

IMPLEMENTASI METODE LOGIKA FUZZY PADA KONTROL KESEIMBANGAN ROBOT MOBIL BERODA DUA

Budi Cahyo Wibowo

Mahasiswa Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik
Universitas Muria Kudus
Email: royyan.myson@gmail.com

Mohammad Iqbal

Dosen Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Muria Kudus
E-mail: iqbal.umk@gmail.com

ABSTRAK

Model transportasi dengan menggunakan dua roda dewasa ini sudah mulai diteliti, fokus dari penelitian yang telah dilakukan adalah bagaimana menjadikan robot dua roda ini mampu menjaga keseimbangannya sendiri, banyak metode kontrol yang digunakan untuk menentukan optimasi kendali yang baik sehingga didapatkan nilai respon yang baik antara pembacaan sensor dengan reaksi aktuator (Motor). Dengan metode *fuzzy logic* yang meliputi beberapa tahapan diantaranya adalah menentukan nilai *crisp input* yang harus difuzzifikasi kemudian *output* dari fuzzifikasi ini diteruskan ke proses inferensi yang didalamnya terdapat beberapa *fuzzy logic rules* kemudian *output* inferensi diteruskan ke proses defuzzifikasi untuk diubah menjadi keluaran (*crisp output*) untuk menggerakkan motor. Dengan metode kontrol *fuzzy logic* ini robot mobil beroda dua mampu menjaga keseimbangannya dengan baik dan waktu respon yang dibutuhkan untuk kembali ke kondisi seimbang ketika diganggu dengan sudut $\pm 5^\circ$ adalah 0,7S, dan ketika diganggu dengan sudut $\pm 10^\circ$ adalah 0,8S.

Kata kunci: Transportasi, Logika *Fuzzy*, Respon Waktu

ABSTRACT

Transportation model using two wheels these days have started investigation, the focus of research has been carried out is how to make two wheels robot is able to keep his balance it self, many control methods are used to determine a good control optimization to obtain a good response value between readings sensors with reaction of actuator (motor). With fuzzy logic method that includes several stages such as determining the values of crisp input must be fuzzification then passed to the inference process in which there are some fuzzy logic rules then forwarded to the output defuzzification process to be transformed into outputs (crisp output) to drive the motor. With fuzzy logic control method is a two-wheeled mobile robot is able to maintain a good balance and response time it takes to return balance condition when disturbed by $+5^\circ$ angle is 2mS, and when disturbed by $+10^\circ$ angle is 3mS.

Keywords: Transportation, Fuzzy Logic, Response Time

1. PENDAHULUAN

a. Latar Belakang

Perkembangan teknologi elektronika khususnya robotika telah menjadikan kehidupan manusia menjadi lebih mudah. Saat ini perkembangan dunia robotika telah mampu berperan dalam membantu aktifitas kehidupan manusia. Namun sebagian juga ada yang dimanfaatkan sebagai hobi dan media pembelajaran yang salah satu aplikasinya adalah robot keseimbangan beroda dua ini. Salah satu cara untuk menambah tingkat kecerdasan sebuah robot adalah dengan menambah tingkat kecerdasan buatan pada robot tersebut yaitu dengan memasang sensor – sensor dan kontrol yang diprogram pada *central processing unit*-nya dalam hal ini adalah mikrokontroler[4]. Secara umum konsep robot modern harus memenuhi beberapa karakteristik diantaranya *sensing*, mampu bergerak, cerdas dan membutuhkan energi yang memadai[2].

Sejak Dean Kamen, 2001 telah mendeklarasikan SEGWAY sebagai "*The first Self-balancing, electric powered transportation device*" Kemudian diikuti oleh penelitian-penelitian sejenis di berbagai negara. Hal ini tentunya dipicu oleh perkembangan teknologi elektronika, robotika serta IT yang cukup pesat di seluruh dunia. *Self balancing robot* merupakan robot yang memiliki prinsip kerja yang hampir mirip dengan sistem pendulum terbalik[3].

Banyaknya penelitian yang telah dilakukan yang berkaitan dengan robot beroda dua seperti halnya penelitian yang telah dilakukan oleh andra laksana, iwan setiawan dan sumardi mahasiswa Teknik Elektro

Universitas Diponegoro pada tahun 2010 dengan judul *balancing robot beroda dua* menggunakan metode kendali proporsional integral, yang mana dalam penelitian tersebut digunakan sensor *accelerometer* dengan tipe MMA7260 untuk mendeteksi sudut elevasi terhadap bumi yang terbaca, dan dalam *tuning* parameternya dilakukan dengan cara *trial and error*. Dalam penelitian tersebut diperoleh kesimpulan bahwa ketika robot diletakkan awal pada posisi sudut 15° maka sistem memiliki respon waktu 0,35 detik untuk menuju ke *setting point*, sedangkan pada peletakkan posisi awal pada sudut -5° dibutuhkan waktu 1 detik untuk menuju ke *setting point*[4].

