

## Purwarupa Sistem Kendali Kecepatan Mobil Berdasarkan Jarak dengan Sistem Inferensi *Fuzzy* Tsukamoto

Niko Karis Gunawan<sup>\*1</sup>, Abdul Rouf<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Elektronika dan Instrumentasi, JIKE, FMIPA, UGM, Yogyakarta

<sup>2</sup>Jurusan Ilmu Komputer dan Elektronika, FMIPA UGM, Yogyakarta

e-mail: <sup>\*1</sup>niko.karis.g@gmail.com, <sup>2</sup>rouf@ugm.ac.id

### Abstrak

Telah dibuat purwarupa sistem kendali kecepatan mobil dengan sistem inferensi fuzzy metode Tsukamoto. Penyesuaian kecepatan mobil dirancang dapat secara otomatis bergantung pada jarak aman yang ditentukan dengan mobil di depannya. Sistem inferensi fuzzy metode Tsukamoto menggunakan konsep dasar penalaran monoton, yaitu setiap konsekuen pada aturan yang berbentuk jika-maka harus direpresentasikan dengan suatu himpunan fuzzy dengan fungsi keanggotaan yang monoton.

Sistem ini menggunakan Arduino UNO sebagai fuzzy logic controller. Untuk mengukur jarak mobil menggunakan sensor jarak HC-SR04. Untuk mengendalikan laju mobil digunakan Pulse Width Modulation yang mengatur kecepatan motor DC, yang akan menggerakkan mobil. Pengujian dilakukan menggunakan dua buah mobil di lintasan uji lurus sepanjang 2 meter. Mobil alfa sebagai mobil referensi dan mobil beta sebagai mobil yang terotomasi.

Sistem kendali kecepatan mobil diuji dalam empat mode simulasi yang menggambarkan kondisi lalu lintas secara umum, yaitu "Approaching", "Follow", "Braking", dan "Combination". Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa mobil beta mampu mengikuti mobil alfa dengan error jarak dari 0 cm sampai -4 cm. Untuk menyesuaikan jarak dengan mobil alfa sesuai dengan set point maka mobil beta akan menyesuaikan kecepatannya yaitu dengan menambah kecepatan saat mobil alfa melaju lebih cepat, mengurangi kecepatan saat mobil alfa melaju lebih lambat dan berhenti saat mobil alfa berhenti.

**Kata kunci**—Kendali, Kecepatan, Mobil, Fuzzy, Tsukamoto

### Abstract

Have been made a prototype of control system with fuzzy inference system Tsukamoto method. Speed adjustment of the car is designed to be automatically depend on specified safe distance. Fuzzy inference system Tsukamoto method uses the basic concept of monotonic reasoning, that every consequent on the IF-THEN rules should be represented by a fuzzy set with monotonous membership function.

The system uses an Arduino UNO board as the fuzzy logic controller. To measure the distance using a distance sensor HC-SR0. While to control the car speed using Pulse Width Modulation method that control the speed of a DC motor, which will drive the car. Tests are performed using two cars with 2 meters test track. "Alfa" as the reference car and "Beta" as the automated car.

The car speed control system was tested in four simulation modes that describe traffic conditions in general, "Approaching", "Follow", "Braking", and "Combination". The result of the research shows that car beta can follow car alfa with distance error from 0 cm until -4 cm. To adjust its distance with car alfa, car beta will adjust its speed by increases speed as car alfa goes faster, decreases speed as car alfa goes slower and stops as car alfa stops.

**Keywords**—Control, Speed, Car, Fuzzy, Tsukamoto

## 1. PENDAHULUAN

Sistem pengendalian mobil semakin lama akan semakin membutuhkan teknologi yang memberi kemudahan kepada penggunanya. Salah satu kemudahan yang dimaksud adalah adanya otomasi terhadap sistem kendali kecepatan. Sistem kendali kecepatan tersebut akan sangat berguna khususnya di saat pengendara melakukan perjalanan jarak jauh, yang tentunya akan sangat melelahkan apabila harus terus menerus fokus pada kondisi jalan raya.

Dengan jarak aman tertentu yang sudah ditentukan, mobil akan dirancang secara otomatis menyesuaikan kecepatannya terhadap jarak dengan mobil di depannya. Apabila jarak mobil dengan mobil di depannya lebih jauh dari jarak aman, maka kecepatan akan ditambah. Sedangkan kecepatan akan dikurangi atau bahkan dihentikan apabila jarak antar mobil sudah lebih dekat daripada jarak aman. Penyesuaian kecepatan secara otomatis tersebut akan menambah faktor keamanan dalam berkendara. Pengemudi pun akan merasa lebih aman karena mobil akan cepat memberi respon apabila terjadi sesuatu yang mendadak di depan mobilnya.

