keluaran sistem mencapai 63,2 % dari keadaan stabilnya^[5]. T menunjukkan kecepatan respon sistem. Hasil perhitungan T untuk semua pengujian ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.1 Hasil uji karakteristik sistem

No.	Masukan (derajat)	Nilai Penguat	Keluaran Tunak Tunak (derajat)	Galat Tunak Tunak (derajat)	T (detik)
1	0	1	22	22	3

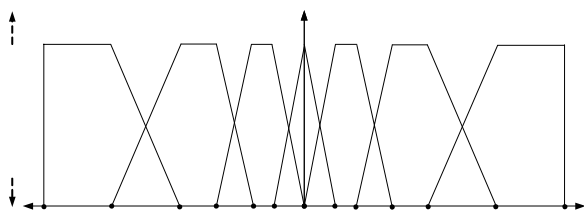
2	0	1.5	20	20	2.3
3	0	2	15	15	2.5
4	0	2.5	10	10	2.8
5	360	1	400	40	8
6	360	1.5	380	20	4.4
7	360	2	370	10	3.8
8	360	2.5	365	5	3.4

Dari pengamatan grafik, didapat bahwa karakteristik respon yang diinginkan, dilihat dari kecepatan respon, memiliki penguatan sistem sebesar 2 hingga 2,5. Nilai konstanta waktu sistem (T) untuk galat negatif sebesar 2,5 hingga 2,8 detik dan galat positif sebesar 3,4 hingga 3,8 detik dianggap cukup ideal untuk pergerakan robot. Yang perlu diperhatikan adalah kondisi robot saat pengujian ini tanpa beban, sehingga nilai T cenderung lebih cepat. Nilai T ini digunakan untuk memperkirakan besarnya waktu cuplik yang dibutuhkan sistem.

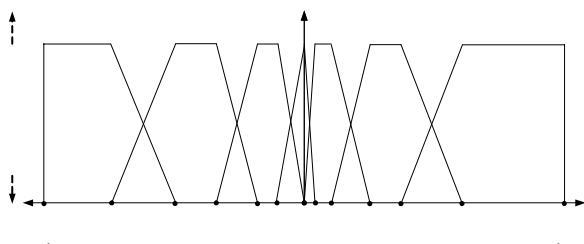
Dari grafik dan tabel terlihat adanya galat tunak (offset) yang selalu bernilai positif. Hal ini disebabkan kecepatan motor kiri lebih besar daripada motor kanan untuk nilai masukan yang sama. Hal ini menjadi salah satu bahan pertimbangan untuk kendali yang dirancang.

4.2 Pengujian Odometri

Pada pengujian ini akan ditunjukkan perbandingan tanggapan sistem antara kendali fuzzy I (fungsi keanggotaan masukan simetris) dan kendali fuzzy II (hasil rancangan akhir). Kendali fuzzy I merupakan kerangka fuzzy awal yang digunakan sebagai dasar perancangan, dengan berfokus pada masukan galat sudut, sedangkan kendali fuzzy II adalah hasil perancangan akhir. Berikut adalah himpunan masukan fuzzy untuk kendali fuzzy I dan fuzzy II.

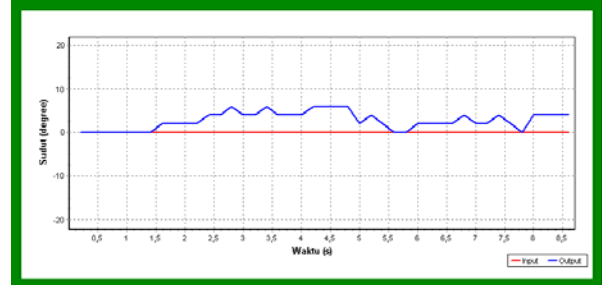


Gambar 4.3 Fungsi keanggotaan galat sudut kendali fuzzy I

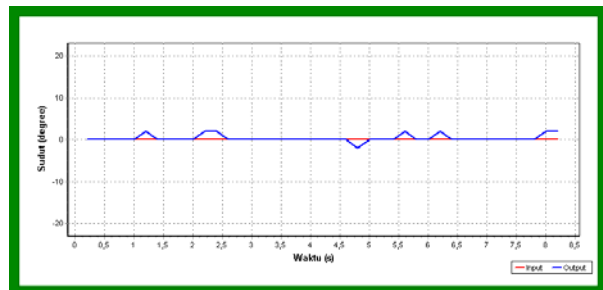


Gambar 4.4 Fungsi keanggotaan galat sudut kendali fuzzy II

Data yang diambil berupa grafik galat sudut terhadap waktu. Percobaan dilakukan dengan memasukkan nilai referensi posisi dalam bentuk koordinat x dan y. Posisi awal robot menghadap ke sumbu y positif. Berikut adalah grafik hasil percobaan untuk beberapa referensi posisi.

