

Sistem Pengereman Otomatis Menggunakan Logika Fuzzy Berbasis Mikrokontroler

Automatic Braking System Using Fuzzy Logic Based on Microcontroller

Aris Munandar, Muhammad Aria

Universitas Komputer Indonesia

Jl. Dipati ukur No 112, Bandung

Email : arismuun@gmail.com

Abstrak

Dalam sistem pengereman secara otomatis ini digunakan pengontrolan logika *fuzzy* untuk menentukan besarnya nilai persentase rem yang akan dilakukan. Untuk masukan pada logika *fuzzy* itu sendiri berupa kecepatan mobil pada saat melaju dan jarak antara mobil dengan hambatan di depannya. Jumlah *rule* yang digunakan pada pengontrolan logika *fuzzy* berjumlah 28 *rule*. *Rule* tersebut berisi perbandingan antara kecepatan mobil pada saat melaju dan jarak antara mobil dengan hambatan di depan sehingga menghasilkan nilai persentase rem yang sesuai dengan kondisi mobil pada saat melaju. Perancangan sistem pengereman otomatis ini dibuat dalam bentuk *prototype* mobil dengan menggunakan mikrokontroler Atmega 32 sebagai pemroses. Dengan menggunakan logika *fuzzy* dengan 28 *rule*, sistem yang dibuat mampu melakukan pengereman pada saat mobil melaju dengan kecepatan rendah ataupun melaju dengan kecepatan tinggi dengan jarak berhenti sekitar 10cm sampai 5cm. Selain itu sistem yang dirancang tidak mempengaruhi mobil untuk dapat melewati daerah sempit seperti garasi, dengan jarak antara hambatan bagian kanan dan bagian kiri sekitar 2cm.

Kata Kunci : Logika *Fuzzy*, Pengereman Otomatis, Pengereman Kecepatan Tinggi, Pengereman Kecepatan Rendah.

Abstract

In the automatic braking system is used fuzzy logic control to determine the value of the percentage of the brakes to be done. For input on fuzzy logic itself in the form of speed when driving the car on the distance between the car and the obstacle in front of him. The number of rules used in the fuzzy logic control totaling 28. Rule contains a comparison between the speed of the car while driving and the distance between the obstacle in front of the car so as to produce brake percentage value that corresponds to the condition of the car while driving. Automatic braking system design is made in the form of a prototype car using Atmega microcontroller 32 as a processor. By using fuzzy logic with 28 rule, systems are made to be able to do better braking when the car drove at low speed or driving at high speed with a stopping distance of about $\pm 10\text{cm}$ up to $\pm 5\text{cm}$. In addition, the system is designed not affect the car to be able to pass through a narrow area such as a garage, with the distance between the obstacle and the right part of the left side approximately $\pm 2\text{cm}$.

Keywords: *Fuzzy Logic, Automatic Braking System, High Speed Braking, Low Speed Braking.*

I. PENDAHULUAN

Kecelakaan lalu lintas adalah suatu peristiwa di jalan yang tidak disengaja, hal itu mengakibatkan korban manusia atau kerugian harta. Salah satu penyebab dari kecelakaan tersebut adalah kelalaian pengemudi pada saat mengendarai mobil, kemudian secara tiba-tiba ada obyek di depan sehingga pengemudi tidak sempat menginjak tuas rem dan mengendalikan laju mobil. Terlebih lagi mobil tersebut melaju dengan

kecepatan tinggi sehingga sulit untuk menghindar. Sebelumnya telah ada penelitian mengenai sistem pengereman secara otomatis, namun pada sistem tersebut hasil pengereman yang dilakukan masih terlalu kasar sehingga mengurangi kenyamanan pengendara. Selain itu mobil tidak bisa masuk ke dalam daerah sempit seperti garasi. Maka dari itu untuk menghasilkan pengereman yang halus perlu dilakukan penambahan *rule* pada logika *fuzzy* yang digunakan, dan juga agar mobil dapat masuk ke daerah sempit.

II. DASAR TEORI

A. Logika Fuzzy

Logika *fuzzy* adalah salah satu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input ke dalam suatu ruang output. logika *fuzzy* meniru cara berpikir manusia dengan menggunakan konsep sifat kesamaran suatu nilai.

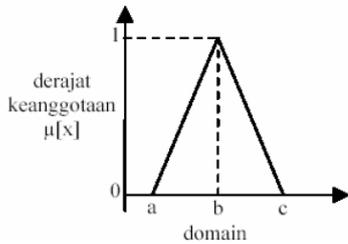
Tahapan membangun sistem *fuzzy* tergantung metoda yang digunakan, karena banyak metoda untuk membangun sistem *fuzzy*. Namun secara garis besar dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Fuzzyfikasi

Proses fuzzyfikasi yaitu mengubah nilai suatu masukan menjadi suatu fungsi keanggotaan *fuzzy*. Pada proses ini *membership function* ditentukan. *Membership function* adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik *input* data kedalam nilai keanggotaannya.

- Representasi kurva segitiga

Kurva segitiga pada dasarnya merupakan gabungan antara 2 garis linear seperti **Gambar 1**.



Gambar 1. Representasi Kurva Segitiga

Representasi kurva segitiga adalah sebagai berikut:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0 & ; x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & ; a \leq x \leq b \\ \frac{(c-x)}{(c-b)} & ; b \leq x \leq c \end{cases} \quad (1)$$

atau

$$\mu[x] = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\right), 0\right) \quad (2)$$

Dimana:

a = nilai domain terkecil yang mempunyai derajat keanggotaan nol

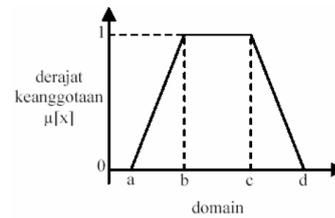
b = nilai domain yang mempunyai derajat keanggotaan satu

c = nilai domain terbesar yang mempunyai derajat keanggotaan nol

x = nilai *input* yang akan diubah ke dalam bilangan *Fuzzy*

- Representasi kurva trapesium

Kurva trapesium pada dasarnya seperti bentuk segitiga, hanya saja ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan 1 seperti **Gambar 2**.



Gambar 2. Representasi Kurva Trapesium

Representasi kurva trapesium adalah sebagai berikut:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0 & ; x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & ; a \leq x \leq b \\ 1 & ; b \leq x \leq c \\ \frac{(d-x)}{(d-c)} & ; c \leq x \leq d \end{cases} \quad (3)$$

Atau

$$\mu[x] = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c}\right), 0\right) \quad (4)$$

Dimana:

a = nilai domain terkecil yang mempunyai derajat keanggotaan nol

b = nilai domain terkecil yang mempunyai derajat keanggotaan satu

c = nilai domain terbesar yang mempunyai derajat keanggotaan satu

d = nilai domain terbesar yang mempunyai derajat keanggotaan nol

x = nilai *input* yang akan diubah ke dalam bilangan *fuzzy*

2. Fuzzy logic inference

Mengaplikasikan aturan (*Fuzzy Rule*) pada masukan *fuzzy* yang dihasilkan dalam proses fuzzyfikasi. Mengevaluasi tiap aturan dengan masukan yang dihasilkan dari proses fuzzyfikasi dengan mengevaluasi hubungan atau derajat keanggotaannya. Pada bagian ini dilakukan operasi *fuzzy* yaitu mengkombinasikan dan memodifikasi 2 atau lebih himpunan *fuzzy*. ada 3 operasi dasar yaitu:

- Operator AND

Operator ini berhubungan dengan operasi interseksi pada himpunan. Hasil operasi dengan menggunakan operator AND diperoleh dengan

mengambil nilai keanggotaan terkecil antara 2 himpunan yang bersangkutan.

$$\mu A \cap B = \min(\mu A[x], \mu B[x]) \quad (5)$$

• Operator OR

Operator ini berhubungan dengan operasi union pada himpunan. Hasil operasi dengan menggunakan operator OR diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terbesar antara 2 himpunan yang bersangkutan.

$$\mu A \cup B = \max(\mu A[x], \mu B[y]) \quad (6)$$

• Operator NOT

Operator ini berhubungan dengan operasi komplemen himpunan. Hasil operasi dengan menggunakan operator NOT diperoleh dengan mengurangi nilai keanggotaan elemen pada himpunan dengan 1.

$$\mu A' = 1 - \mu A[x] \quad (7)$$

3. Defuzzifikasi

Proses defuzzifikasi merupakan perubahan kembali data-data *fuzzy* kembali ke dalam bentuk numerik yang dapat dikirimkan ke peralatan pengendalian. Proses defuzzifikasi dapat dilakukan dengan beberapa cara, diantaranya:

• *centroid of area*

$$Z_{COA} = \frac{\int z \mu A(z) dz}{\int \mu A(z) dz} \quad (8)$$

• *bisector of area*

$$\int_{\alpha}^{z^{BOA}} \mu A(z) dz = \int_{z^{BOA}}^{\beta} \mu A(z) dz \quad (9)$$

• *mean of maximum*

$$Z_{MOM} = \frac{\int z' z dz}{\int z' dz} \quad (10)$$

B. Mikrokontroler

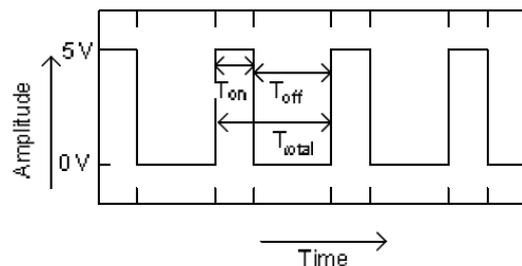
Mikrokontroler adalah sebuah *device* yang berfungsi sebagai pengontrol rangkaian elektronik dan umumnya dapat menyimpan program didalamnya. Mikrokontroler juga sudah terintegrasi dengan I/O Port, RAM, ROM, sehingga dapat digunakan untuk berbagai keperluan kontrol.