Dengan alasan diatas maka pada penelitian ini akan didesain suatu kontrol keseimbangan mobil robot beroda dua dengan menggunakan metode logika *fuzzy* dan diharapkan dengan metode kontrol logika *fuzzy* ini akan diperoleh respon waktu yang lebih baik yakni waktu yang dibutuhkan robot mobil ketika memperoleh gangguan sampai kembali ke posisi seimbang, dan pada penelitian ini akan digunakan sensor *accelerometer* dengan tipe MMA7455L.

b. Tujuan

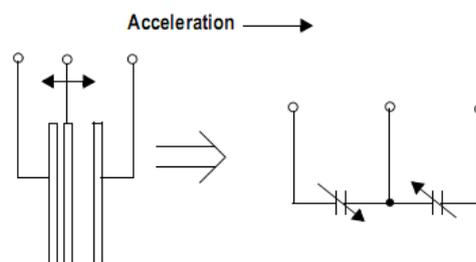
Berdasarkan uraian pada latar belakang di atas, maka pembahasan dalam *paper* ini bertujuan mengimplementasikan metode kontrol logika *fuzzy* untuk mendapatkan respon waktu yang lebih baik yaitu waktu yang dibutuhkan robot mobil kembali ke posisi seimbang setelah memperoleh gangguan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

a. Sensor Accelerometer MMA7455L

Dalam perancangan kontrol keseimbangan robot mobil beroda dua ini menggunakan model sistem kontrol *close loop* yang menggunakan sensor *accelerometer* MMA7455L sebagai umpan balik dalam sistem kontrol untuk mengindra kemiringan *body robot*. *Accelerometer* adalah sebuah *tranduser* yang berfungsi untuk mengukur percepatan, mendeteksi dan mengukur getaran, ataupun untuk mengukur percepatan akibat gravitasi bumi[1].

Prinsip kerja dari *accelerometer* MMA7455L ini didasarkan pada deteksi perubahan nilai kapasitansi yang dikemas dalam bentuk IC. Pengindra perubahan nilai kapasitansi dibentuk dari bahan jenis semikonduktor (*polysilicon*). Hal ini dapat digambarkan seperti halnya satu set balok yang menempel pada pusat massa yang bergerak bebas yang berada diantara dua balok tetap. Balok yang bergerak bebas ini dapat dibelokkan dari posisi awal balok ini berada, perubahan posisi balok inilah yang dijadikan sebagai nilai percepatannya[6].



Gambar 1. Prinsip Kerja Accelerometer MMA7455L[6]

Ketika balok yang melekat pada pusat massa bergerak, maka jarak antara balok yang berada pada pusat massa dengan balok tetap akan berubah, balok yang bergerak bebas akan dekat dengan satu sisi balok tetap dan akan menjauhi satu sisi yang lain. Perubahan jarak dari ketiga balok ini yang digunakan untuk menentukan nilai akselerasinya. Balok yang berada di tengah bergerak dengan percepatan, jarak antara balok berubah dan nilai kapasitansi juga akan berubah,

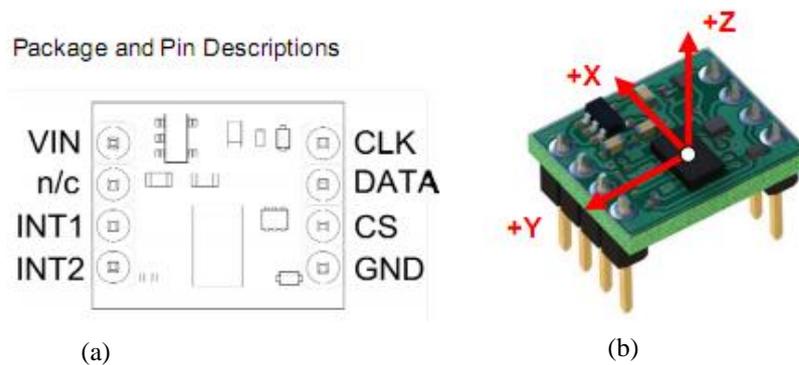
Sehingga nilai kapasitansi dinyatakan dengan $C = A\epsilon/D$, dimana:

A = area balok

ϵ = konstanta dielektrika

D = jarak diantara balok

ASIC (*Application Spesific Integrated Circuit*) menggunakan teknik pensaklaran kapasitor untuk mengukur perubahan jarak balok – balok kapasitor (dalam *datasheet* sering di sebut dengan *g-cell*) tersebut dan mengekstrak data percepatan dari perbedaan nilai kapasitansi dua kapasitor tersebut. ASIC juga menyediakan keluaran digital yang sebanding dengan percepatan[6].