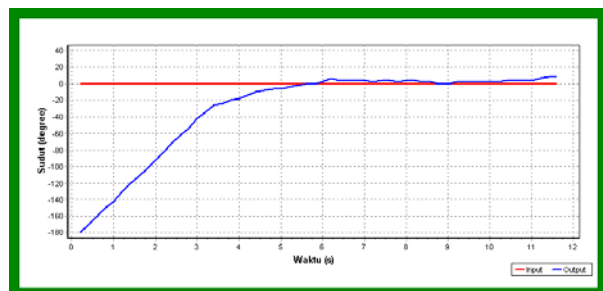


(a) Tanggapan galat untuk kendali fuzzy I

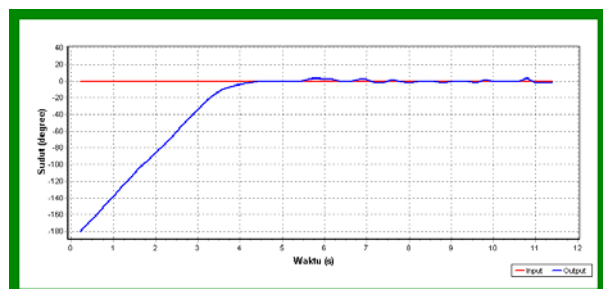


(b) Tanggapan galat untuk kendali fuzzy II
Gambar 4.7 Uji odometri untuk $x=0$ dan $y=100$

Gambar 4.7 menunjukkan tanggapan saat robot berjalan lurus. Tanggapan sistem untuk kendali fuzzy I masih kurang ideal, terdapat galat tunak. Kendali fuzzy II dapat mengeliminasi galat tersebut dan menghasilkan tanggapan sistem yang cukup ideal dengan kepekaan yang cukup baik untuk menanggapi gangguan.

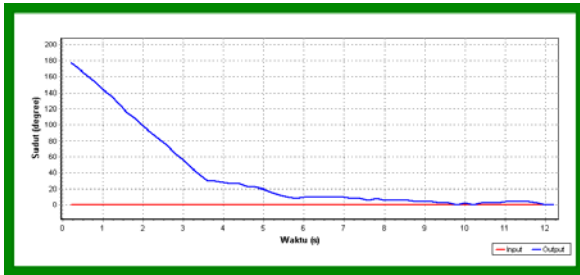


(a) Tanggapan galat untuk kendali fuzzy I

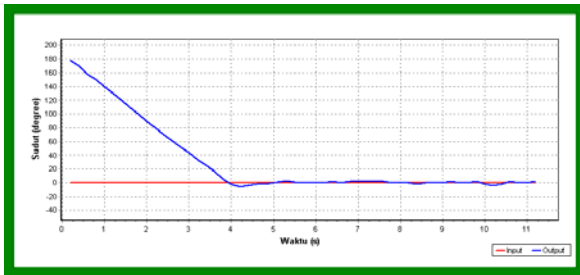


(b) Tanggapan galat untuk kendali fuzzy II
Gambar 4.8 Uji odometri untuk $x=1$ dan $y=-100$

Gambar 4.8 menunjukkan tanggapan saat robot berputar maksimal ke arah kanan sejauh -180° . Waktu penetapan (T_s) untuk kendali fuzzy II pada saat tanggapan bernilai 90 % dari nilai tunaknya kurang lebih sebesar 3,4 detik.



(a) Tanggapan galat untuk kendali fuzzy I



(b) Tanggapan galat untuk kendali fuzzy II

Gambar 4.9 Uji odometri untuk $x=-1$ dan $y=-100$

Gambar 4.9 menunjukkan tanggapan saat robot berputar maksimal ke arah kiri sejauh 180° . Waktu penetapan (T_s) untuk kendali fuzzy II pada saat tanggapan bernilai 90 % dari nilai tunaknya kurang lebih sebesar 3,5 detik, relatif sama dengan waktu penetapan untuk putaran ke arah sebaliknya, sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa kendali yang digunakan hasil rancangan akhir dapat menyeimbangkan pergerakan robot baik ke kiri maupun ke kanan.