Sistem kendali yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sistem inferensi *fuzzy* atau *Fuzzy Inference System (FIS)* yang pada dasarnya akan merumuskan suatu pemetaan dari masukan ke keluaran menggunakan logika *fuzzy*. Dengan penggunaan logika *fuzzy* tersebut, purwarupa sistem kendali akan memiliki karakteristik yang sesuai dengan rancangan yang dibuat.

Beberapa penelitian mengenai sistem kendali kecepatan mobil berdasarkan jarak telah dibuat sebelumnya. Soelistyo telah melakukan penelitian mengenai sistem pendeteksi dan pengaman jarak kendaraan berbasis ultrasonik yang menggunakan mikrokontroler AT89S52. Sistem tersebut diimplementasikan sebagai purwarupa yang mengukur jarak antara kendaraan dengan obyek di depannya, dan menampilkan hasil pengukuran pada *seven segment*. Purwarupa dilengkapi sirene serta indikator gas dan rem yang akan menunjukkan posisi pedal gas dan rem [1].

Anggoro telah melakukan penelitian mengenai sistem kendali kecepatan motor DC berdasarkan perubahan jarak menggunakan pengendali logika *fuzzy* berbasis mikrokontroler AT89C51. Sistem tersebut diimplementasikan sebagai sistem pengereman mobil otomatis yaitu sistem penurunan kecepatan motor DC dari kecepatan penuh sampai dengan berhenti. Acuan utama yang digunakan dalam penurunan kecepatan adalah jarak mobil dengan objek penghalang [2].

Mulyadi telah melakukan penelitian tentang sistem kendali kecepatan mobil berdasarkan jarak berbasis logika *fuzzy* yang diimplementasikan sebagai purwarupa sistem parkir kendaraan roda empat otomatis. Acuan yang digunakan dalam mengatur kecepatan adalah jarak antara kendaraan dengan obyek penghalang dan delta jarak antara jarak terukur dengan jarak terukur sebelumnya, kemudian dengan kendali *fuzzy* akan dihasilkan nilai yang digunakan sebagai acuan pembangkit PWM. Dengan metode ini, kecepatan motor DC dapat dikurangi secara bertahap ketika akan parkir [3].

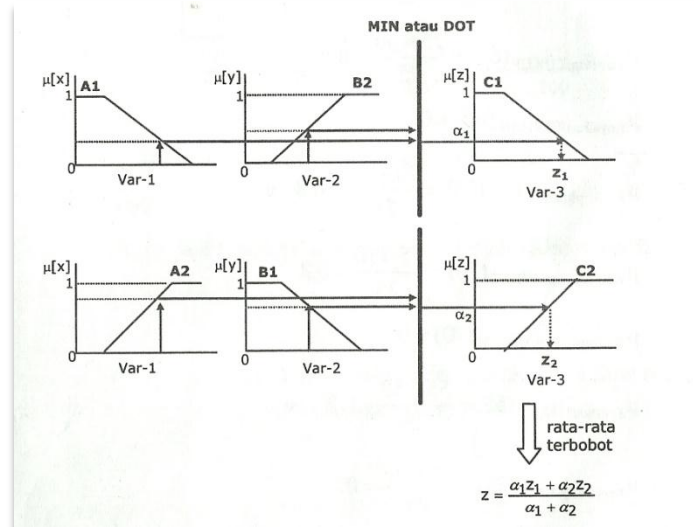
## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Sistem Inferensi Fuzzy Metode Tsukamoto

Sistem inferensi *fuzzy* metode Tsukamoto didasarkan pada konsep penalaran monoton. Pada metode penalaran secara monoton, nilai *crisp* pada daerah konsekuen dapat diperoleh secara langsung berdasarkan *fire strength* pada antesedennya. Salah satu syarat yang harus dipenuhi pada metode penalaran ini adalah himpunan *fuzzy* pada konsekuennya harus bersifat monoton (baik monoton naik maupun monoton turun) [4].