Gambar 2. (a) Konfigurasi Pin – pin dan (b) Bentuk Fisik Modul Accelerometer MMA7455L[6]

b. Fuzzy Logic

Fuzzy logic pertama kali dikenalkan kepada publik oleh Lotfi Zadeh, seorang profesor di *University of California* di Berkeley. *Fuzzy logic* digunakan untuk menyatakan hukum operasional dari suatu sistem dengan ungkapan bahasa, bukan dengan persamaan matematis. Banyak sistem yang terlalu kompleks untuk dimodelkan secara akurat, meskipun dengan persamaan matematis yang kompleks[6]. Pendekatan *fuzzy* melibatkan aturan-aturan yang dinyatakan dalam kata-kata dan tidak memerlukan presisi yang tinggi serta ada toleransi untuk data yang kurang tepat. Struktur dasar sebuah pengendali *Fuzzy* diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur Dasar Pengendali Fuzzy[6]

3. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari langkah – langkah sebagai berikut:

- Metode pengumpulan data yang dilakukan dengan mempelajari literatur – literatur pada penelitian sebelumnya
- Membuat *prototype* robot mobil beroda yang akan dijadikan sebagai objek penelitian
- Melakukan uji coba pembacaan data sensor *accelerometer* MMA7455L
- Merancang desain kontrol Logika *Fuzzy* yang akan di implementasikan dalam sistem
- Merancang *software* komputer untuk pembacaan data respon kontrol terhadap gangguan.
- Melakukan uji coba terhadap kontrol keseimbangan robot mobil beroda dua

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Perancangan Fuzzy Logic Controller

Sistem dalam penelitian ini dirancang dengan mengimplementasikan logika *fuzzy* yang terdiri dari dua *input* yaitu *input error* dan *input del_error_prev*. *Input error* adalah data pembacaan sensor *accelerometer* MMA7455L sedangkan

input del_error_prev adalah *input error* dikurangi *error* sebelumnya. Dan terdiri dari satu *output* berupa nilai respon kecepatan motor DC.

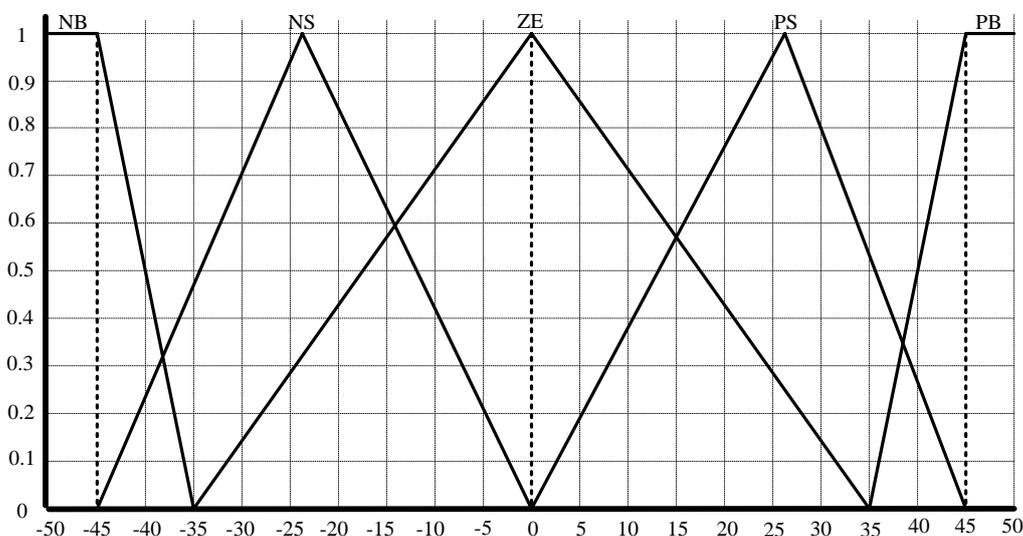
Dalam perancangan kontrol keseimbangan robot mobil beroda dua dengan menggunakan logika *fuzzy* ini dilakukan pendekatan dengan menggunakan himpunan *fuzzy* bentuk segitiga (a,b,c). Dengan persamaan[1]:

$$\mu_F(x) = \begin{cases} 0, & \text{for } x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{for } a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & \text{for } b \leq x \leq c \\ 0, & \text{for } x > c \end{cases} \quad (1)$$

Input error dan *del_error_prev* kemudian dijadikan sebagai masukan *crisp* untuk proses fuzzifikasi dalam menentukan besaran RPM motor melalui pengaturan PWM (*Pulse Width Modulation*) dan arah putar motor untuk memposisikan robot mobil dalam kondisi seimbang. Adapun analisa dari proses fuzzifikasi untuk kedua *input* adalah sebagai berikut:

a. *Input error*

Input error ini didasarkan pada pembacaan data oleh sensor *accelerometer* MMA7455L yang berupa data desimal dengan *range* terbaca pada *prototype* mobil robot antara -50 s/d 50, *input error* ini kemudian dibagi dalam 5 himpunan *fuzzy*, yaitu: NB (*Negative Big*), NS (*Negative Small*), ZE (*Zero Error*), PS (*Positive Small*), PB (*Positive Big*). Himpunan *fuzzy* NB akan memiliki domain [-50, -35] dimana derajat keanggotaan NB tertinggi (=1) terletak pada nilai (-50) - (-47). Himpunan *fuzzy* NS memiliki domain [-45, 0] dimana derajat keanggotaan NS tertinggi (=1) terletak pada nilai -24. Himpunan *fuzzy* ZE memiliki domain [-35, 35] dimana derajat keanggotaan ZE tertinggi (=1) terletak pada nilai 0. Himpunan *fuzzy* PS memiliki domain [0, 45] dimana derajat keanggotaan PS tertinggi (=1) terletak pada nilai 24. Himpunan *fuzzy* PB memiliki domain [35, 50] dimana derajat keanggotaan PB tertinggi (=1) terletak pada nilai 45 - 50. *Input error* dipresentasikan dengan fungsi keanggotaan trapesium dan segitiga seperti gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4. Himpunan *Fuzzy* Untuk *Input Error*

Keterangan:

- NB = *Negative Big*
 - NS = *Negative Small*
 - ZE = *Zero Error*
 - PS = *Positive Small*
 - PB = *Positive Big*
- Persamaannya adalah:

$$\mu_{NB} [x] = \begin{cases} 1; & x \leq -45 \\ (-35 - x)/-10; & -45 \leq x \leq -35 \\ 0; & x \geq -35 \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_{NS} [x] = \begin{cases} 0; & x \leq -45 \text{ atau } x \geq 0 \\ (x + 45)/10; & -45 \leq x \leq -35 \\ (0 - x)/35; & -35 \leq x \leq 0 \end{cases} \quad (3)$$

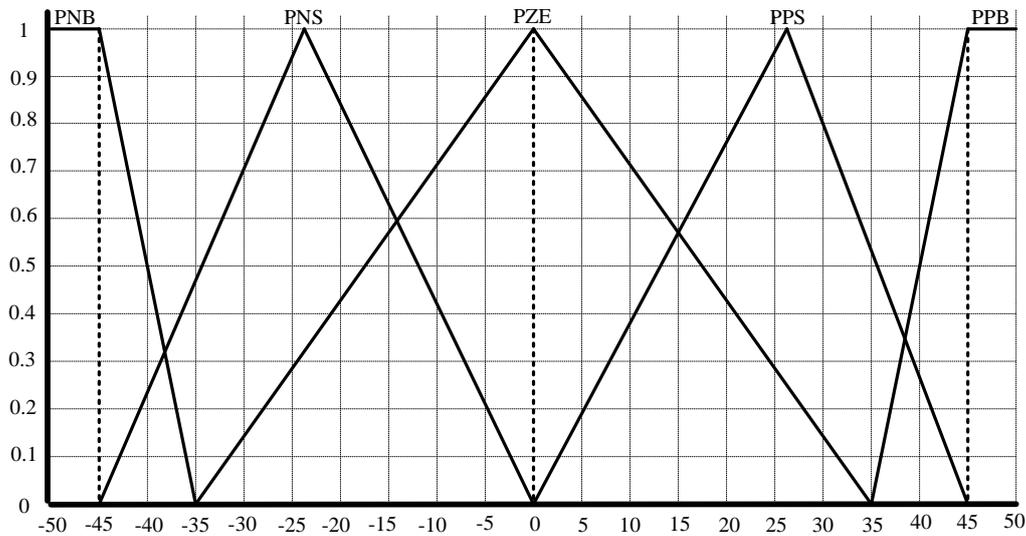
$$\mu_{ZE} [x] = \begin{cases} 0; & x \leq -35 \text{ atau } x \geq 35 \\ (x + 35)/35; & -35 \leq x \leq 0 \\ (35 - x)/35; & 0 \leq x \leq 35 \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_{PS} [x] = \begin{cases} 0; & x \leq 0 \text{ atau } x \geq 45 \\ (x - 0)/35; & 0 \leq x \leq 35 \\ (45 - x)/10; & 35 \leq x \leq 45 \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_{PB} [x] = \begin{cases} 0; & x \leq 35 \\ (x - 35)/10; & 35 \leq x \leq 45 \\ 1; & x \geq 45 \end{cases} \quad (6)$$