C. Sensor Jarak Ultrasonik SR-04

Sensor ultrasonik SR-04 adalah sensor yang bekerja berdasarkan prinsip pantulan gelombang suara dan digunakan untuk mendeteksi keberadaan suatu objek tertentu di depannya, frekuensi kerjanya pada daerah di atas gelombang suara dari 40 KHz hingga 400 KHz. Sensor ultrasonik terdiri dari dua unit, yaitu unit pemancar dan unit penerima.

D. Pulse Width Modulation (PWM)

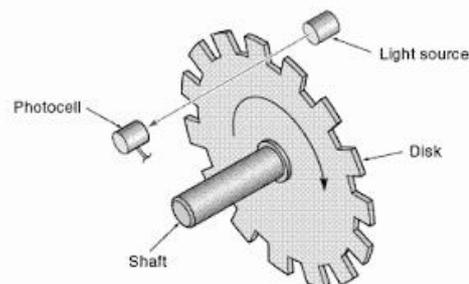
PWM merupakan sebuah metoda untuk membangkitkan sinyal keluaran yang periodenya berulang antara *high* atau *low* dimana kita dapat mengontrol durasi sinyal *high* atau *low* sesuai dengan yang kita inginkan. Pengaturan PWM merupakan salah satu teknik yang banyak digunakan dalam sistem kendali (*control system*) saat ini. Sinyal PWM dapat dilihat pada **Gambar 3**.



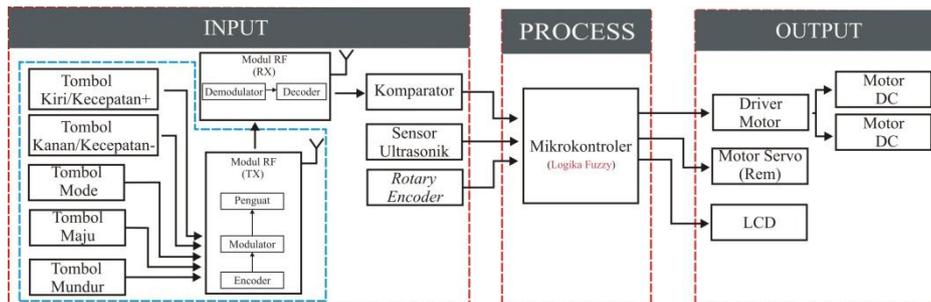
Gambar 3. Sinyal pwm

E. Rotary Encoder

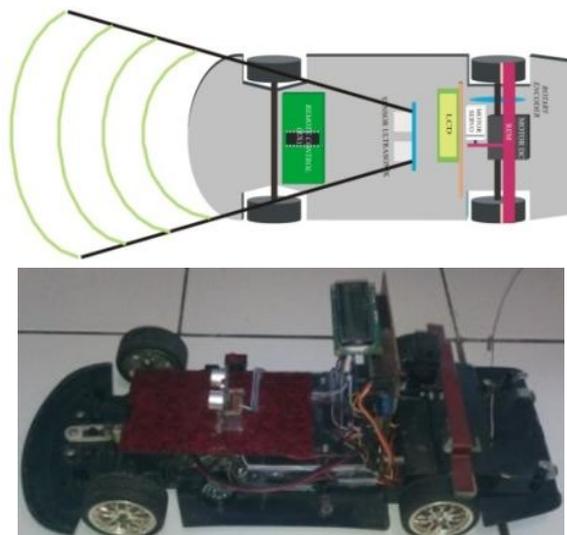
Rotary encoder adalah perangkat elektromekanik yang dapat memonitor gerakan dan posisi. *Rotary encoder* umumnya menggunakan sensor optik untuk menghasilkan serial pulsa yang dapat diartikan menjadi gerakan, posisi, dan arah. Sehingga posisi sudut suatu poros benda berputar dapat diolah menjadi informasi berupa kode digital oleh *rotary encoder* untuk diteruskan oleh rangkaian kendali seperti terlihat pada **Gambar 4**.



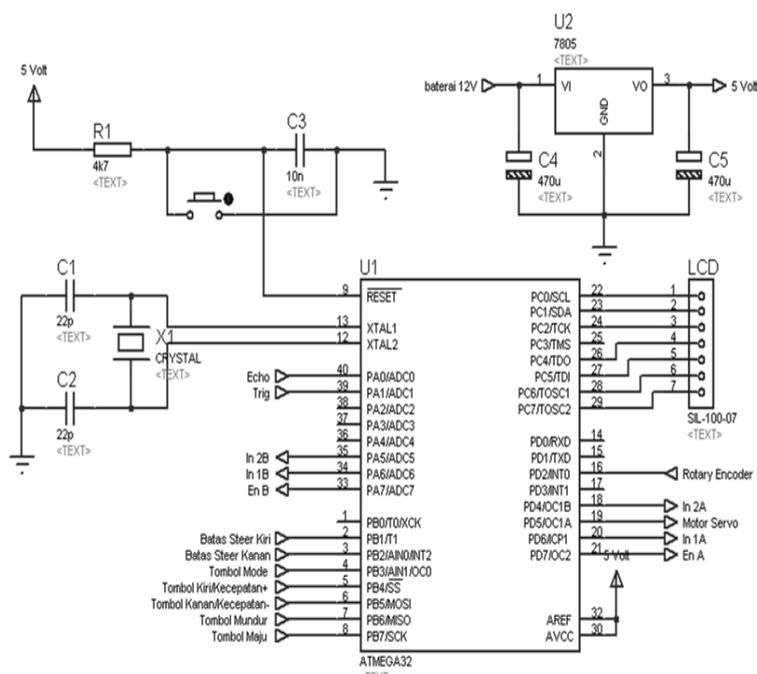
Gambar 4. Rotary Encoder



Gambar 5. Blok Diagram Sistem



Gambar 6. Prototype Mobil



Gambar 7. Sistem Minimum Atmega 32

Untuk mengetahui kecepatan putar dari pulsa yang dihasilkan oleh *rotary encoder* tersebut, maka dapat dituliskan dalam persamaan berikut:

$$V = \frac{f}{M} \times 2\pi r \tag{11}$$

dimana,

V = kecepatan benda (m/s)

r = jari-jari (m)

f = jumlah pulsa dalam 1 detik

M = jumlah lubang piringan *rotary encoder*

E. Komparator

Komparator adalah suatu penguat operasional (op-amp) dengan gain tinggi dan terhubung secara langsung. Fungsi komparator yaitu membandingkan tegangan referensi yang besarnya tetap dengan masukan tegangan yang berubah-ubah. Apabila tegangan referensi lebih besar dibandingkan dengan tegangan yang masuk maka komparator akan mengeluarkan logika *high*. Sedangkan apabila tegangan referensi lebih kecil dari tegangan masukan maka komparator akan mengeluarkan logika *low*.

III. PERANCANGAN SISTEM

Pada perancangan sistem pengereman secara otomatis ini secara umum terdiri dari tiga bagian utama, yaitu masukan (*input*), proses dan keluaran (*output*) Seperti terlihat pada **Gambar 5**.

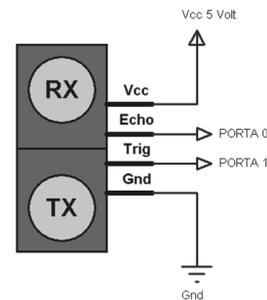
Pada blok diagram terdapat tiga bagian utama dari sistem, yaitu pertama masukan berupa data jarak dari sensor ultrasonic, kecepatan dari sensor *rotary encoder*, dan *remote control* untuk mengendalikan mobi;. Kedua proses berupa mikrokontroler yang akan memproses data masukan menggunakan logika *fuzzy*, Ketiga adalah keluaran berupa putaran motor DC maju atau mundur, belok kanan atau kiri, dan perubahan sudut motor servo sebagai penggerak tuas rem.

Dalam perancangan sistem pengereman otomatis ini akan dimodelkan pada mobil-mobilan *remote control*. Model mobil-mobilan yang dirancang memiliki 1 buah sensor ultrasonic sebagai pendeteksi jarak, 1 buah sensor *rotary encoder* sebagai pendeteksi kecepatan mobil pada saat melaju, 2 buah motor DC sebagai penggerak mobil dan pengatur *steer*, 1 buah motor servo sebagai pengereman mobil mobil, 1 buah *driver motor*, 1 buah LCD sebagai indikator, 1 buah penerima (RX) modul RF sebagai komunikasi

pengendalian mobil, dan 1 buah sistem minimum ATmega 32 sebagai pusat pengendalian mobil Seperti terlihat pada **Gambar 6**.

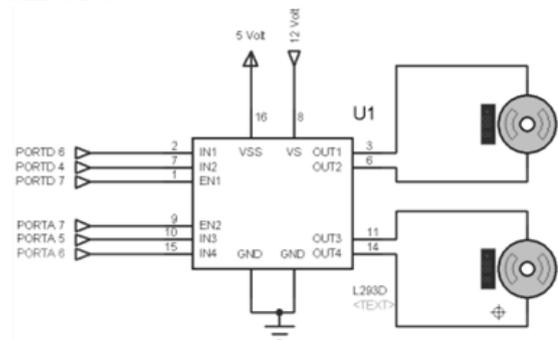
Untuk perancangan sistem kontrol meliputi pembuatan rangkaian-rangkaian elektronik yang saling terintegrasi membentuk sistem kendali dengan tujuan mengendalikan kerja sistem agar dapat bekerja sesuai dengan keinginan.

Sistem minimum ATmega 32 adalah rangkaian yang dikhususkan untuk mengoperasikan IC ATmega 32 seperti pada **Gambar 7**. Mikrokontroler inilah yang nantinya akan digunakan sebagai pusat pengendalian pengereman otomatis ini.