Pada dasarnya, metode Tsukamoto mengaplikasikan penalaran monoton pada setiap aturannya. Kalau pada penalaran monoton, sistem hanya memiliki satu aturan, pada metode Tsukamoto, sistem terdiri atas beberapa aturan. Karena menggunakan konsep dasar penalaran

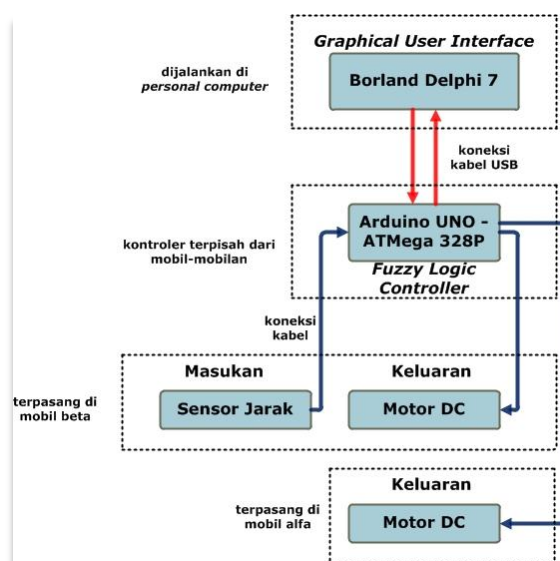
monoton, pada metode Tsukamoto setiap konsekuen pada aturan yang berbentuk jika-maka harus direpresentasikan dengan suatu himpunan *fuzzy* dengan fungsi keanggotaan yang monoton. Keluaran hasil inferensi dari tiap-tiap aturan diberikan secara tegas (*crisp*) berdasarkan  $\alpha$ -predikat (*fire strength*). Proses agregasi antar aturan dilakukan, dan hasil akhirnya diperoleh dengan menggunakan *defuzzy* dengan konsep rata-rata berbobot. Secara garis besar, proses sistem inferensi *fuzzy* metode Tsukamoto dapat dilihat pada Gambar 1 [4].



Gambar 1 Sistem inferensi *fuzzy* metode Tsukamoto

2.2 Analisis dan Perancangan Sistem

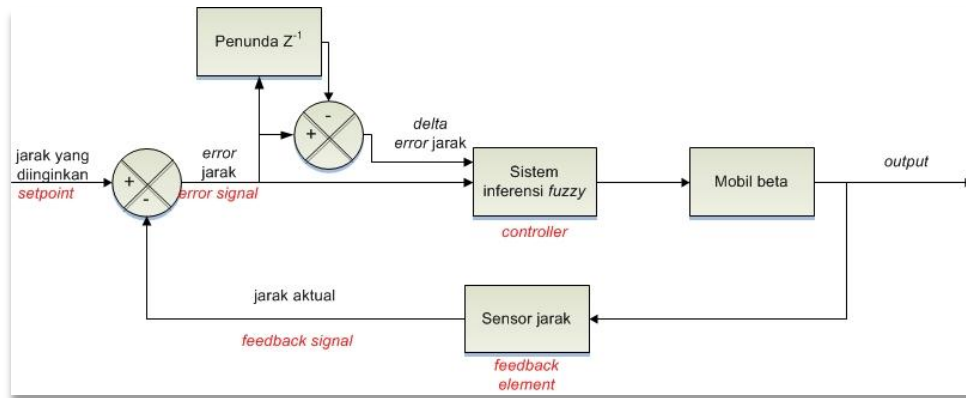
Melalui Gambar 2 dapat diketahui bahwa sistem yang dirancang memiliki empat bagian utama. Bagian pertama yaitu pada mobil referensi (mobil alfa) terdapat keluaran sistem berupa motor DC. Kemudian bagian kedua yaitu pada mobil terotomasi (mobil beta) terdapat masukan sistem berupa sensor jarak dan keluaran sistem berupa motor DC. Bagian ketiga yaitu penggunaan Arduino UNO sebagai *fuzzy logic controller* yang letaknya terpisah dengan mobil, dan terhubung melalui kabel pelangi. Mengenai tidak menyatunya mobil dan kontroler tersebut sesuai dengan yang dibahas pada subbab Batasan Masalah sebelumnya.



Gambar 2 Rancangan sistem secara keseluruhan

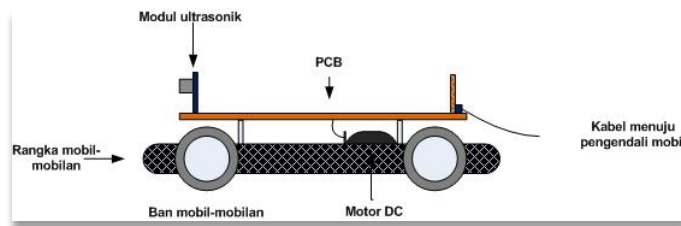
Bagian keempat yaitu penggunaan program Borland Delphi 7 sebagai *Graphical User Interface* (GUI) yang dijalankan melalui *personal computer*. Melalui program GUI tersebut, terdapat hubungan terhadap kontroler baik itu untuk mengirim data maupun menerima data. Data yang dikirim ke kontroler yaitu pengaturan awal sistem meliputi masukan *set point* dan mode simulasi. Sedangkan data yang diterima dari kontroler yaitu beberapa data hasil pengujian yang kemudian akan disimpan untuk menjadi bahan analisis.