b. *Input Del_error_prev*

Input Del_error_prev merupakan *crisp input* kedua yang diperoleh dari nilai *input error* dikurangi nilai *input error* sebelumnya. Seperti halnya *input error*, *input del_error_prev* juga dibagi dalam 5 himpunan *fuzzy*. yaitu: PNB (*Previous Negative Big*), PNS (*Previous Negative Small*), PZE (*Previous Zero Error*), PPS (*Previous Positive Small*), PPB (*Previous Posistive Big*). Himpunan *fuzzy* PNB akan memiliki domain [-50, -35] dimana derajat keanggotaan PNB tertinggi (=1) terletak pada nilai (-50) - (-47). Himpunan *fuzzy* PNS memiliki domain [-45, 0] dimana derajat keanggotaan PNS tertinggi (=1) terletak pada nilai -24. Himpunan *fuzzy* PZE memiliki domain [-35, 35] dimana derajat keanggotaan PZE tertinggi (=1) terletak pada nilai 0. Himpunan *fuzzy* PPS memiliki domain [0, 45] dimana derajat keanggotaan PPS tertinggi (=1) terletak pada nilai 24. Himpunan *fuzzy* PPB memiliki domain [35, 50] dimana derajat keanggotaan PPB tertinggi (=1) terletak pada nilai 45 - 50. *Input error* dipresentasikan dengan fungsi keanggotaan trapesium dan segitiga seperti gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5. Himpunan Fuzzy Untuk Input *Del_error_prev*

Keterangan:

- PNB = *Previous Negative Big*
- PNS = *Previous Negative Small*
- PZE = *Previous Zero Error*
- PPS = *Previous Positive Small*
- PPB = *Previous Positive Big*

Persamaannya adalah:

$$\mu_{PNB} [x] = \begin{cases} 1; & x \leq -45 \\ (-35 - x)/-10; & -45 \leq x \leq -35 \\ 0; & x \geq -35 \end{cases} \quad (7)$$

$$\mu_{PNS} [x] = \begin{cases} 0; & x \leq -45 \text{ atau } x \geq 0 \\ (x + 45)/10; & -45 \leq x \leq -35 \\ (0 - x)/35; & -35 \leq x \leq 0 \end{cases} \quad (8)$$

$$\mu_{PZE} [x] = \begin{cases} 0; & x \leq -35 \text{ atau } x \geq 35 \\ (x + 35)/35; & -35 \leq x \leq 0 \\ (35 - x)/35; & 0 \leq x \leq 35 \end{cases} \quad (9)$$

$$\mu_{PPS} [x] = \begin{cases} 0; & x \leq 0 \text{ atau } x \geq 45 \\ (x - 0)/35; & 0 \leq x \leq 35 \\ (45 - x)/10; & 35 \leq x \leq 45 \end{cases} \quad (10)$$

$$\mu_{PPB} [x] = \begin{cases} 0; & x \leq 35 \\ (x - 35)/10; & 35 \leq x \leq 45 \\ 1; & x \geq 45 \end{cases} \quad (11)$$

Setelah proses fuzzifikasi selesai kemudian dilanjutkan dengan tahapan berikutnya yaitu proses inferensi yang termasuk didalamnya adalah mendesain *Fuzzy Logic Rule*. Berikut ini adalah desain dari *Fuzzy Logic Rule* yang diterapkan dalam robot.

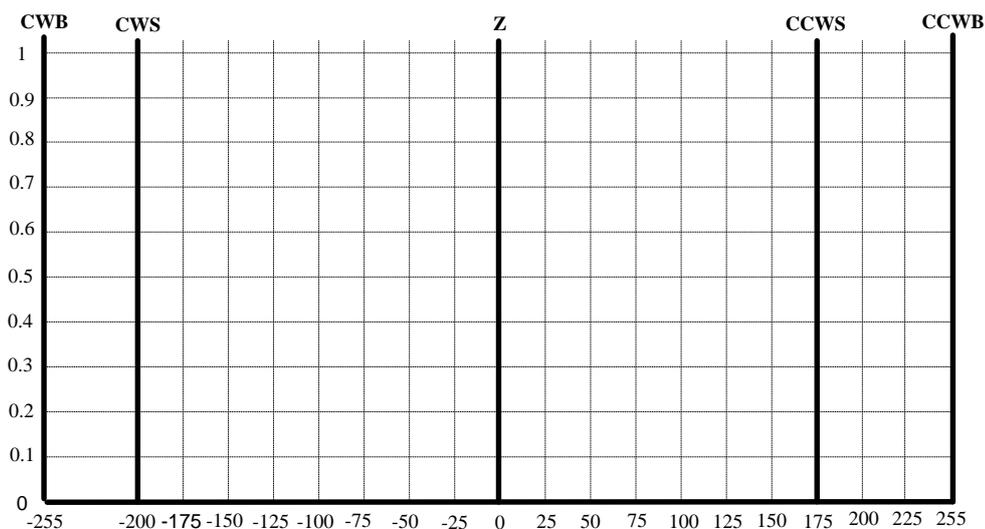
Tabel 1. *Fuzzy Logic Rule*

	NB	NS	ZE	PS	PB
PNB	CWB	CWB	CWS	Z	CCWS
PNS	CWB	CWS	Z	Z	CCWS
PZE	CWB	CWS	Z	CCWS	CCWB
PPS	CWS	Z	Z	CCWS	CCWB
PPB	CWS	Z	CCWS	CCWB	CCWB

Keterangan:

- CWB = *ClockWise Big*
- CWS = *ClockWise Small*
- Z = *Zero*
- CCWS = *Contra ClockWise Small*
- CCWB = *Contra ClockWise Big*

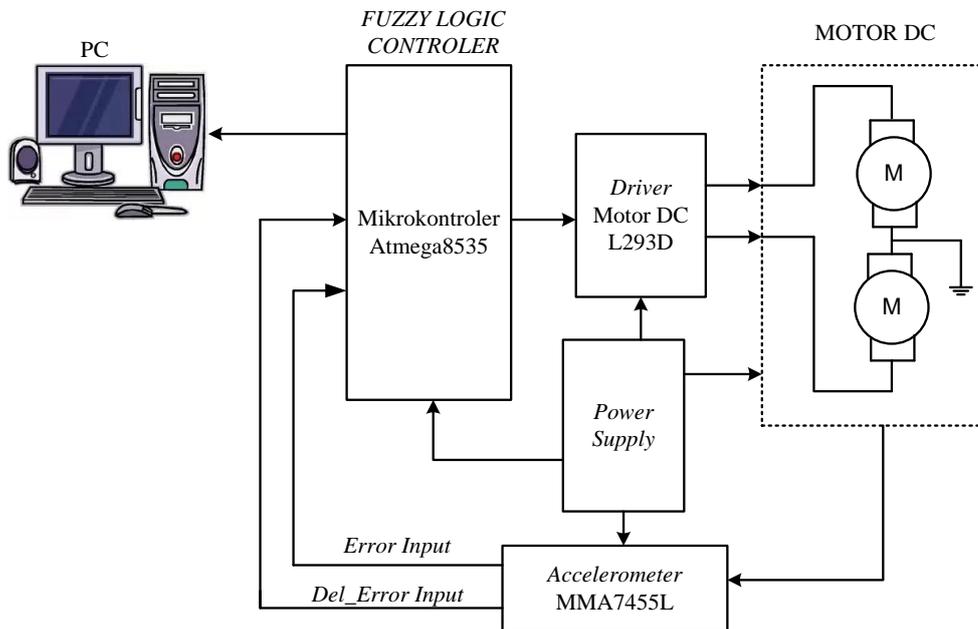
Kemudian memasuki tahap berikutnya adalah proses defuzzifikasi, dalam proses defuzzifikasi ini kami menggunakan metode *singleton* dari sugeno, adapun desain dari proses defuzzifikasi ini digambarkan sebagai berikut:



Gambar 6. Himpunan *Fuzzy* Untuk *Output* Kecepatan Motor DC

b. Perancangan *Hardware*

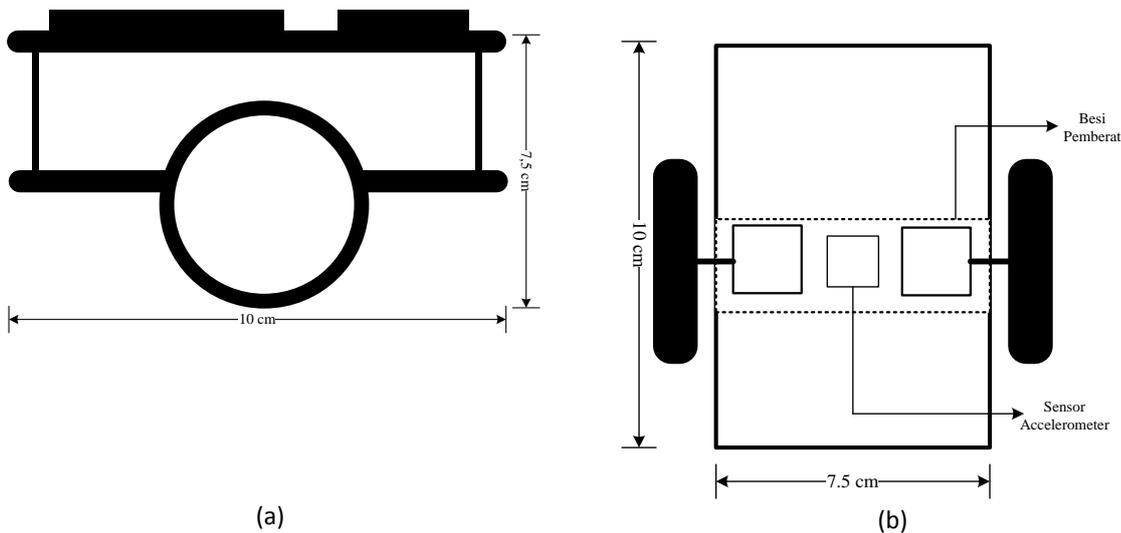
Dalam perancangan *hardware* mobil robot beroda dua ini penulis menggunakan beberapa peralatan dan bahan yang dibutuhkan dan membuat desainnya, adapun blok diagram desain kontrol keseimbangan robot mobil beroda dua dapat disajikan dalam gambar 7 dibawah ini:



Gambar 7. Blok Diagram Sistem Keseimbangan Robot Mobil Beroda Dua

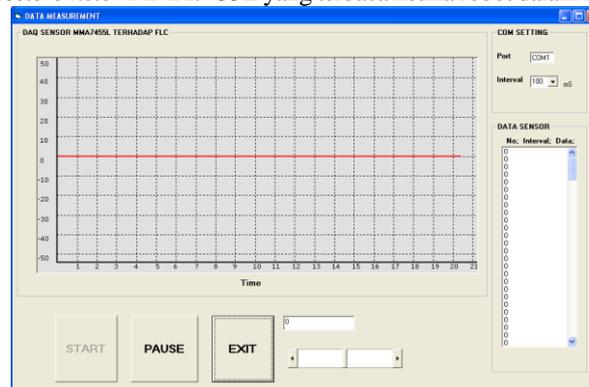
Pada diagram blok gambar 7 di atas menjelaskan bagaimana sistem robot mobil beroda dua mampu menyeimbangkan diri, posisi *body* robot akan dibaca oleh sensor *accelerometer* menjadi *input* mikrokontroler yang didalamnya sudah ditanamkan program dengan pendekatan *fuzzy logic*, hasil dari pengolahan data yang dilakukan oleh mikrokontroler (menjadi *output* dari *fuzzy logic*) kemudian ditransfer ke kedua roda untuk mengembalikan *body* robot ke kondisi setimbang.

Desain robot mobil beroda dua ini dirancang dengan memasang kedua rodanya berada pada poros tengah dari *body* robot sehingga akan diperoleh keseimbangan pembacaan data ketika robot miring ke kanan ataupun ke kiri. Konstruksi dari mobil robot beroda dua disajikan dalam gambar 8 dibawah ini.



(a) (b)
 Gambar 8. Konstruksi Robot Mobil (a) Tampak Samping (b) Tampak Bawah

Grafik pembacaan data sensor *accelerometer* MMA7455L terhadap respon motor DC dalam menyeimbangkan diri.
a. Grafik data sensor *accelerometer* MMA7455L yang terbaca ketika robot dalam kondisi seimbang (gambar 9)

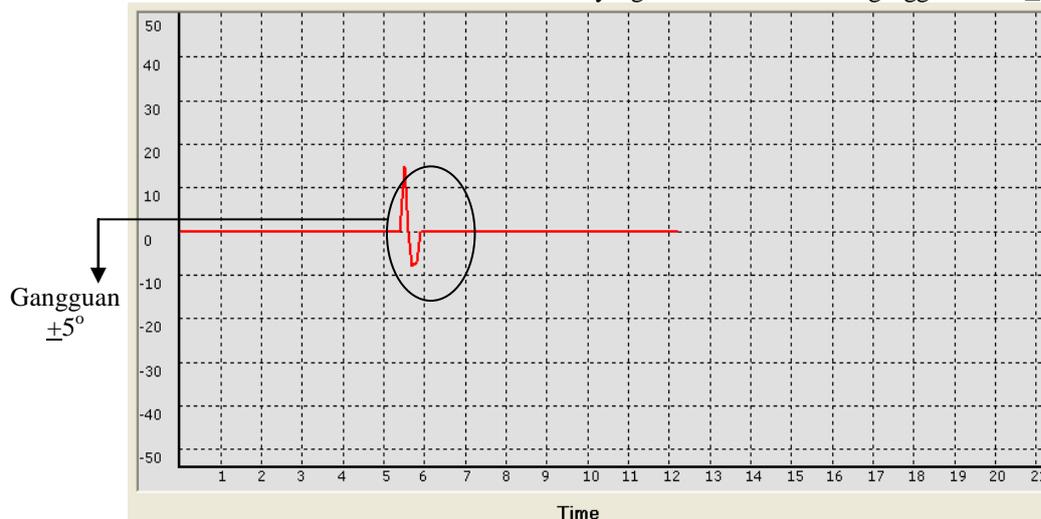


Gambar 9. Grafik Pembacaan *Accelerometer* MMA7455L Ketika Robot Dalam Kondisi Seimbang

Keterangan :

Pembacaan data sensor dilakukan per 100mS.

b. Grafik data sensor *accelerometer* MMA7455L yang terbaca ketika robot diganggu sebesar $\pm 5^\circ$ (gambar 10)