4.3 Pengujian Algoritma Penghindar Rintangan

4.3.1 Pengujian Unjuk Kerja Sensor Jarak

Pengujian pertama dilakukan untuk mengetahui keandalan sensor ultrasonik PING)))TM yang digunakan untuk jarak dan tinggi objek (rintangan) yang berbeda-beda. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa semakin jauh jarak objek, maka kemampuan sensor semakin handal, terlihat dari tinggi minimum yang mampu terdeteksi. Hal ini berkaitan dengan karakteristik pancaran gelombang ultrasonik pada sensor yang bersifat divergen (menyebar). Ketinggian optimal objek agar terbaca dengan baik adalah 10 cm atau lebih.

4.3.2 Pengujian Tanggapan terhadap Rintangan

Pengujian kedua untuk mengetahui gerakan robot saat mendeteksi adanya rintangan. Pengujian ini dilakukan dengan memasukkan nilai tertentu

(simulasi) sebagai nilai yang terbaca oleh sensor kiri dan kanan. Data yang ditampilkan berupa nilai PWM kiri dan kanan serta gerakan yang dihasilkan secara linguistik.

Tabel 4.3 Hasil uji tanggapan terhadap rintangan

No.	Ping Ki (cm)	Ping Ka (cm)	Nilai PWM ki	Nilai PWM ka	Arah Gerakan
1	10	10	255	0	Kanan sgt cepat
2		20	255	0	Kanan sgt cepat
3		30	251	5	Kanan sgt cepat
4		40	228	28	Kanan cepat
5		50	217	39	Kanan cepat
6	20	10	0	255	Kiri sgt cepat
7		20	255	0	Kanan sgt cepat
8		30	244	12	Kanan sgt cepat
9		40	230	26	Kanan cepat
10		50	212	44	Kanan cepat
11	30	10	0	255	Kiri sgt cepat
12		20	0	255	Kiri sgt cepat
13		30	255	0	Kanan sgt cepat
14		40	226	30	Kanan cepat
15		50	215	41	Kanan cepat
16	40	10	13	243	Kiri sgt cepat
17		20	3	253	Kiri sgt cepat
18		30	3	253	Kiri sgt cepat
19		40	255	0	Kanan sgt cepat
20		50	217	39	Kanan cepat
21	50	10	28	228	Kiri cepat
22		20	23	253	Kiri cepat
23		30	21	235	Kiri cepat
24		40	24	232	Kiri cepat
25		50	255	0	Kanan sgt cepat

Dari tabel di atas terlihat karakteristik kendali fuzzy yang digunakan. Belokan robot akan makin tajam apabila jarak rintangan semakin dekat dan selisih semakin rintangan kiri dan kanan kecil. Secara keseluruhan, gerakan membelok robot cenderung cepat. Hal ini dikarenakan adanya penguatan yang cukup besar terhadap sinyal keluaran kendali fuzzy.

4.4 Pengujian Lapangan

Percobaan dilakukan dengan memasukkan beberapa nilai referensi posisi, lalu menjalankan robot. Variasi dilakukan dengan menambahkan beberapa rintangan pada lintasan robot. Setelah robot mencapai target, posisi terakhir robot dicatat dan dibandingkan dengan nilai akuisisi yang ditampilkan pada LCD. Tabel 4.4 berikut menunjukkan hasil pengujian lapangan (data dibulatkan agar mencukupi ruang pada tabel).

Tabel 4.4 Hasil pengujian di lapangan

xref (cm)	yref (cm)	jml obs	x baca (cm)	y baca (cm)	R (cm)	θ (rad)	x real (cm)	y real (cm)
0	300	-	0,20	297	3,16	1,71	1	303
		1	0,18	296	4,40	1,68	-1	302
		2	0,84	297	3,03	1,84	3	304
		3	-1,9	298	3,02	1,25	-6	308
300	0	-	296	-0,1	3,98	-0,2	302	3
		1	296	-0,8	3,65	0,16	304	2
		2	295	-0,1	4,70	-0,0	301	6,5
		3	296	-0,5	3,21	-0,4	285	18
-300	0	-	-295	-0,2	4,76	2,93	-304	4

		1	-296	-0,5	3,36	2,82	-303	5,5
		2	-295	-0,6	4,65	3,04	-305	13
		3	-297	-1,9	3,55	2,24	-294	20
	300	-	-0,4	297	3,44	-1,7	-4	-304
		1	-0,1	285	4,80	-1,9	-2	-308
		2	-0,2	296	3,54	-1,6	-11	-305
		3	2,12	297	3,61	-1,4	-20	-294

Dari hasil pengujian di atas terlihat bahwa ada perbedaan antara data akuisisi dengan kenyataan posisi di lapangan. Semakin jauh lintasan robot atau semakin banyak rintangan, maka kesalahan posisi semakin besar.