Pada Gambar 3 dapat diketahui bahwa sistem kendali pada penelitian ini adalah sistem kendali tertutup. *Error* jarak didapatkan melalui perhitungan *set point* jarak aman yang dikurangi dengan jarak aktual mobil beta ke mobil referensi (mobil alfa). Sedangkan delta *error* jarak didapatkan melalui perhitungan *error* jarak dikurangi dengan *error* jarak yang sebelumnya.

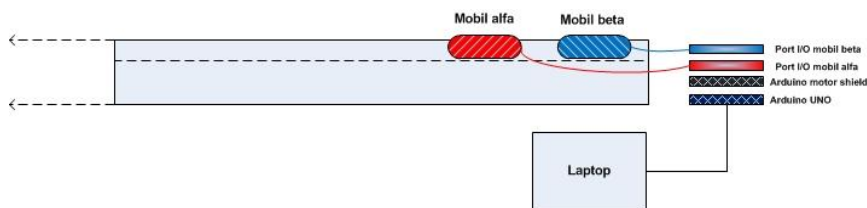


Gambar 3 Diagram blok sistem kendali

Rancangan mobil yang dipakai di dalam sistem dapat dilihat pada Gambar 4. Mobil yang akan dipakai berjumlah dua buah yaitu mobil alfa dan mobil beta. Mobil alfa digunakan sebagai referensi sistem, sedangkan mobil beta merupakan mobil yang terkontrol oleh sistem inferensi *fuzzy*. Kedua mobil tersebut berpengergerak motor DC yang terhubung dengan *gear set* di roda belakang. Sedangkan rancangan penempatan mobil alfa dan mobil beta, kemudian penempatan pengendali sistem, serta penempatan lintasan uji, semua dapat dilihat pada Gambar 5.



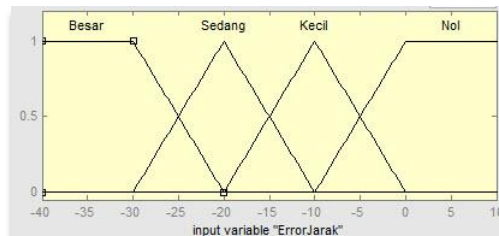
Gambar 4 Rancangan mobil



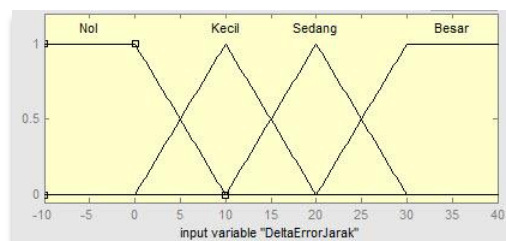
Gambar 5 Rancangan penempatan perangkat keras

### 2.3 Rancangan sistem inferensi fuzzy

Untuk menentukan kecepatan mobil dipengaruhi oleh dua variabel, yaitu *error* jarak dan delta *error* jarak. Variabel *error* jarak dan variabel delta *error* jarak terbagi menjadi empat himpunan fuzzy, yaitu Nol, Kecil, Sedang, dan Besar. Alasan dipilihnya representasi kurva segitiga pada variabel fuzzy “*Error Jarak*” dan “*Delta Error Jarak*” adalah karena kesederhanaannya dalam perhitungan nilai fungsinya. Fungsi keanggotaan untuk masing-masing himpunan tersebut dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.

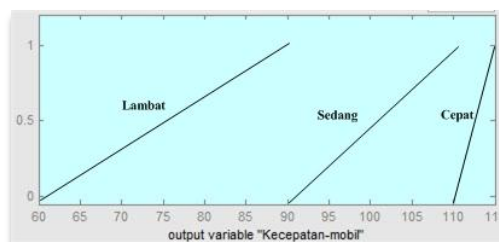


Gambar 6 Rancangan variabel fuzzy “*Error Jarak*”



Gambar 7 Rancangan variabel fuzzy “*Delta Error Jarak*”