Gambar 8. Rangkaian Ultrasonik

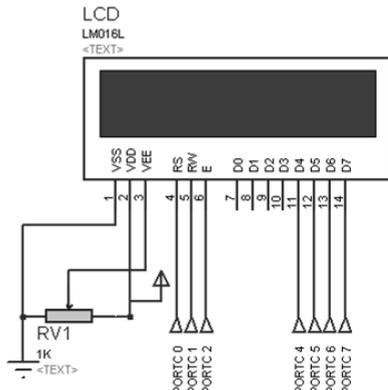
Rangkaian sensor ultrasonik ini, untuk *echo* terhubung dengan PORTA 0, dan untuk *triger* terhubung dengan PORTA 1 seperti pada **Gambar 8**.



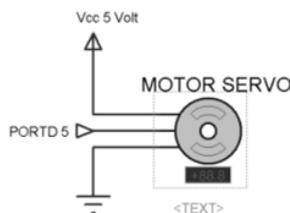
Gambar 9. Rangkaian Driver Motor

Driver motor ini mengendalikan 2 buah motor dc. Pertama motor dc untuk menggerakkan mobil agar melaju dan yang kedua untuk menggerakkan *steer* mobil seperti pada **Gambar 9**.

Dalam perancangan pengereman mobil otomatis pada penelitian ini, digunakan *Liquid Crystal Display* (LCD) dengan jumlah karakter 16x2. LCD digunakan sebagai indikator jarak, kecepatan, nilai PWM dan nilai keluaran rem hasil logika *fuzzy*. LCD terhubung ke PORT C mikrokontroler seperti pada **Gambar 10**.

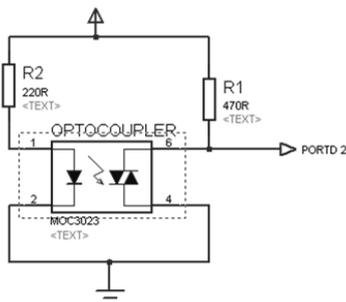


Gambar 10. Rangkaian LCD



Gambar 11. Rangkaian Motor Servo

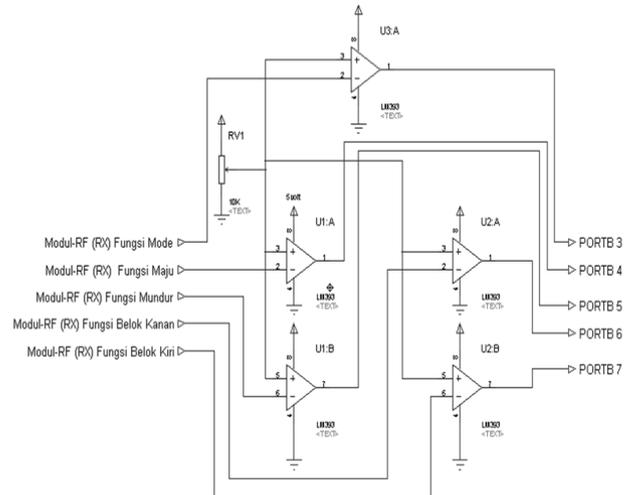
Motor servo terdiri dari 3 kabel, yang pertama dihubungkan ke tegangan positif 5V. Yang kedua dihubungkan ke PORTD 5 mikrokontroler. Dan yang ketiga dihubungkan ke *ground* seperti pada Gambar 11.



Gambar 12. Rangkaian Rotary Encoder

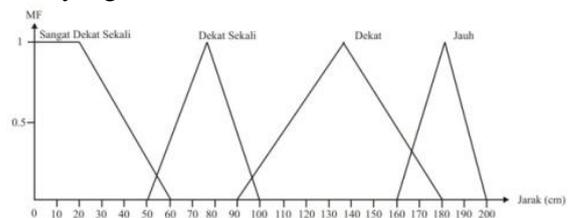
Rangkaian sensor *rotary encoder* ini terhubung ke PORTD 2 mikrokontroler seperti pada Gambar 12. Dalam perancangan pengereman mobil otomatis pada penelitian ini, digunakan rangkaian komparator untuk menentukan keluaran dari rangkaian *receiver* modul RF termasuk ke dalam logika *high* atau *low* seperti terlihat pada Gambar 13.

Perancangan perangkat lunak (*software*) bertujuan untuk menentukan setiap alur eksekusi dari perangkat sistem pengereman otomatis yang dirancang. Setiap masukan akan diterima dan diproses oleh perangkat lunak (*software*) yang nantinya akan menentukan keluaran (*output*) dari sistem. Pada Gambar 14 adalah alur kerja (*flowchart*) dari sistem yang dirancang.



Gambar 13. Rangkaian Komparator

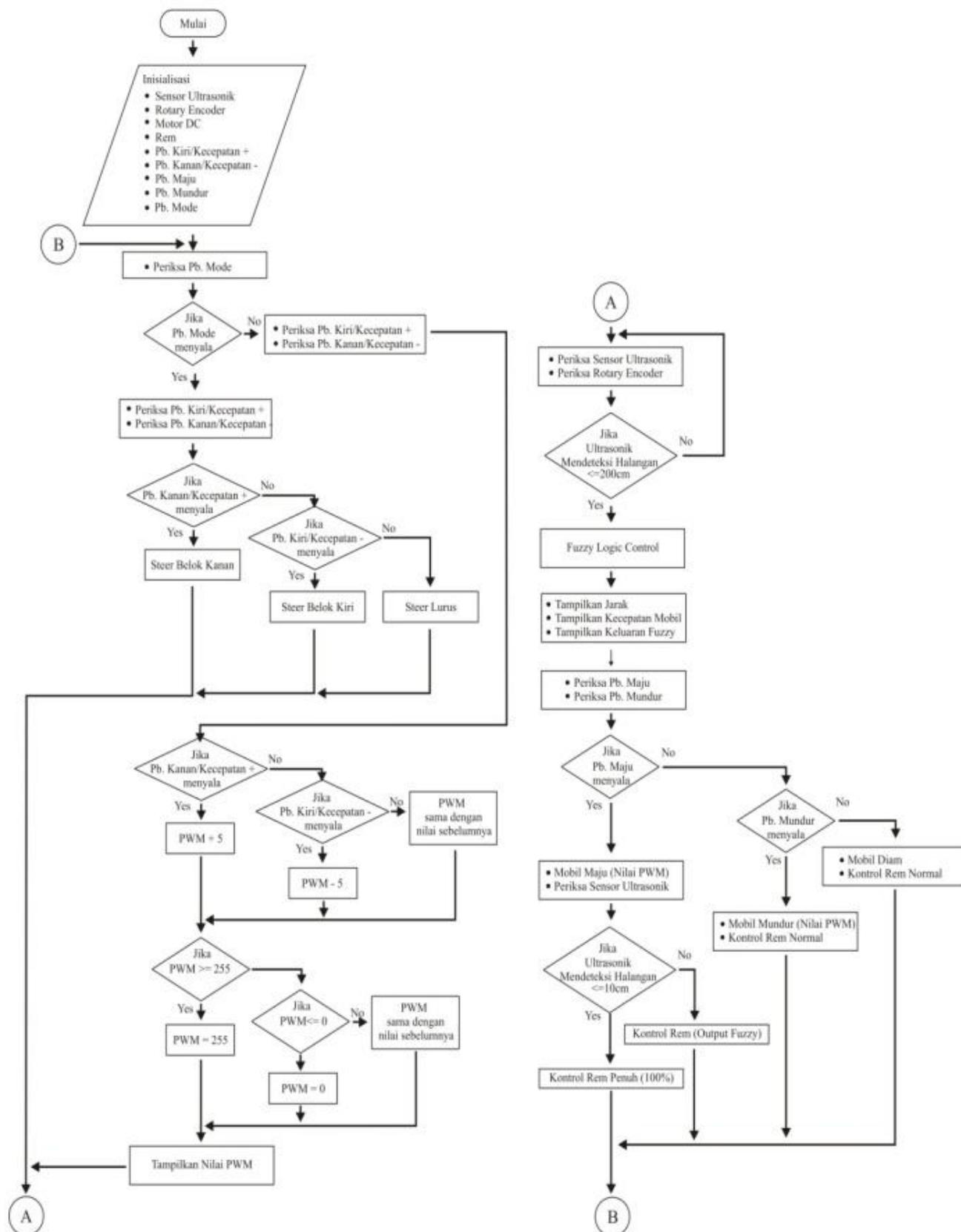
Kontrol logika *fuzzy* pada perancangan ini terdapat dua masukan, yaitu *v* untuk kecepatan dari mobil seperti pada Gambar 16 dan *s* untuk jarak dari mobil dengan hambatan seperti pada Gambar 15. Sedangkan untuk keluaran aturan pengontrolan rem ini hanya terdapat satu keluaran yaitu *o* sebagai rem pada mobil seperti pada Gambar 17. Setiap keluaran tersebut diproses dengan aturan yang berlaku pada pengereman mobil yang telah ditentukan.



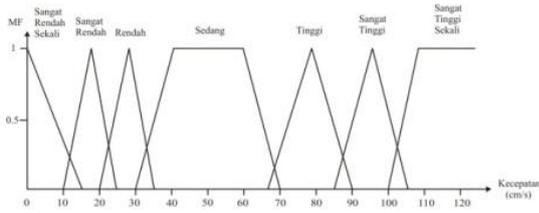
Gambar 15. Membership Function Jarak

Keterangan:

- Jarak sangat dekat sekali direpresentasikan dengan kurva trapesium dengan nilai domain diantara 0cm – 60cm.
- Jarak sangat dekat direpresentasikan dengan kurva segita dengan nilai domain diantara 50cm – 100cm.
- Jarak dekat direpresentasikan dengan kurva segitiga dengan nilai domain diantara 90cm - 180cm.
- Jarak jauh direpresentasikan dengan kurva segitiga dengan nilai domain diantara 160cm - 200cm.