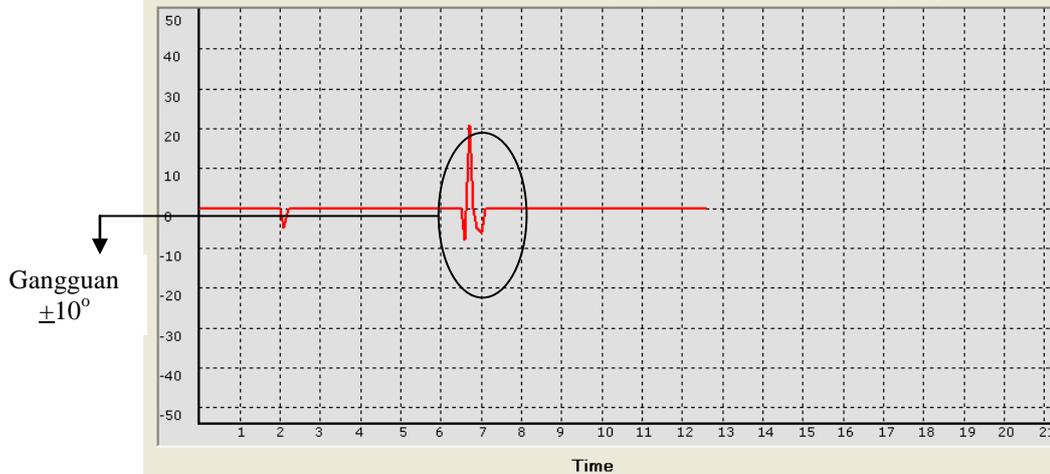
Gambar 10. Grafik Pembacaan *Accelerometer* MMA7455L Ketika Robot Diganggu $\pm 5^\circ$

Keterangan:

Pembacaan data sensor dilakukan per 100 mS, dengan pengaturan *time/div* = 1 S

Dari gambar grafik diatas dapat diketahui bahwa sistem akan kembali ke kondisi seimbang ketika mendapat gangguan sebesar $\pm 5^\circ$ dalam waktu 0,7S.

c. Grafik data sensor *accelerometer* MMA7455L yang terbaca ketika robot diganggu sebesar $\pm 10^\circ$ (gambar 11)



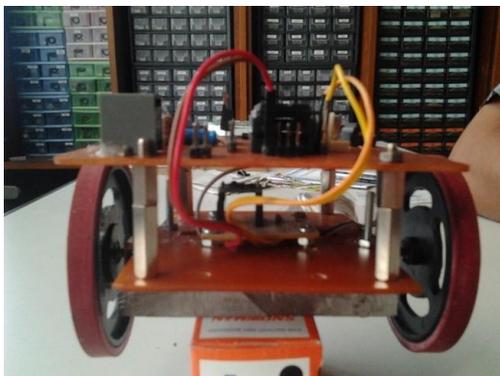
Gambar 11. Grafik Pembacaan *Accelerometer* MMA7455L Ketika Robot Diganggu $\pm 10^\circ$

Keterangan:

Pembacaan data sensor dilakukan per 100 mS, dengan pengaturan *time/div* = 1S

Dari gambar grafik diatas dapat diketahui bahwa sistem akan kembali ke kondisi seimbang ketika mendapat gangguan sebesar $\pm 10^\circ$ dalam waktu 0,8S.

Dibawah ini adalah hasil jadi dari robot beroda dua yang dijadikan sebagai objek penelitian dalam penerapan metode logika *fuzzy* untuk mengontrol keseimbangan robot supaya bisa berdiri diatas dua roda (gambar 12).



(a)



(b)

Gambar 12. *Prototype* Robot Mobil Beroda Dua (a) Tampak Depan (b) Tampak Samping

5. KESIMPULAN

1. Sistem kontrol keseimbangan yang diaplikasikan dalam *prototype* mobil robot beroda dua ini menggunakan metode logika *fuzzy*.
2. Penerapan 25 *rule* dalam kontrol keseimbangan mobil robot dua roda ini terbukti efektif menciptakan respon waktu yang lebih baik (terhadap penelitian sebelumnya).
3. Dengan menambahkan pemberat pada poros antara kedua roda menjadikan sistem keseimbangan robot mobil dapat berfungsi dengan baik.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alma'i Vidi Rahman, 2008, *Aplikasi Sensor Accelerometer Pada Deteksi Posisi*, hal 1-10
- [2] Budiharto Widodo, 2010, *Robotika teori dan implementasi*, ANDI Yogyakarta, Yogyakarta
- [3] Khoswanto Handry, Djoko Purwanto, *Keseimbangan Robot Beroda Dua Menggunakan Metode Fuzzy Logic, paper* Hal 1 – 10.
- [4] Laksana andra, 2010, *Balancing Robot Beroda Dua Menggunakan Metode Kendali Proporsional Integral*, Hal 1-8.
- [5] Nalwan Paulus Andi, 2003, *Teknik Antarmuka dan Pemrograman Mikrokontroler AT89C51*, Elexmedia Komputindo, Jakarta
- [6] Purwaningrum Netika, 2007, *Aplikasi Fuzzy Logic Untuk Pengendali Penerangan Ruang Berbasis Mikrokontroler Atmega8535*, UNNES, SEMARANG
- [7] Parallax inc, *MMA7455 3-Axis Accelerometer*, 2009, Parallax inc
- [8] Wati Dwi Ana Ratna, 2011, *Sistem Kendali Cerdas*, Graha Ilmu, Yogyakarta