Salah satu faktor penyebab kesalahan posisi adalah kekurangtelitian sensor posisi (encoder), dalam hal ini diperlukan kalibrasi yang cermat dari perancang. Penyebab lain adalah faktor fisik dari luar seperti lintasan yang kurang rata atau terjadi slip pada ban.

Dari beberapa kali pengujian di lapangan, pengaturan sudut sensor kiri dan kanan mempengaruhi unjuk kerja kendali penghindar rintangan. Apabila sensor cenderung menghadap ke depan, maka robot memiliki tanggapan yang bagus terhadap rintangan di depan, tetapi kurang peka terhadap rintangan di samping pada saat robot tepat membelok. Sebaliknya apabila sudut sensor cenderung ke samping, robot kurang peka terhadap rintangan yang kecil dan terletak tepat di depan robot.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, pengujian dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Untuk mendapatkan respon pergerakan mobil robot yang baik perlu diketahui karakteristik sistem yang dirancang untuk menentukan parameter-parameter kendali logika fuzzy.
2. Adanya perbedaan kecepatan antara motor kiri dan kanan telah diatasi dengan baik oleh kendali fuzzy yang dirancang.
3. Robot mobil yang dirancang hanya bekerja baik untuk target posisi yang relatif dekat. Hal ini disebabkan sifat kesalahan posisi yang semakin terakumulasi.
4. Pengaturan sudut sensor berpengaruh terhadap tanggapan robot dalam menghindari rintangan.
5. Unjuk kerja algoritma kendali reaktif yang digunakan sudah cukup baik. Robot mampu kembali menuju target setelah menghindari rintangan.

5.2 SARAN

Untuk pengembangan sistem lebih lanjut, maka penulis memberikan saran-saran sebagai berikut:

1. Kita dapat menambahkan lagi 1 buah sensor PING)))TM untuk memperbaiki jangkauan sensor dalam mendeteksi rintangan
2. Sensor posisi yang digunakan lebih baik menggunakan sensor global, seperti beacon ultrasonik, GPS, atau sensor kompas.
3. Untuk pengembangan selanjutnya ada baiknya menggunakan 2 buah mikrokontroler mengatasi tabrakan antar instruksi pembacaan sensor.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Borenstein, Johann. Koren, Yoram. *IEEE: "Obstacle Avoidance with Ultrasonic Sensors"*. 1987. Michigan.
- [2] Foka, Amalia. Tesis: *"Predictive Autonomous Robot Navigation"*. 2005. University of Crete. Heraklion.
- [3] Jang, Jysh-Sing Roger dkk. *"Neuro-Fuzzy and Soft Computing"*. 1997. Prentice-Hall International Inc.: London.
- [4] Lucas, GW. *"A Tutorial and Elementary Trajectory Model for the Differential Steering System of Robot Wheel Actuators"*. 2006. Internet.
- [5] Ogata, Katsuhiko. *"Teknik Kontrol Otomatik jilid 1"*. 1994. Erlangga: Jakarta.
- [6] Pitowarno, Endro. 2006. *"Robotika, Desain, Kontrol, dan Kecerdasan Buatan"*. Penerbit Andi: Yogyakarta.
- [7] Silveira, PE. *"Speed Control of an Autonomous Mobile Robot - Comparison between a PID Control and a Control Using Fuzzy Logic"*. 2006. Internet.
- [8] Thongchai, Siripun. Kawamura, Kazuhiko. *IEEE: "Application of Fuzzy Control to a Sonar-Based Obstacle Avoidance Mobile Robot"*. 2000. Alaska.



Junaidi Santoso (L2F 002 590) dilahirkan di Semarang, 11 Januari 1984. Pada saat ini sedang menyelesaikan studi S1 di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik

UNDIP Semarang Konsentrasi Instrumentasi dan Kontrol.

E-mail : js_rushmaker@yahoo.com

Mengetahui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Iwan S, S.T., M.T.
NIP. 132 283 183
Tanggal

Trias A, S.T., M.T.
NIP. 132 283 185
Tanggal