Sedangkan untuk variabel keluaran yaitu kecepatan mobil, terbagi menjadi tiga himpunan keanggotaan yaitu Lambat, Sedang, dan Cepat. Alasan dipilihnya representasi linear monoton naik pada variabel fuzzy “*Kecepatan Mobil*” adalah karena sesuai dengan syarat pada sistem inferensi fuzzy metode Tsukamoto. Fungsi keanggotaan untuk himpunan tersebut dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Rancangan variabel fuzzy “*Kecepatan Mobil*”

Rancangan basis aturan JIKA-MAKA pada sistem inferensi fuzzy yaitu menggunakan 16 buah aturan yaitu:

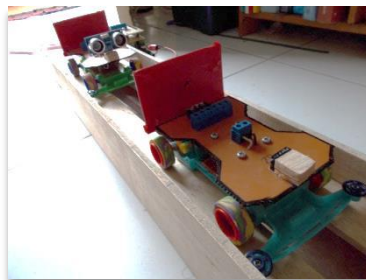
1. JIKA *error* jarak nol dan delta *error* jarak nol MAKA kecepatan mobil nol.
2. JIKA *error* jarak nol dan delta *error* jarak kecil MAKA kecepatan mobil nol.
3. JIKA *error* jarak nol dan delta *error* jarak sedang MAKA kecepatan mobil nol.
4. JIKA *error* jarak nol dan delta *error* jarak besar MAKA kecepatan mobil nol.
5. JIKA *error* jarak kecil dan delta *error* jarak nol MAKA kecepatan mobil lambat.
6. JIKA *error* jarak kecil dan delta *error* jarak kecil MAKA kecepatan mobil lambat.
7. JIKA *error* jarak kecil dan delta *error* jarak sedang MAKA kecepatan mobil lambat.

8. JIKA *error* jarak kecil dan delta *error* jarak besar MAKA kecepatan mobil lambat.
9. JIKA *error* jarak sedang dan delta *error* jarak nol MAKA kecepatan mobil sedang.
10. JIKA *error* jarak sedang dan delta *error* jarak kecil MAKA kecepatan mobil sedang.
11. JIKA *error* jarak sedang dan delta *error* jarak sedang MAKA kecepatan mobil sedang.
12. JIKA *error* jarak sedang dan delta *error* jarak besar MAKA kecepatan mobil sedang.
13. JIKA *error* jarak besar dan delta *error* jarak nol MAKA kecepatan mobil cepat.
14. JIKA *error* jarak besar dan delta *error* jarak kecil MAKA kecepatan mobil cepat.
15. JIKA *error* jarak besar dan delta *error* jarak sedang MAKA kecepatan mobil cepat.
16. JIKA *error* jarak besar dan delta *error* jarak besar MAKA kecepatan mobil cepat.

#### 2.4 Implementasi Sistem

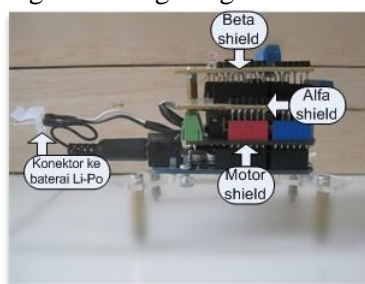
Agar sistem inferensi *fuzzy* yang dibuat dapat disimulasikan, maka dibuatlah suatu purwarupa yaitu dua buah mobil, mobil alfa dan mobil beta. Mobil alfa memiliki aktuator berupa motor DC yang terhubung dengan *gear set* yang menggerakkan roda belakang mobil alfa. Sedangkan pada mobil beta, terdapat sensor dan aktuator. Sensor yaitu sensor jarak HC-SR04 yang berfungsi mengukur jarak mobil beta terhadap mobil alfa. Kemudian aktuator pada mobil beta sama dengan mobil alfa, yaitu berupa motor DC yang terhubung dengan *gear set* yang menggerakkan roda belakang mobil beta.

Untuk melakukan pengujian terhadap sistem yang dibuat, maka dibutuhkan sebuah lintasan uji. Lintasan uji tersebut akan dilewati oleh mobil alfa dan mobil beta, berupa lintasan lurus. Lintasan uji yang lurus tersebut memiliki panjang 2 m dan lebar 9,8 cm, yang dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Implementasi mobil alfa, mobil beta, dan lintasan uji

Gambar 10 menunjukkan rangkaian kontroler yang terdiri dari empat tingkat yang disusun secara bertumpukan. Paling bawah adalah Arduino UNO sebagai pengendali utama sistem, kemudian di atas Arduino UNO terdapat motor *drivershield* sebagai pengendali sinyal PWM terhadap motor alfa dan motor beta. Lalu tingkat ketiga dan tingkat keempat adalah *shield* alfa dan *shield* beta, masing-masing terhubung dengan mobil alfa dan mobil beta.