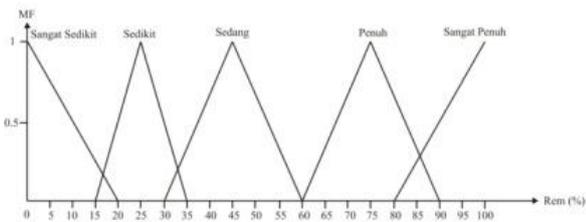
Gambar 14. Diagram Alur Sistem



Gambar 16. Membership Function Kecepatan

Keterangan:

- Kecepatan sangat rendah sekali direpresentasikan dengan kurva segitiga dengan nilai domain diantara 0cm/s – 15cm/s.
- Kecepatan sangat rendah direpresentasikan dengan kurva segitiga dengan nilai domain diantara 10cm/s – 25cm/s.
- Kecepatan rendah direpresentasikan dengan kurva segitiga dengan nilai domain diantara 20cm/s - 35cm/s.
- Kecepatan sedang direpresentasikan dengan kurva trapesium dengan nilai domain diantara 30cm/s- 70cm/s.
- Kecepatan tinggi direpresentasikan dengan kurva segitiga dengan nilai domain diantara 68cm/s - 90cm/s.
- Kecepatan sangat tinggi direpresentasikan dengan kurva segitiga dengan nilai domain diantara 85cm/s - 105cm/s.
- Kecepatan sangat tinggi sekali direpresentasikan dengan kurva segitiga dengan nilai domain diantara 100cm/s - 120cm/s.



Gambar 17. Membership Function Persentase Rem

Keterangan:

- Pengereman sangat sedikit direpresentasikan dengan kurva segitiga dengan nilai domain diantara 0% – 20%.
- Pengereman sedikit direpresentasikan dengan kurva segitiga dengan nilai domain diantara 15% – 35%.
- Pengereman sedang direpresentasikan dengan kurva segitiga dengan nilai domain diantara 30% - 60%.
- Pengereman penuh direpresentasikan dengan kurva segitiga dengan nilai domain diantara 58% - 88%.

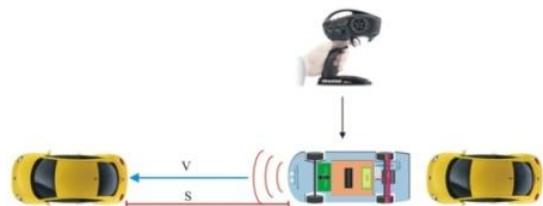
- Pengereman sangat penuh direpresentasikan dengan kurva segitiga dengan nilai domain diantara 80% - 100%.

Sedangkan untuk *rule Fuzzy* diperoleh dengan cara mengukur dan melakukan percobaan pada sistem pengereman otomatis ini. *Rule* pada sistem pengereman secara otomatis ini sebanyak 28 *rule* seperti ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Rule Fuzzy yang Digunakan

Kecepatan / Jarak	Sangat rendah sekali	Sangat rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat tinggi	Sangat tinggi sekali
Sangat dekat sekali	Rem sedikit	Rem sedikit	Rem sedang	Rem penuh	Rem sangat penuh	Rem sangat penuh	Rem sangat penuh
Sangat dekat	Rem sangat sedikit	Rem sedikit	Rem sedikit	Rem sedang	Rem penuh	Rem sangat penuh	Rem sangat penuh
Dekat	Rem sangat sedikit	Rem sangat sedikit	Rem sedikit	Rem sedikit	Rem sedang	Rem penuh	Rem sangat penuh
Jauh	Rem sangat sedikit	Rem sangat sedikit	Rem sangat sedikit	Rem sedikit	Rem sedang	Rem sedang	Rem penuh

Gambaran dari sistem yang telah dibuat yaitu *prototype* mobil dikendalikan oleh *remote control* dengan memberikan perintah maju, mundur, menambah kecepatan, mengurangi kecepatan, belok kanan maupun belok kiri. Pada saat mobil melaju dan secara tiba-tiba ada hambatan di depan mobil maka sensor ultrasonik akan mengidentifikasi jarak antara mobil dengan hambatan tersebut. Selain itu *rotary encoder* pun akan mengidentifikasi kecepatan mobil pada saat melaju. Jarak dan kecepatan ini lah yang akan diproses oleh mikrokontroler dengan menggunakan kontrol logika *fuzzy*, yang kemudian hasil dari perhitungan kontrol logika *fuzzy* tersebut berupa persentase rem. Persentase rem tersebut oleh mikrokontroler digunakan untuk memberi perintah pada motor servo (pengontrol rem) dan melakukan pengereman secara otomatis. Sistem ini pun dirancang agar pengereman otomatis dapat digunakan pada saat mobil melaju dengan kecepatan tinggi dengan jarak jauh dan jalanan lengang seperti pada **Gambar 19**, maupun kecepatan rendah dengan kondisi jalanan padat dan jarak dekat seperti pada **Gambar 18**.

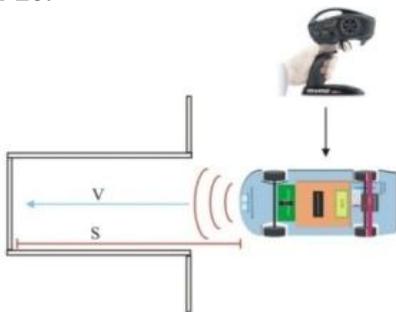


Gambar 18. Kondisi Pada Saat Pengereman Kecepatan Rendah



Gambar 19. Kondisi Pada Saat Pengereman Kecepatan Tinggi

Pada sistem ini pun dirancang agar mobil dapat masuk ke dalam daerah sempit seperti garasi yang memiliki lebar jalan hampir sama ukurannya dengan *prototype* mobil tersebut seperti pada **Gambar 20**.



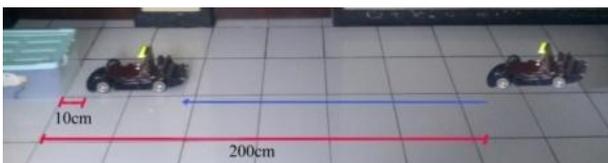
Gambar 20 Kondisi Pada Saat Masuk Daerah Sempit

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian pengereman *prototype* mobil pada saat kecepatan tinggi, pengujian pengereman *prototype* mobil pada saat kecepatan rendah, pengujian *prototype* mobil pada saat masuk ke dalam daerah sempit, dan pengujian karakteristik *membership function* pada logika *fuzzy* yang digunakan.

A. Pengujian Pengereman Pada Saat Kecepatan Tinggi

Pengujian dilakukan dengan cara menentukan kecepatan *prototype* mobil dalam kecepatan tinggi dan menempatkan hambatan di depan mobil dengan jarak lebih dari 200cm. 200cm adalah nilai maksimum dari *membership function* jarak pada logika *fuzzy* seperti pada **Gambar 21**.



Gambar 21. Pengujian Pengereman *Prototype* Mobil Pada Kecepatan Tinggi

Dari **Tabel 2**, **Tabel 3**, dan **Tabel 4** dapat dilihat bahwa ketika *prototype* mobil melaju dengan kecepatan tinggi dan hambatan berjarak dari 200 cm hingga 100 cm, secara keseluruhan *prototype* mobil berhasil melakukan pengereman dengan rata-rata keberhasilan mencapai 100% sehingga berhenti melaju dengan jarak antara *prototype* mobil dengan hambatan berkisar antara 8cm – 5cm. Untuk nilai persentase perlambatan pada kecepatan 120 cm/s yaitu bernilai 99,47%, nilai perlambatan ini adalah yang terbaik bila dibandingkan dengan nilai persentase perlambatan pada kecepatan 100 cm/s dengan nilai 98,24% dan pada kecepatan 80 cm/s dengan nilai 97,41%. Jarak berhenti *prototype* mobil ini dipengaruhi oleh respon pergerakan motor servo sebagai penggerak tuas rem terhadap kecepatan mobil pada saat melaju dengan kecepatan tinggi. Untuk nilai perlambatan ketika kondisi jarak pada saat melakukan pengereman hingga mobil berhenti sama namun kecepatan awalnya berbeda menunjukkan bahwa semakin cepat mobil itu melaju maka semakin besar pula perlambatan yang dilakukan, namun dalam segi malah berbanding terbalik. Dimana ketika kondisi jarak pada saat melakukan pengereman hingga mobil berhenti sama namun kecepatan awalnya berbeda maka semakin tinggi kecepatan awal mobil tersebut semakin cepat waktu yang dilakukan untuk melakukan pengereman sampai mobil tersebut berhenti. Sebaliknya semakin lambat kecepatan awal mobil tersebut maka semakin lama pula waktu yang dilakukan untuk melakukan pengereman sampai mobil tersebut berhenti.

B. Pengujian Pengereman Pada Saat Kecepatan Rendah

Pada proses ini akan dilakukan pengujian pengereman pada saat mobil melaju dengan kecepatan rendah. Pengereman kecepatan rendah diasumsikan pada saat mobil melaju dengan kecepatan rendah ketika kondisi jalanan padat ataupun ketika jalanan macet. Pada kondisi ini jarak antara mobil dengan kendaraan lain lebih dekat berbeda dengan ketika jalanan lengang. Sehingga pengereman harus dilakukan dengan cepat sebelum mobil menabrak kendaraan lain seperti pada **Gambar 22**.

Tabel 2 Hasil Pengujian *Prototype* Mobil Pada Kecepatan 80cm/s

No	Kecepatan <i>Prototype</i> Mobil	Jarak Hambatan	Jarak Berhenti	Waktu Yang Ditempuh	Rem Berhasil		Perlambatan Hasil Pengujian	Perlambatan Ideal Hasil Perhitungan
					Y	T		
1	80 cm/s	100 cm	5 cm	2.55 s	√		-31.37 cm/s ²	-32 cm/s ²
2		110 cm	5.5 cm	2.74 s	√		-29.19 cm/s ²	-29.09 cm/s ²
3		120 cm	5 cm	3.02 s	√		-25.16 cm/s ²	-26.67 cm/s ²
4		130 cm	6 cm	3.18 s	√		-22.53 cm/s ²	-24.61 cm/s ²
5		140 cm	5 cm	3.55 s	√		-21.27 cm/s ²	-22.86 cm/s ²
6		150 cm	7 cm	3.76 s	√		-21.3 cm/s ²	-21.33 cm/s ²
7		160 cm	7 cm	4.08 s	√		-19.6 cm/s ²	-20 cm/s ²
8		170 cm	8 cm	4.29 s	√		-18.64 cm/s ²	-18.82 cm/s ²
9		180 cm	6 cm	4.58 s	√		-17.46 cm/s ²	-17.77 cm/s ²
10		190 cm	6 cm	4.72 s	√		-16.95 cm/s ²	-16.84 cm/s ²
11		200 cm	5 cm	4.95 s	√		-16.16 cm/s ²	-16 cm/s ²
Total					11	0	-239.63 cm/s ²	-245.99 cm/s ²
Rata-rata				$\frac{11}{11} \times 100\% = 100\%$		$\frac{(-239.63)}{(-245.99)} \times 100\% = 97.41\%$		

Tabel 3 Hasil Pengujian *Prototype* Mobil Pada Kecepatan 100cm/s

No	Kecepatan <i>Prototype</i> Mobil	Jarak Hambatan	Jarak Berhenti	Waktu Yang Ditempuh	Rem Berhasil		Perlambatan Hasil Pengujian	Perlambatan Ideal Hasil Perhitungan
					Y	T		
1	100 cm/s	100 cm	6 cm	2.03 s	√		-49.26 cm/s ²	-50 cm/s ²
2		110 cm	5 cm	2.21 s	√		-45.25 cm/s ²	-45.45 cm/s ²
3		120 cm	8 cm	2.33 s	√		-42.91 cm/s ²	-41.67 cm/s ²
4		130 cm	7.5 cm	2.57 s	√		-38.91 cm/s ²	-38.46 cm/s ²
5		140 cm	7.5 cm	2.82 s	√		-35.46 cm/s ²	-31.37 cm/s ²
6		150 cm	6 cm	2.96 s	√		-33.78 cm/s ²	-33.33 cm/s ²
7		160 cm	6.5 cm	3.08 s	√		-32.46 cm/s ²	-31.25 cm/s ²
8		170 cm	6 cm	3.34 s	√		-29.94 cm/s ²	-29.41 cm/s ²
9		180 cm	7 cm	3.58 s	√		-27.93 cm/s ²	-27.77 cm/s ²
10		190 cm	6 cm	3.82 s	√		-26.17 cm/s ²	-26.31 cm/s ²
11		200 cm	6 cm	4.04 s	√		-24.75 cm/s ²	-25 cm/s ²
Total					11	0	-386.82 cm/s ²	-380.02 cm/s ²
Rata-rata				$\frac{11}{11} \times 100\% = 100\%$		$\frac{(-380.02)}{(-386.82)} \times 100\% = 98.24\%$		

Tabel 4 Hasil Pengujian *Prototype* Mobil Pada Kecepatan 120cm/s

No	Kecepatan <i>Prototype</i> Mobil	Jarak Hambatan	Jarak Berhenti	Waktu Yang Ditempuh	Rem Berhasil		Perlambatan Hasil Pengujian	Perlambatan Ideal Hasil Perhitungan
					Y	T		
1	120 cm/s	100 cm	5 cm	1.74 s	√		-68.96 cm/s ²	-72 cm/s ²
2		110 cm	8 cm	1.83 s	√		-65.57 cm/s ²	-65.45 cm/s ²
3		120 cm	7 cm	1.97 s	√		-60.91 cm/s ²	-60 cm/s ²
4		130 cm	6 cm	2.17 s	√		-55.30 cm/s ²	-55.38 cm/s ²
5		140 cm	7.5 cm	2.33 s	√		-51.50 cm/s ²	-51.42 cm/s ²
6		150 cm	5.5 cm	2.52 s	√		-47.61 cm/s ²	-48 cm/s ²
7		160 cm	7.5 cm	2.71 s	√		-44.28 cm/s ²	-45 cm/s ²
8		170 cm	5 cm	2.84 s	√		-42.25 cm/s ²	-42.35 cm/s ²
9		180 cm	8 cm	2.98 s	√		-40.26 cm/s ²	-40 cm/s ²
10		190 cm	5 cm	3.16 s	√		-37.97 cm/s ²	-37.89 cm/s ²
11		200 cm	5 cm	3.34 s	√		-35.93 cm/s ²	-36 cm/s ²
Total					11	0	-550.54 cm/s ²	-553.49 cm/s ²
Rata-rata				$\frac{11}{11} \times 100\% = 100\%$		$\frac{(-550.54)}{(-553.49)} \times 100\% = 99.47\%$		

Tabel 5 Hasil Pengujian *Prototype* Mobil Pada Kecepatan 20.4cm/s

No	Kecepatan <i>Prototype</i> Mobil	Jarak Hambatan	Jarak Berhenti	Waktu Yang Ditempuh	Rem Berhasil		Perlambatan Hasil Pengujian	Perlambatan Ideal Hasil Perhitungan
					Y	T		
1	20.4 cm/s	20 cm	10 cm	1.71 s	√		-7.81 cm/s ²	-6.94 cm/s ²
2		30 cm	10 cm	2.61 s	√		-11.92 cm/s ²	-10.40 cm/s ²
3		40 cm	7 cm	3.26 s	√		-6.25 cm/s ²	-5.20 cm/s ²
4		50 cm	6 cm	3.43 s	√		-5.94 cm/s ²	-4.16 cm/s ²
5		60 cm	6 cm	3.75 s	√		-5.44 cm/s ²	-3.47 cm/s ²
6		70 cm	7 cm	3.99 s	√		-5.11 m/s ²	-2.97 cm/s ²
7		80 cm	6 cm	4.73 s	√		-4.31 cm/s ²	-2.60 cm/s ²
8		90 cm	7 cm	4.94 s	√		-4.13 cm/s ²	-2.31 cm/s ²
9		100 cm	7 cm	6.83 s	√		-2.98 cm/s ²	-2.09 cm/s ²
Total					9	0	-53.89 cm/s ²	-40.14 cm/s ²
Rata-rata					$\frac{9}{9} \times 100\% = 100\%$		$\frac{(-40.14)}{(-53.89)} \times 100\% = 74.48\%$	

Tabel 6 Hasil Pengujian *Prototype* Mobil Pada Kecepatan 40.8cm/s

No	Kecepatan <i>Prototype</i> Mobil	Jarak Hambatan	Jarak Berhenti	Waktu Yang Ditempuh	Rem Berhasil		Perlambatan Hasil Pengujian	Perlambatan Ideal Hasil Perhitungan
					Y	T		
1	40.8 cm/s	20 cm	9 cm	93 ms	√		-43.87 cm/s ²	-41.61 cm/s ²
2		30 cm	7 cm	1.22 s	√		-33.44 cm/s ²	-27.74 cm/s ²
3		40 cm	7 cm	1.66 s	√		-24.58 cm/s ²	-20.81 cm/s ²
4		50 cm	6 cm	2.32 s	√		-21.25 cm/s ²	-16.65 cm/s ²
5		60 cm	6.5 cm	1.92 s	√		-17.58 cm/s ²	-13.87 cm/s ²
6		70 cm	6 cm	2.78 s	√		-14.67 cm/s ²	-11.90 cm/s ²
7		80 cm	6 cm	2.91 s	√		-14.02 cm/s ²	-10.40 cm/s ²
8		90 cm	6 cm	3.30 s	√		-12.36 cm/s ²	-9.25 cm/s ²
9		100 cm	5 cm	3.72 s	√		-10.96 cm/s ²	-8.33 cm/s ²
Total					9	0	-192.73 cm/s ²	-160.56 cm/s ²
Rata-rata					$\frac{9}{9} \times 100\% = 100\%$		$\frac{(-160.56)}{(-192.73)} \times 100\% = 83.31\%$	

Tabel 7 Hasil Pengujian *Prototype* Mobil Pada Kecepatan 61.2cm/s

No	Kecepatan <i>Prototype</i> Mobil	Jarak Hambatan	Jarak Berhenti	Waktu Yang Ditempuh	Rem Berhasil		Perlambatan Hasil Pengujian	Perlambatan Ideal Hasil Perhitungan
					Y	T		
1	61.2 cm/s	20 cm	8 cm	61 ms	√		-100.3 cm/s ²	-93.63 cm/s ²
2		30 cm	7 cm	1.11 s	√		-55.13 cm/s ²	-62.42 cm/s ²
3		40 cm	5 cm	1.44 s	√		-42.5 cm/s ²	-46.81 cm/s ²
4		50 cm	5 cm	1.71 s	√		-35.78 cm/s ²	-37.45 cm/s ²
5		60 cm	4 cm	2.11 s	√		-29.01 cm/s ²	-31.21 cm/s ²
6		70 cm	5.5 cm	2.26 s	√		-27.07 cm/s ²	-26.75 cm/s ²
7		80 cm	6 cm	2.85 s	√		-21.47 cm/s ²	-23.41 cm/s ²
8		90 cm	6.5 cm	3.09 s	√		-19.81 cm/s ²	-20.81 cm/s ²
9		100 cm	4 cm	3.22 s	√		-19.01 cm/s ²	-18.73 cm/s ²
Total					9	0	-350.08 cm/s ²	-361.22 cm/s ²
Rata-rata					$\frac{9}{9} \times 100\% = 100\%$		$\frac{(-350.08)}{(-361.22)} \times 100\% = 96.91\%$	



Gambar 22. Pengujian Pengereman *Prototype* Mobil Pada Kecepatan Rendah

Dari **Tabel 5**, **Tabel 6**, dan **Tabel 7** dapat dilihat bahwa ketika *prototype* mobil melaju dengan kecepatan rendah dan jarak hambatan cukup dekat maka *prototype* mobil mampu melakukan pengereman sehingga mobil tersebut berhenti melaju dengan tingkat keberhasilan mencapai 100 dan berhenti dengan jarak ±10cm sampai dengan 4cm . Perbandingan nilai

persentase perlambatan dari ketiga tabel tersebut, hasil pengujian pada kecepatan 61,2 cm/s menunjukkan nilai persentase perlambatan yang lebih baik jika dibandingkan dengan pengujian lainnya yaitu dengan nilai 96,91%. Untuk perbedaan jarak berhenti *prototype* mobil dipengaruhi oleh respon tanggap motor servo terhadap setiap perubahann nilai keluaran logika *fuzzy* sebagai penggerak tuas rem sehingga perbedaan waktu sangat berpengaruh terhadap jarak berhenti *prototype* mobil, sama seperti pada saat *prototype* melaju dengan kecepatan tinggi. Secara keseluruhan mobil berhasil melakukan pengereman dan berhenti pada jarak antara 10cm – 4cm dari hambatan.

Untuk nilai perlambatan hasilnya kurang lebih sama dengan pengereman pada saat mobil melaju dengan kecepatan tinggi yaitu dimana kondisi jarak pada saat melakukan pengereman hingga mobil berhenti sama namun kecepatan awalnya berbeda menunjukkan bahwa semakin cepat mobil itu melaju maka semakin besar pula perlambatan yang dilakukan, namun dalam segi malah berbanding terbalik. Dimana ketika kondisi jarak pada saat melakukan pengereman hingga mobil berhenti sama namun kecepatan awalnya berbeda maka semakin tinggi kecepatan awal mobil tersebut semakin waktu yang dilakukan untuk melakukan pengereman sampai mobil tersebut berhenti. Sebaliknya semakin lambat kecepatan awal mobil tersebut maka semakin lama pula waktu yang dilakukan untuk melakukan pengereman sampai mobil tersebut berhenti.

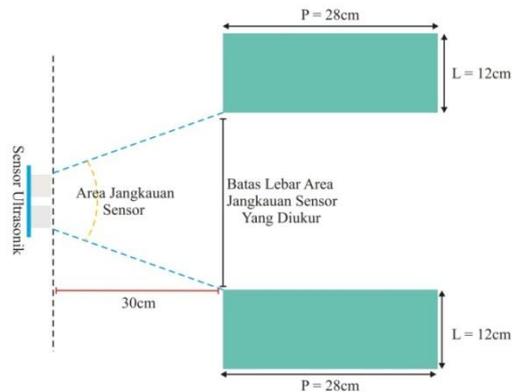
C. Pengujian Pengereman Pada Saat Masuk Daerah Sempit

Pada proses masuk ke dalam daerah sempit ini sangat dipengaruhi oleh penempatan posisi sensor jarak, karena ini berpengaruh terhadap besarnya area jangkauan benda yang dapat dideteksi oleh sensor tersebut.

Pengujian pertama yaitu pengujian jangkauan sensor jarak ultrasonik dilakukan dengan cara menentukan jarak hambatan dengan *prototype* mobil mulai dari 10cm hingga 100cm, dimensi dari hambatan yang digunakan adalah dengan panjang 43cm dan lebar 26cm. Kemudian pada setiap jarak tersebut diukur lebar batas jangkauan dari sensor ultrasonik seperti pad Gambar 23.

Pada **Tabel 8** dapat dilihat bahwa dari jarak 10cm sampai 130cm, lebar batas jangkauan sensor untuk mendeteksi hambatan adalah hampir berbanding lurus. Dimana pada jarak 10cm lebar dari batas jangkauan sensor adalah 10cm, dan

pada jarak 130cm lebar dari batas jangkauan sensor adalah 128cm. Padahal dimensi dari hambatan yang digunakan adalah dengan lebar 12cm dan panjang 28cm, seharusnya pada jarak 10cm panjang dari hambatan masih berada pada jangkauan sensor namun sensor mendeteksi hambatan bagian terluar sehingga dapat dikatakan bahwa hambatan dengan posisi horizontal tidak terdeteksi oleh sensor ultrasonik.



Gambar 23. Pengujian Area Jangkauan Sensor Jarak

Tabel 8 Hasil Pengujian Area Jangkauan Sensor Jarak

No.	Jarak Hambatan	Lebar Hambatan Yang Terdeteksi
1	10 cm	10 cm
2	20 cm	23 cm
3	30 cm	34 cm
4	40 cm	42 cm
5	50 cm	50 cm
6	60 cm	61 cm
7	70 cm	68 cm
8	80 cm	81 cm
9	90 cm	92 cm
10	100 cm	98 cm

Pengujian kedua yaitu pengujian *prototype* mobil masuk daerah sempit dengan posisi sejajar dilakukan dengan cara menentukan kecepatan *prototype* mobil dalam kecepatan rendah dan menempatkan hambatan di depan mobil dengan jarak 50cm dan kedalaman dari hambatan tersebut adalah 30cm. Untuk lebar jalan sendiri ditempatkan mulai dari 17cm sampai dengan 27cm. Apabila lebar jalan yang akan dilalui berada pada jangkauan sensor maka *prototype* mobil akan melakukan pengereman pada hambatan bagian luar yang berjarak 50cm dari

prototype mobil, selanjutnya apabila lebar jalan yang akan dilalui tidak berada pada jangkauan sensor maka prototype mobil akan masuk ke dalam daerah sempit dan baru akan melakukan pengereman pada hambatan bagian dalam yang berjarak 80cm dari prototype mobil seperti pada Gambar 24.



Gambar 24. Titik Awal Prototype Mobil Masuk Daerah Sempit Dengan Posisi sejajar

Dari Tabel 9 dapat dilihat bahwa prototype mobil dapat masuk ke dalam daerah sempit dengan lebar lebih dari 24cm, namun lebar jalan yang kurang dari 24 cm tidak bisa masuk karena melakukan pengereman sebelum masuk ke dalam jalan sempit yang disebabkan hambatan berada pada area jangkauan sensor jarak.

Pengujian ketiga hampir sama dengan percobaan kedua Namun untuk lebar jalan ditentukan dengan jarak 25cm. Selanjutnya prototype mobil diposisikan dalam 3 kondisi yaitu lebih condong ke hambatan sebelah kanan, antara hambatan sebelah kanan dan hambatan sebelah kiri seimbang, dan lebih condong ke hambatan sebelah kiri Seperti terlihat pada Gambar 4.14 yaitu pada saat prototype mobil akan masuk ke daerah sempit posisi prototype mobil adalah lebih condong ke hambatan sebelah kiri dengan jarak 0cm, sedangkan dengan hambatan sebelah kanan berjarak 5cm seperti pada Gambar 25.

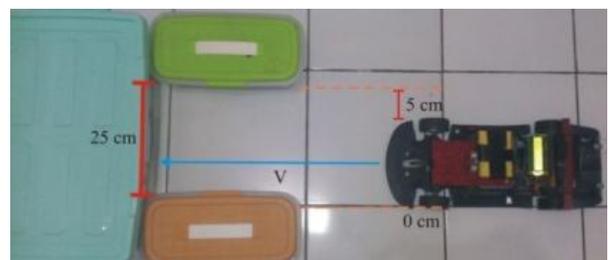
Pada Tabel 10 dapat dilihat bahwa dari tiga puluh tujuh kali percobaan prototype mobil dapat masuk ke dalam daerah sempit dengan jarak antara prototype mobil dan hambatan bagian sebelah kanan atau hambatan bagian sebelah kiri minimum berjarak 2cm, namun jarak antara prototype mobil dengan hambatan bagian sebelah kanan atau sebelah kiri yang kurang dari 2cm tidak bisa masuk karena melakukan pengereman sebelum masuk ke dalam jalan sempit yang disebabkan hambatan berada pada area jangkauan sensor jarak.

Pengujian keempat adalah pengujian prototype mobil masuk daerah sempit dengan posisi tidak sejajar dengan cara menempatkan prototype mobil dengan posisi horizontal, sedangkan posisi untuk

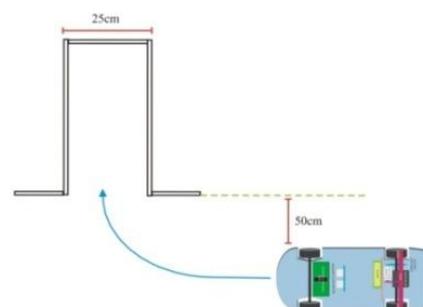
daerah sempit dengan lebar 25cm yang akan dilalui adalah vertikal dengan jarak 50cm dengan prototype mobil seperti pada Gambar 26.

Tabel 9 Hasil Pengujian Pertama Prototype Mobil Masuk Daerah Sempit Dengan Posisi Sejajar

No.	Kecepatan Prototype Mobil	Jarak Hambatan Bagian Luar	Jarak Hambatan Bagian Dalam	Lebar Jalan	Berhasil Masuk	
					Y	T
1	20,4 cm/s	50 cm	80 cm	17 cm		✓
2				18 cm		✓
3				19 cm		✓
4				20 cm		✓
5				21 cm		✓
6				22 cm		✓
7				23 cm		✓
8				24 cm		✓
9				25 cm		✓
10				26 cm		✓
11				27 cm		✓
12	40.8 cm/s	50 cm	80 cm	17 cm		✓
13				18 cm		✓
14				19 cm		✓
15				20 cm		✓
16				21 cm		✓
17				22 cm		✓
18				23 cm		✓
19				24 cm		✓
20				25 cm		✓
21				26 cm		✓
22				27 cm		✓
23	61.2 cm/s	50 cm	80 cm	17 cm		✓
24				18 cm		✓
25				19 cm		✓
26				20 cm		✓
27				21 cm		✓
28				22 cm		✓
29				23 cm		✓
30				24 cm		✓
31				25 cm		✓
32				26 cm		✓
33				27 cm		✓



Gambar 25. Prototype Mobil Masuk Daerah Sempit Dengan Posisi Lebih Condong Ke Hambatan Sebelah Kiri



Gambar 26. Gambaran Mobil Masuk Daerah Sempit Dengan Posisi Tidak Sejajar

Tabel 10 Hasil Pengujian *Prototype* Mobil Masuk Daerah Sempit Dengan Posisi Sejajar

No.	Kecepatan <i>Prototype</i> Mobil	Jarak Hambatan Bagian Luar	Jarak Hambatan Bagian Dalam	Jarak Hambatan Bagian Kanan	Jarak Hambatan Bagian Kiri	Lebar Jalan	Berhasil Masuk	
							Y	T
1	20,4 cm/s	50 cm	80 cm	0 cm	4 cm	24 cm		✓
2				1 cm	3 cm			✓
3				2 cm	2 cm		✓	
4				3 cm	1 cm			✓
5				4 cm	0 cm			✓
12	20,4 cm/s	50 cm	80 cm	0 cm	5 cm	25 cm		✓
13				1 cm	4 cm			✓
14				2 cm	3 cm		✓	
15				3 cm	2 cm		✓	
16				4 cm	1 cm			✓
17	5 cm	0 cm		✓				
23	20,4 cm/s	50 cm	80 cm	0 cm	6 cm	26 cm		✓
24				1 cm	5 cm			✓
25				2 cm	4 cm		✓	
26				3 cm	3 cm		✓	
27				4 cm	2 cm		✓	
28	5 cm	1 cm		✓				
29	6 cm	0 cm		✓				
30	20,4 cm/s	50 cm	80 cm	0 cm	7 cm	27 cm		✓
31				1 cm	6 cm			✓
32				2 cm	5 cm		✓	
33				3 cm	4 cm		✓	
34				4 cm	3 cm		✓	
35	5 cm	2 cm	✓					
36	6 cm	1 cm		✓				
37	7 cm	0 cm		✓				

Tabel 11 Hasil Pengujian *Prototype* Mobil Masuk Daerah Sempit Dengan Posisi Tidak Sejajar

No.	Kecepatan <i>Prototype</i> Mobil	Lebar Jalan	Jarak Mobil Dengan Hambatan	Banyak Manuver Yang Dilakukan	Berhasil Masuk	
					Y	T
1	20,4 cm/s	25 cm	10 cm	5 x	✓	
2			20 cm	7 x	✓	
3			30 cm	3 x	✓	
4			40 cm	5 x	✓	
5			50 cm	3 x	✓	
6			60 cm	3 x	✓	
7	20,4 cm/s	27cm	10 cm	5 x	✓	
8			20 cm	3 x	✓	
9			30 cm	7 x	✓	
10			40 cm	3 x	✓	
11	50 cm	3 x	✓			
12	60 cm	3 x	✓			
13	20,4 cm/s	29 cm	10 cm	5 x	✓	
14			20 cm	3 x	✓	
15			30 cm	3 x	✓	
16			40 cm	3 x	✓	
17	50 cm	1 x	✓			
18	60 cm	1 x	✓			
20	20,4 cm/s	31 cm	10 cm	3 x	✓	
21			20 cm	3 x	✓	
22			30 cm	3 x	✓	
23			40 cm	1 x	✓	
24	50 cm	1 x	✓			
25	60 cm	1 x	✓			

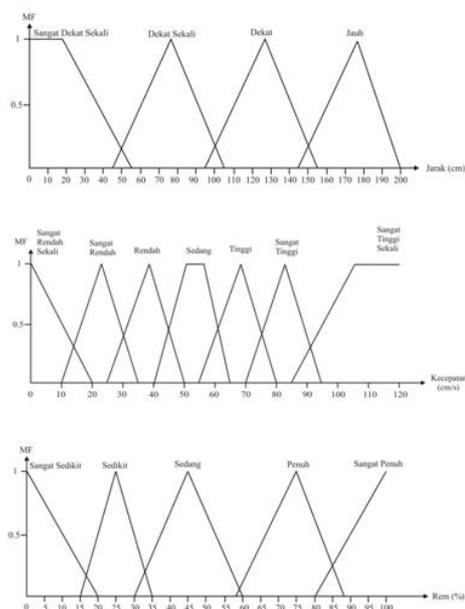
Dari **Tabel 11** dapat dilihat bahwa dari 25 kali percobaan rata-rata *prototype* mobil dapat masuk ke dalam daerah sempit dari posisi tidak sejajar dengan melakukan 3 kali manuver.

D. Pengujian Karakteristik *Membership Function*

Pengujian dilakukan dengan cara memodifikasi *membership function* yang digunakan pada perancangan, dimana *membership function* tersebut dirubah nilai *range* pada setiap kondisinya. Ada dua perubahan, yaitu yang pertama adalah *membership function* dengan nilai *range* pada setiap kondisinya kurang lebih seimbang dengan jarak beraturan cukup lebar satu sama lain seperti pada **Gambar 27**.

Yang kedua adalah *membership function* dengan nilai *range* pada setiap kondisinya kurang lebih seimbang dan beraturan namun dengan jarak lebih sempit dibanding *membership function* modifikasi pertama seperti pada **Gambar 28**.

Dari kedua *membership function* tersebut dilakukan pengujian untuk mendapatkan nilai perlambatan yang selanjutnya dibandingkan dengan perlambatan yang menggunakan *membership function* pada perancangan.



Gambar 27. *Membership Function* Modifikasi Pertama

Tabel 12 Hasil Pengujian *Membership Function* Pada Kecepatan 80 cm/s

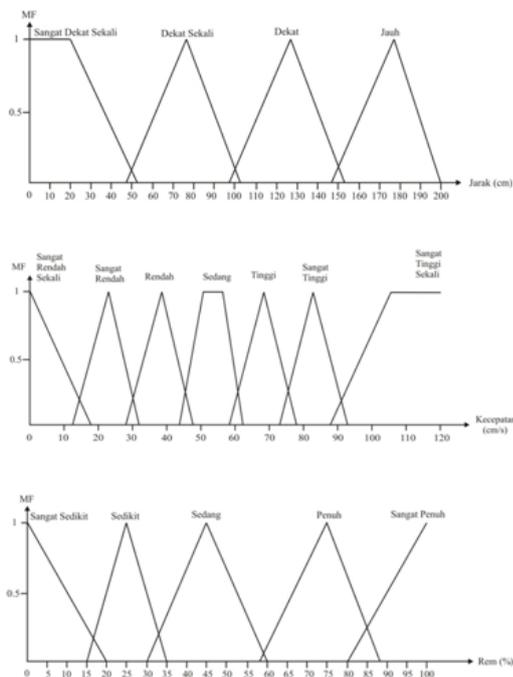
No.	Kecepatan Prototype Mobil	Jarak Hambatan	Perlambatan Ideal Hasil Perhitungan	Perlambatan hasil pengujian		
				MF Yang Digunakan Pada Perancangan	MF Hasil Modifikasi 1	MF Hasil Modifikasi 2
1	80 cm/s	100 cm	-32 cm/s ²	-31.37 cm/s ²	-33.75 cm/s ²	-28.67 cm/s ²
2		110 cm	-29.09 cm/s ²	-29.19 cm/s ²	-31.37 cm/s ²	-26.49 cm/s ²
3		120 cm	-26.67 cm/s ²	-25,16 cm/s ²	-27.78 cm/s ²	-24.61 cm/s ²
4		130 cm	-24.61 cm/s ²	-22.53 cm/s ²	-26.06 cm/s ²	-22.41 cm/s ²
5		140 cm	-22.86 cm/s ²	-21.27 cm/s ²	-24.09 cm/s ²	-20.72 cm/s ²
6		150 cm	-21.33 cm/s ²	-21.3 cm/s ²	-22.59 cm/s ²	-19.18 cm/s ²
7		160 cm	-20 cm/s ²	-19.6 cm/s ²	-24.09 cm/s ²	-18.06 cm/s ²
8		170 cm	-18.82 cm/s ²	-18.64 cm/s ²	-26.06 cm/s ²	-17.09 cm/s ²
9		180 cm	-17.77 cm/s ²	-17.46 cm/s ²	-27.78 cm/s ²	-15.84 cm/s ²
10		190 cm	-16.84 cm/s ²	-16.95 cm/s ²	-31.37 cm/s ²	-15.03 cm/s ²
11		200 cm	-16 cm/s ²	-16.16 cm/s ²	-33.75 cm/s ²	-14.57 cm/s ²
Total			-245.99cm/s ²	-239.63 cm/s ²	-308.69cm/s ²	-222.67 cm/s ²
Rata-rata				$\frac{-239.63}{-245.99} \times 100\% = 97.41\%$	$\frac{-245.99}{-308.69} \times 100\% = 79.69\%$	$\frac{-222.67}{-245.99} \times 100\% = 90.51\%$

Tabel 13 Hasil Pengujian *Membership Function* Pada Kecepatan 100 cm/s

No.	Kecepatan Prototype Mobil	Jarak Hambatan	Perlambatan Ideal Hasil Perhitungan	Perlambatan hasil pengujian		
				MF Yang Digunakan Pada Perancangan	MF Hasil Modifikasi 1	MF Hasil Modifikasi 2
1	100 cm/s	100 cm	-50 cm/s ²	-49.26 cm/s ²	-44.84 cm/s ²	-37.73 cm/s ²
2		110 cm	-45.45 cm/s ²	-45.25 cm/s ²	-40.82 cm/s ²	-35.46 cm/s ²
3		120 cm	-41.67 cm/s ²	-42.91 cm/s ²	-37.45 cm/s ²	-31.84 cm/s ²
4		130 cm	-38.46 cm/s ²	-38.91 cm/s ²	-34.6 cm/s ²	-30.39 cm/s ²
5		140 cm	-31.37 cm/s ²	-35.46 cm/s ²	-32.05 cm/s ²	-27.32 cm/s ²
6		150 cm	-33.33 cm/s ²	-33.78 cm/s ²	-29.85 cm/s ²	-25.51 cm/s ²
7		160 cm	-31.25 cm/s ²	-32.46 cm/s ²	-27.93 cm/s ²	-23.92 cm/s ²
8		170 cm	-29.41 cm/s ²	-29.94 cm/s ²	-26.38 cm/s ²	-23.04 cm/s ²
9		180 cm	-27.77 cm/s ²	-27.93 cm/s ²	-25.44 cm/s ²	-21.83 cm/s ²
10		190 cm	-26.31 cm/s ²	-26.17 cm/s ²	-23.31 cm/s ²	-21.09 cm/s ²
11		200 cm	-25 cm/s ²	-24.75 cm/s ²	-22.42 cm/s ²	-19.12 cm/s ²
Total			-380.02cm/s ²	-386.82 cm/s ²	-345.09cm/s ²	-297.25 cm/s ²
Rata-rata				$\frac{-380.02}{-386.82} \times 100\% = 98.24\%$	$\frac{-345.09}{-380.02} \times 100\% = 90.80\%$	$\frac{-297.25}{-380.02} \times 100\% = 78.22\%$

Tabel 14 Hasil Pengujian *Membership Function* Pada Kecepatan 120 cm/s

No.	Kecepatan Prototype Mobil	Jarak Hambatan	Perlambatan Ideal Hasil Perhitungan	Perlambatan hasil pengujian		
				MF Yang Digunakan Pada Perancangan	MF Hasil Modifikasi 1	MF Hasil Modifikasi 2
1	120 cm/s	100 cm	-72 cm/s ²	-68.96 cm/s ²	-58.25 cm/s ²	-48.78 cm/s ²
2		110 cm	-65.45 cm/s ²	-65.57 cm/s ²	-52.86 cm/s ²	-44.12 cm/s ²
3		120 cm	-60 cm/s ²	-60.91 cm/s ²	-48.98 cm/s ²	-40.54 cm/s ²
4		130 cm	-55.38 cm/s ²	-55.30 cm/s ²	-44.77 cm/s ²	-37.38 cm/s ²
5		140 cm	-51.42 cm/s ²	-51.50 cm/s ²	-41.52 cm/s ²	-34.38 cm/s ²
6		150 cm	-48 cm/s ²	-47.61 cm/s ²	-38.96 cm/s ²	-32.34 cm/s ²
7		160 cm	-45 cm/s ²	-44.28 cm/s ²	-36.14 cm/s ²	-30.38 cm/s ²
8		170 cm	-42.35 cm/s ²	-42.25 cm/s ²	-34.18 cm/s ²	-28.64 cm/s ²
9		180 cm	-40 cm/s ²	-40.26 cm/s ²	-30.15 cm/s ²	-26.96 cm/s ²
10		190 cm	-37.89 cm/s ²	-37.97 cm/s ²	-29.7 cm/s ²	-25.26 cm/s ²
11		200 cm	-36 cm/s ²	-35.93 cm/s ²	-29.13 cm/s ²	-24.34 cm/s ²
Total			-553.49cm/s ²	-550.54 cm/s ²	-444.64cm/s ²	-373.12 cm/s ²
Rata-rata				$\frac{-550.54}{-553.49} \times 100\% = 99.47\%$	$\frac{-444.64}{-553.49} \times 100\% = 80.33\%$	$\frac{-373.12}{-553.49} \times 100\% = 67.41\%$



Gambar 28. *Membership Function* Modifikasi Kedua

Pada **Tabel 12**, **Tabel 13** dan **Tabel 14** dapat dilihat bahwa nilai perbandingan dari ketiga persentase perlambatan tersebut dapat dilihat bahwa *membership function* yang digunakan pada perancangan sistem memiliki nilai persentase perlambatan yang lebih mendekati 100% dibandingkan dengan *membership function* yang lainnya, dengan kata lain dapat diartikan bahwa *membership function* yang digunakan pada perancangan sistem ini cukup baik untuk diterapkan dibandingkan dengan *membership function* hasil modifikasi.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian serta analisis data dari sistem pengereman otomatis menggunakan logika *fuzzy* yang dibahas pada penulisan laporan penelitian ini, dapat diambil beberapa kesimpulan yang berkaitan dengan hasil analisis yang mengacu kepada tujuan perancangan dan pembuatan sistem pengereman otomatis menggunakan logika *fuzzy* ini.

1. Sistem pengereman otomatis ini dapat bekerja ketika *prototype* mobil melaju dengan kecepatan tinggi maupun melaju dengan kecepatan rendah, dengan rata-rata tingkat keberhasilan melakukan pengereman hingga berhenti melaju

mencapai 100% dan jarak berhenti antara 5cm – 10cm.

2. Nilai persentase perlambatan pada pengujian pengereman kecepatan tinggi yang hampir mendekati angka 100% adalah pada saat kecepatan 120 cm/s dengan nilai persentase perlambatan 99.47%. Dan untuk pengujian pengereman kecepatan rendah sebesar yang paling mendekati angka 100% adalah pada kecepatan 61.2 cm/s dengan nilai persentase perlambatan sebesar 96.61%. Dari nilai tersebut sistem mampu menghasilkan perlambatan dengan hasil mendekati 100%, dengan kata lain pengereman yang dilakukan oleh sistem bisa dikatakan cukup ideal.
3. Pada kenyataannya saat *prototype* mobil melaju dan melakukan pengereman pergerakan tuas rem bergerak secara osilasi mengikuti nilai keluaran dari perhitungan logika *fuzzy*, yang dipengaruhi oleh masukan jarak dan kecepatan *prototype* mobil.
4. Perbedaan jarak berhenti *prototype* mobil dipengaruhi oleh kecepatan respon dari motor servo sebagai penggerak tuas rem. Untuk melakukan pengereman penuh motor servo harus berputar dengan sudut 60° , sedangkan untuk berputar dengan sudut 60° motor servo membutuhkan waktu selama 1 detik. Ketika *prototype* mobil melaju dengan kecepatan rendah akibat dari pengereman dan sensor ultrasonik mendeteksi jarak 10cm yang kemudian mikrokontroler menggerakkan motor servo untuk melakukan pengereman penuh, maka ketika melakukan pengereman dengan jeda waktu selama 1 detik *prototype* mobil masih sempat melaju meskipun dengan kecepatan yang sangat rendah sehingga *prototype* mobil tidak berhenti dengan pas pada jarak 10cm.
5. Penempatan sensor ultrasonik sangat berpengaruh terhadap hambatan yang dapat dideteksi oleh sensor ultrasonik tersebut. Dengan lebar *prototype* mobil 20cm maka sensor ultrasonik diletakan pada jarak ± 18 cm dari depan *prototype* mobil. Selain itu posisi dari sensor ultrasonik ini juga berpengaruh terhadap lebar jalan yang dapat dilalui oleh *prototype* mobil.

6. Jalan sempit yang dapat dilalui oleh *prototype* mobil adalah dengan lebar jalan lebih dari 25cm, dengan jarak minimum antara hambatan dengan bagian terluar *prototype* mobil baik dari sisi kiri maupun sisi kanan yaitu 2cm.

B. Saran

Untuk pengembangan dan peningkatan lebih lanjut dari sistem pengereman otomatis menggunakan logika *fuzzy* ini ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam perancangannya.

1. Dimensi dari *prototype* mobil lebih diperbesar, sehingga cara kerja sistem lebih terlihat menyerupai mobil aslinya.
2. Untuk penerapan pada mobil sungguhan, sensor jarak yang digunakan harus memiliki range yang cukup jauh. Ini dipengaruhi oleh dimensi mobil sungguhan dengan *prototype* mobil yang telah dirancang.
3. Sistem pengereman otomatis ini tidak hanya berfungsi sebagai pengaman pada saat mobil melaju ke depan, namun bisa juga digunakan sebagai pengaman pada saat mobil berjalan mundur.
4. Agar sistem pengereman otomatis yang dilakukan benar benar menjamin keselamatan pengendara pada saat berkendara, maka pada

masukannya logika *fuzzy* dapat menambahkan satu variabel lagi, selain mempertimbangkan jarak dan kecepatan mobil pada saat melaju bisa juga ditambahkan karakteristik jalan raya yang dilalui oleh mobil tersebut. Baik itu jalanan kering, basah, ataupun jalanan berpasir.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Okta Rusdiansyah, "Sistem Otomatisasi Pengaturan Rem Pada Mobil Berbasis Mikrokontroler Menggunakan Logika Fuzzy", Universitas Komputer Indonesia, 2014
- [2] C.N.V Abhinandan Reddy, C.N.V Anusha Reddy, M.Mani Roja, "Fuzzy Logic Inference System to Control Speed and Direction of a Vehicle to Avoid Collision", Int.J.Computer Technology & Applications, 2013
- [3] Piero P. Bonissone and Kareem S. Aggour, "Fuzzy Automated Braking System for Collision Prevention", GE Corporate Research & Development, Schenectady, NY 12308, USA
- [4] Geraldo Xexeo, "Fuzzy Logic", Computer Science Department and System And Computing, Federal University of Rio de Janeiro, Brazil
- [5] Jong-Ho Han, Kyung-Wook Noh and Jang-Myung Lee, "PD-Fuzzy control for the velocity of mobile robot using the haptic joystick", Department of Electronics Engineering, Pusan National University
- [6] Hyun Mun Kim, Julie Dickerson, Bart Kosko, "Fuzzy throttle and brake control for platoons of smart cars", Department of Electrical Engineering-System, University of Southern California