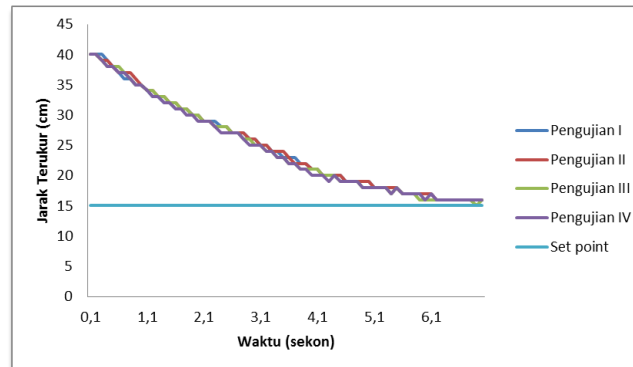


Gambar 10 Implementasi rangkaian kontroler

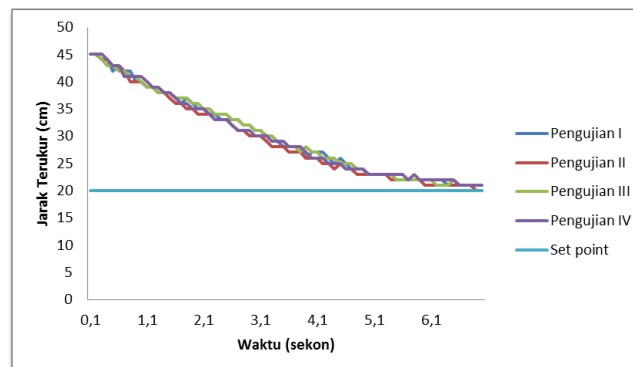
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Mode “Approaching”

Mode simulasi pertama yang diuji pada sistem adalah mode “Approaching”. Mode “Approaching” yaitu mobil beta akan mendekati mobil referensi (mobil alfa) yang sedang melaju, sehingga mobil beta akan menyesuaikan kecepatannya untuk mengikuti mobil alfa dengan jarak aman yang ditentukan. Pada pengujian sistem dengan mode “Approaching” ini, parameter yang nilainya divariasikan yaitu *set point* jarak aman.



Gambar 11 Hasil pengujian mode “Approaching” pada *set point* = 15 cm

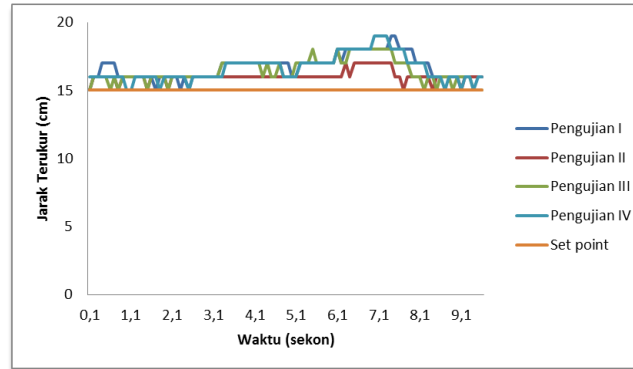


Gambar 12 Hasil pengujian mode “Approaching” pada *set point* = 20 cm

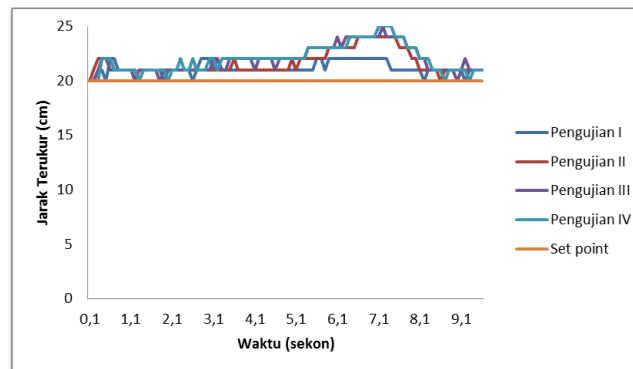
Dari delapan kali pengujian mode “Approaching” yang dapat dilihat pada Gambar 11 dan Gambar 12, yaitu masing-masing empat kali pengujian pada *set point* 15 cm dan 20 cm, sistem dapat bekerja dengan baik. Selama pengujian tersebut, sistem memiliki catatan waktu rata-rata sebesar 6,09 detik sampai mobil beta berhasil mendekati mobil referensi (mobil alfa) yang melaju konstan di depannya.

#### 3.2 Mode “Follow”

Mode simulasi kedua yang diuji pada sistem adalah mode “Follow”. Mode “Follow” yaitu mobil beta akan mengikuti mobil alfa yang berada di depannya dan akan mempertahankan jarak aman yang ditentukan. Pada pengujian sistem dengan mode “Follow” ini, parameter yang nilainya divariasikan yaitu *set point* jarak aman.



Gambar 13 Hasil pengujian mode “Follow” pada *set point* = 15 cm



Gambar 14 Hasil pengujian mode “Follow” pada *set point* = 20 cm

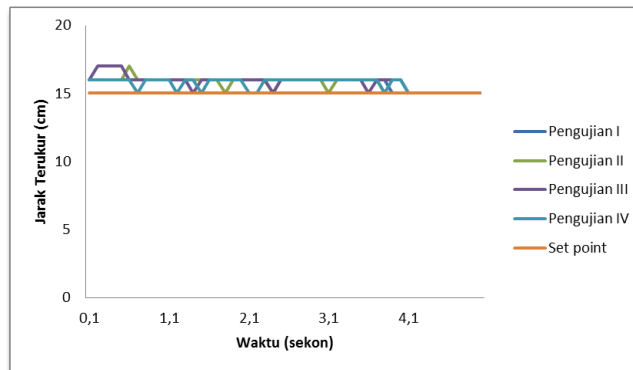
Dari delapan kali pengujian mode “Follow” yang dapat dilihat pada Gambar 13 dan Gambar 14, yaitu masing-masing empat kali pengujian pada *set point* 15 cm dan 20 cm, sistem dapat bekerja dengan baik. Selama pengujian tersebut, sistem memiliki nilai *error* terbesar saat mobil referensi (mobil alfa) pada kecepatan tertinggi (masukan PWM bernilai 75) yaitu -4 cm, yang berarti mobil beta berada 4 cm lebih jauh daripada *set point* jarak aman yang ditentukan.

### 3.3 Mode “Braking”

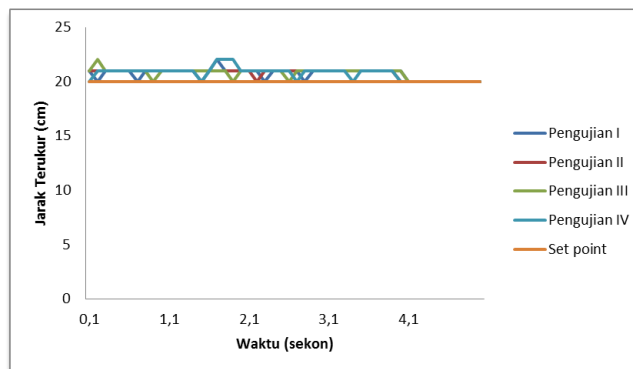
Mode simulasi ketiga yang diuji pada sistem adalah mode “Braking”. Mode “Braking” yaitu mobil referensi (mobil alfa) akan tiba-tiba menghentikan lajunya, sehingga mobil beta juga harus menghentikan lajunya agar jaraknya dengan mobil alfa sesuai dengan *set point*. Pada pengujian sistem dengan mode “Braking” ini, parameter yang nilainya divariasikan yaitu *set point* jarak aman.

Dari delapan kali pengujian mode “Braking” yang dapat dilihat pada Gambar 15 dan Gambar 16, yaitu masing-masing empat kali pengujian pada *set point* 15 cm dan 20 cm, sistem dapat bekerja dengan baik. Selama pengujian tersebut, mobil beta membutuhkan waktu berhenti rata-rata sebesar 0,13 detik setelah mobil referensi (mobil alfa) berhenti. Setelah mobil beta berhenti, jaraknya dengan mobil alfa terukur tepat pada *set point* pada masing-masing pengujian.





Gambar 15 Hasil pengujian mode “Braking” pada *set point* = 15 cm

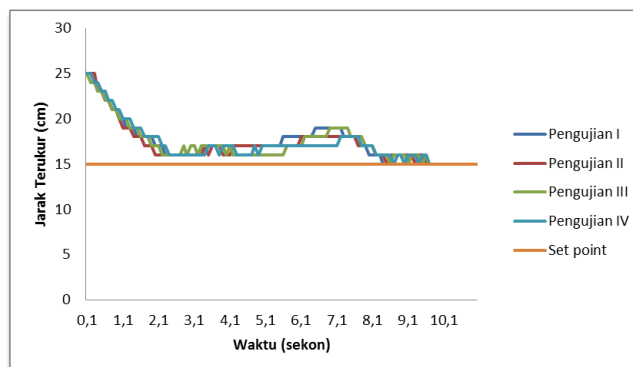


Gambar 16 Hasil pengujian mode “Braking” pada *set point* = 20 cm

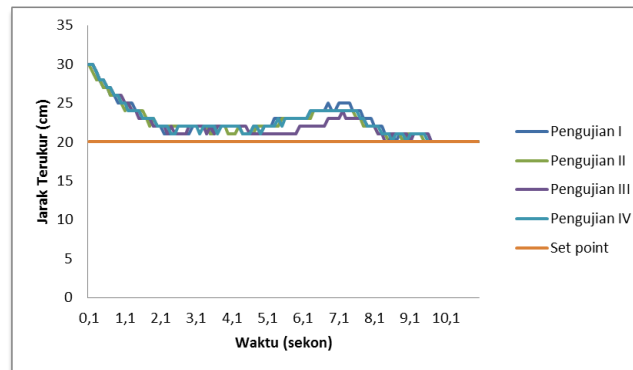
### 3.4 Mode “Combination”

Mode simulasi keempat dan terakhir yang diuji pada sistem adalah mode “Combination”. Mode “Combination” merupakan perpaduan antara ketiga mode yang sudah diuji sebelumnya menjadi satu mode pengujian tersendiri. Oleh karena itu, pada mode tersebut, terdiri dari tiga tahapan yaitu diawali dengan mode “Approaching”, lalu diikuti langsung oleh mode “Follow”, dan diakhiri dengan mode “Braking”. Pada pengujian sistem dengan mode “Combination” ini, parameter yang nilainya divariasikan yaitu *set point* jarak aman.

Dari delapan kali pengujian mode “Combination” yang dapat dilihat pada Gambar 17 dan Gambar 18, yaitu masing-masing empat kali pengujian pada *set point* 15 cm dan 20 cm, sistem kendali dapat bekerja dengan baik.



Gambar 17 Hasil pengujian mode “Combination” pada *set point* = 15 cm



Gambar 18 Hasil pengujian mode “Combination” pada *set point* = 20 cm

#### 4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Implementasi sistem inferensi *fuzzy* metode Tsukamoto pada purwarupa sistem kendali kecepatan mobil berdasarkan jarak telah berhasil dilakukan dan sistem dapat bekerja dengan baik.
2. Untuk menyesuaikan jarak mobil beta terhadap mobil alfa sesuai dengan *set point*, maka mobil beta akan menambah kecepatan saat mobil alfa melaju lebih cepat, mengurangi kecepatan saat mobil alfa melaju lebih lambat dan berhenti saat mobil alfa berhenti.
3. Mobil beta mampu mengikuti mobil alfa dengan *error* jarak dari 0 cm sampai -4 cm.
4. Pada mode simulasi “Approaching”, sistem kendali memiliki catatan waktu rata-rata sebesar 6,09 detik sampai mobil beta berhasil mendekati mobil alfa yang melaju konstan di depannya.
5. Pada mode simulasi “Follow”, sistem kendali memiliki nilai *error* terbesar saat mobil alfa pada kecepatan tertinggi yaitu -4 cm, yang berarti mobil beta berada 4 cm lebih jauh daripada *set point* jarak aman yang ditentukan.
6. Pada mode simulasi “Braking”, mobil beta membutuhkan waktu berhenti rata-rata sebesar 0,13 detik setelah mobil alfa berhenti.
7. Pada mode simulasi “Combination”, sistem kendali dapat bekerja dengan baik pada masing-masing tahap yang terjadi, dan merupakan kombinasi dari mode simulasi “Approaching”, “Follow”, dan “Braking”.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Soelistyo, A.D.W., 2008, Prototipe Pendeteksi dan Pengaman Jarak Kendaraan Otomatis Berbasis Ultrasonik, *Skripsi*, Fakultas MIPA, Univ. Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [2] Anggoro, A.S., 2004, Kendali Kecepatan Motor DC Berdasarkan Perubahan Jarak Menggunakan Pengendali Logika Fuzi Berbasis Mikrokontroler AT89C51, *Skripsi*, Fakultas Teknik, Univ. Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [3] Mulyadi, W., 2008, Pengendali Kecepatan Motor DC Berdasarkan Jarak Dengan Logika Fuzzy Berbasis Mikrokontroler AVR ATmega16, *Skripsi*, Fakultas MIPA, Univ. Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [4] Kusumadewi, S. dan Hartati, S., 2006, *Neuro-Fuzzy: Integrasi Sistem Fuzzy dan Jaringan Syaraf*, Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta.