

Implementasi *Fuzzy Logic Controller* untuk Pengendali Kecepatan Roda pada *Mobile Robot* dengan Variasi Nilai Set Point

Ratna Aisuwarya¹, Raihan Annafi¹

¹Jurusan Sistem Komputer, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Andalas.

Informasi Artikel

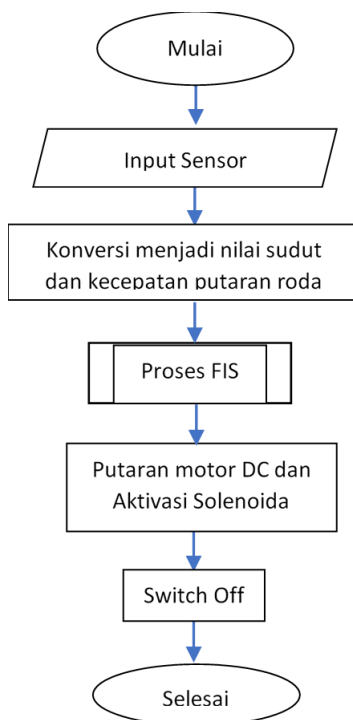
Naskah Diterima : 11 November 2017

Direvisi : 20 Desember 2017

Disetujui : 24 Desember 2017

*Korespondensi Penulis :
aisuwarya@fti.unand.ac.id

Graphical abstract



Abstract

Mobile robots are usually simulated in various path track, such as climbing, descending, or bumpy trajectories. Motor speed control is required to adjust the robot to follow the track. The aim of this research is to discuss how to control the speed of the motor in order to adjust the speed of the robot wheel in passing through different track hurdles. This research is done by designing fuzzy logic controller in mobile robot in order to control the speed of the robot wheel with some variation of set point value. Testing is performed on a flat and oblique path with a slope of incline and a derivative with a slope angle of -2° to 2° for flat category, slope of derivative with angle > 2 and slope of incline with angle $< -2^\circ$. The robot velocity control works by using MPU6050 which reads the value of the angle of conversion of accelerometer value with gyroscope on the x axis to the angle and IR sensor to read wheel speed (RPM), then controlled motor speed with fuzzy method whose output is PWM value based on condition slope. There are 3 conditions that are "horizontal", "climbing", and "downhill". The horizontal condition is at the angle ≥ -2 and ≤ 2 , the descending condition is at an angle < -2 and the climbing conditions are at an angle of > 2 . The result of the research test shows that the slope limit capable of executing the robot in order to reach the set point value at climbing condition is 15° and -15° in decreasing condition with the declared PWM range. The test results are also influenced by track conditions. The error value obtained is greater if the path track is not flat.

Keywords: Mobile Robot, MPU6050, Fuzzy Logic Controller

Abstrak

Mobile robot biasanya disimulasikan dalam berbagai variasi lintasan, seperti lintasan datar, mendaki, atau menurun. Diperlukan kontrol kecepatan motor untuk menyesuaikan robot mengikuti lintasan. Penelitian ini diperlukan dalam membahas tentang bagaimana mengendalikan kecepatan motor agar dapat menyesuaikan kecepatan roda robot di tanjakan maupun turunan. Penelitian ini dilakukan dengan merancang *fuzzy logic controller* pada *mobile robot* agar dapat mengendalikan kecepatan roda robot dengan beberapa variasi nilai *set point*. Pengujian *mobile robot* ini dilakukan pada lintasan dengan sudut kemiringan -2° sampai 2° untuk kategori datar, kemiringan turunan dengan sudut > 2 dan kemiringan tanjakan dengan sudut $< -2^\circ$. Kontrol kecepatan robot bekerja dengan menggunakan MPU6050 yang membaca nilai sudut hasil konversi nilai *accelerometer* dengan *gyroscope* pada sumbu x menjadi nilai sudut dan sensor IR untuk membaca kecepatan putaran roda (RPM), selanjutnya dilakukan pengendalian kecepatan motor dengan metode *fuzzy* yang outputnya berupa nilai PWM berdasarkan kondisi kemiringan. Ada 3 kondisi yaitu "mendatar", "mendaki", dan "menurun". Kondisi mendatar berada pada sudut $\geq -2^\circ$ dan $\leq 2^\circ$, kondisi menurun berada pada sudut < -2 dan kondisi mendaki berada pada sudut $> 2^\circ$. Hasil pengujian penelitian menunjukkan batas kemiringan yang mampu dijalankan robot agar dapat mencapai nilai set point pada kondisi mendaki adalah 15° dan -15° pada kondisi menurun dengan *range* PWM yang telah dideklarasikan. Hasil pengujian ini juga dipengaruhi oleh kondisi lintasan. Nilai *error* yang diperoleh semakin besar jika lintasan tidak rata.

Kata kunci: Mobile Robot, MPU6050, Fuzzy Logic Controller

© 2017 Penerbit Jurusan Teknik Elektro UNTIRTA Press. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Teknologi robotik saat ini mengalami kemajuan yang sangat pesat. Teknologi robot digunakan untuk menggantikan berbagai pekerjaan manusia, seperti pekerjaan yang membutuhkan ketelitian tinggi dan memiliki resiko tinggi terhadap keselamatan manusia, ataupun pekerjaan yang dilakukan berulang – ulang.

Mobile robot merupakan salah satu jenis robot yang banyak digunakan menggantikan pekerjaan manusia tersebut. *Mobile robot* dapat diterapkan dalam beberapa aplikasi seperti pemadam kebakaran, pengelompokan barang, pengikut objek, dan robot mobil. *Mobile robot* biasanya disimulasikan dalam berbagai variasi lintasan, seperti lintasan mendaki, lintasan menurun, atau lintasan bergelombang. Dalam melewati lintasan tersebut, tentunya diperlukan kontrol kecepatan motor untuk menyesuaikan robot mengikuti lintasan.

Dari penelitian mengenai kontrol kecepatan motor pada *mobile robot* ini sebelumnya telah dilakukan pada penelitian [1], telah menerapkan kontrol kecepatan motor DC pada *mobile robot*. Pada penelitian ini, kontrol PID digunakan untuk mengontrol kecepatan motor DC yang diterapkan pada *mobile robot left tracking*. Pada penelitian [2], kontrol *fuzzy* diterapkan untuk kontrol kecepatan motor dengan tambahan parameter jarak halangan di depan *mobile robot*. Namun pada kedua penelitian tersebut, masih menggunakan lintasan datar dalam pengujiannya. Padahal, pada implementasinya *mobile robot* juga diharapkan dapat melewati berbagai kondisi lintasan seperti tanjakan dan turunan yang membutuhkan kecepatan motor yang berbeda.

Pada penelitian [3], telah berhasil menerapkan robot tank dalam mengatasi beberapa lintasan seperti menanjak, menurun, tidak rata dan bergelombang. Namun karena tidak adanya sistem kontrol kecepatan terhadap perubahan kemiringan lintasan pada robot tersebut, robot sering mengalami masalah saat melewati lintasan tersebut. Sehingga, penelitian ini diperlukan dalam membahas tentang bagaimana mengendalikan kecepatan motor agar dapat menyesuaikan kecepatan roda robot dalam melewati rintangan tanjakan maupun turunan. Sistem kontrol *fuzzy* sugeno digunakan pada penelitian ini karena berdasarkan penelitian [4] metode sugeno menghasilkan nilai *error* yang lebih rendah. Dengan menerapkan sistem kontrol *fuzzy* pada motor DC [5][6][7] pada penelitian ini dapat menghasilkan mekanisme pengereman untuk memperlambat laju *mobile robot*.

2. METODE PENELITIAN

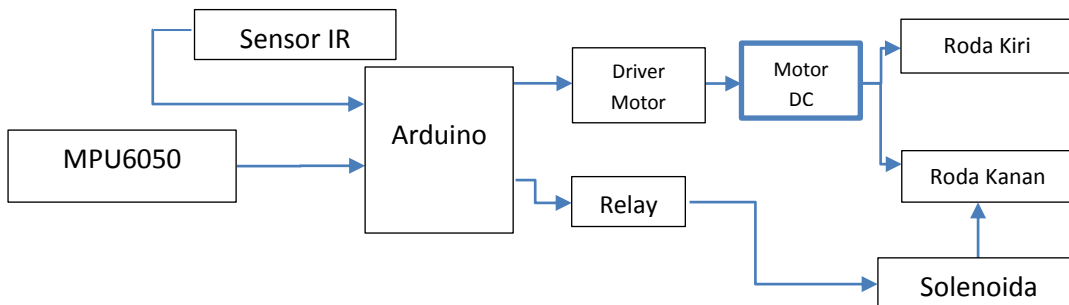
2.1 Analisa Kebutuhan Sistem

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai gambaran umum dari perancangan sistem yang akan dibangun. Berikut kebutuhan fungsional yang harus dimiliki sistem ini :

- a) Sistem dapat mendeteksi kemiringan robot.
- b) Sistem dapat mengendalikan kecepatan motor berdasarkan kondisi kemiringan robot.
- c) Sistem dapat mengaktifkan mekanisme rem untuk memperlambat laju mobil
- d) Sistem dapat membaca kelajuan robot.

2.2 Rancangan Umum Sistem

Pada bagian ini dijelaskan arsitektur sistem secara keseluruhan. *Mobile robot* yang digunakan telah tertanam komponen-komponen yang tersusun dalam perancangan yang dibangun. Gambar 1 berikut menunjukkan arsitektur yang dimiliki oleh sistem ini :



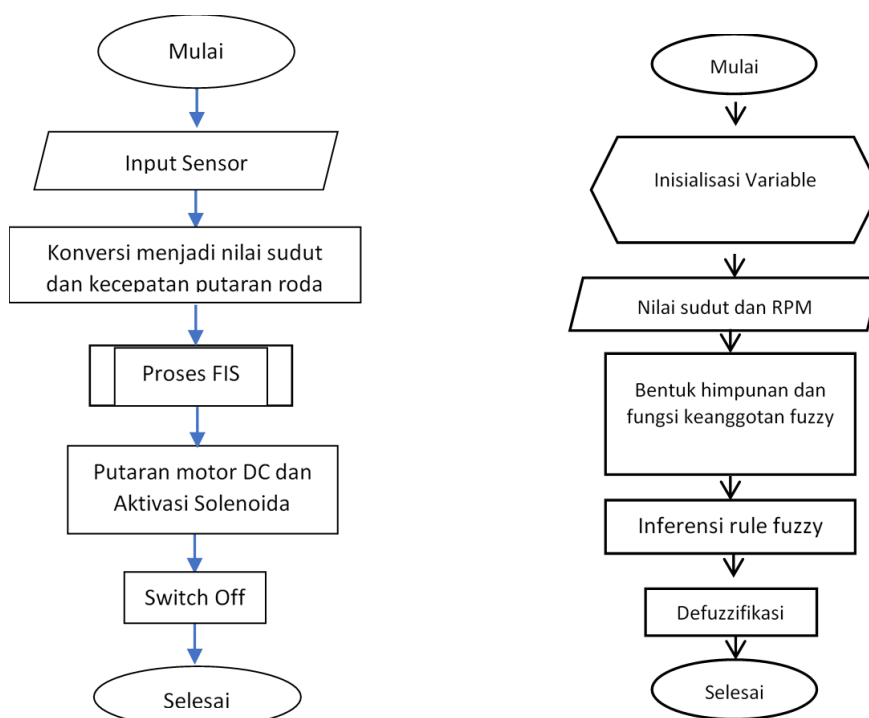
Gambar 1. Rancangan Umum Sistem

Berdasarkan gambar 1, sistem akan dirancang yaitu sistem akan aktif saat sensor MPU6050 mengukur sudut kemiringan robot dan sensor IR mengukur kecepatan putaran roda [8]. Lalu *Arduino* akan memproses data dari sensor tersebut dan dikirimkan outputnya berupa PWM ke driver motor untuk mengendalikan kecepatan motor, serta *Arduino* juga akan mengontrol proses aktivasi *relay* untuk mengaktifkan solenoida sebagai mekanisme rem robot untuk memperlambat laju robot.

Sistem pengontrolan akan aktif saat sensor membaca sudut kemiringan robot. Selanjutnya dilakukan proses fuzzifikasi berdasarkan sudut yang dibaca sensor. Kemudian output berupa pwm diberikan ke driver motor untuk mengontrol motor dimana nantinya robot akan mempertahankan kecepatannya pada set point yang ditetapkan.

Kontrol kecepatan robot bekerja dengan menggunakan MPU6050 yang membaca nilai sudut hasil konversi nilai *accelerometer* dengan *gyroscope* pada sumbu *x* menjadi nilai sudut dan sensor IR untuk membaca kecepatan putaran roda (RPM) selanjutnya dilakukan pengontrolan kecepatan motor dengan metode *fuzzy* yang outputnya berupa nilai PWM berdasarkan kondisi kemiringan. Ada 3 kondisi yaitu “datar”, “mendaki”, dan “menurun”. Kondisi datar berada pada sudut ≥ -2 dan ≤ 2 , kondisi menurun berada pada sudut < -2 dan kondisi mendaki berada pada sudut > 2 .

Sistem akan menggunakan metode *fuzzy logic control* agar dapat melakukan pengontrolan kecepatan motor berdasarkan kondisi kemiringan robot serta menstabilkan kecepatannya pada set poin masing-masing kondisi. Pada gambar 2 dapat dilihat alur dari program fuzzy logic controller yang dinamakan prosedur Fuzzy Inference System (FIS). Modul FIS digunakan sebagai pusat pengambilan keputusan untuk menentukan pwm yang akan digunakan untuk mengontrol kecepatan motor berdasarkan nilai sudut yang dibaca sensor MPU6050 dan RPM yang dibaca sensor IR. Proses ini dapat dijelaskan melalui diagram alir pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

2.3 Perancangan *Fuzzy Logic Controller*

Perancangan bentuk himpunan dan fungsi keanggotaan *fuzzy* dilakukan pada tahap fuzzifikasi. Selanjutnya dilakukan perancangan aturan *fuzzy* (*rule base fuzzy*) pada tahap inferensi *rule fuzzy*. Setelah itu dilakukan defuzzifikasi untuk menentukan output. Output dari prosedur FIS [9][10] inilah yang akan mempengaruhi PWM untuk mengontrol kecepatan motor DC.

a) Fuzzifikasi

Pada proses fuzzifikasi, nilai tegas (*crisp*) akan dirubah menjadi bentuk variabel linguistik yang berbentuk kurva sebelum diproses pada proses selanjutnya [11]. Jika *crisp* input memiliki derajat keanggotaan 1, maka *crisp* input tersebut sudah jelas termasuk dalam anggota variabel linguistik dari fungsi yang mengenaanya, hal yang sebaliknya akan terjadi jika nilai *crisp* input yang didapat adalah 0

b) Error

Error merupakan hasil yang didapatkan dari selisih antara nilai set poin yang telah ditetapkan sebelumnya dengan kecepatan putaran roda yang terbaca saat ini. Untuk mendapatkan variabel *error* digunakan persamaan:

$$Error = Sp - rpm$$

Keterangan :

$$Sp = \text{Set point}$$

$$rpm = \text{kecepatan putaran roda}(rpm)$$

Nilai *error* dibagi menjadi 5 fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan serta derajat keanggotaan untuk *error* adalah sebagai berikut:

i. *Negative Big* (NB)

Negatif besar yang bernilai < -50

$$\mu_{NB}(de) \begin{cases} 1, & e \leq -100 \\ \frac{(-50 - e)}{(-50 - (-100))}, & -100 \leq e \leq -50 \\ 0, & \text{others} \end{cases}$$

ii. *Negative Small* (NS)

Negatif kecil yang bernilai > -100 sampai > 0

$$\mu_{NS}(de) \begin{cases} 0, & \text{others} \\ \frac{(e - (-100))}{(-50 - (-100))}, & -100 \leq e \leq -50 \\ \frac{(0 - e)}{(0 - (-50))}, & -50 \leq e \leq 0 \end{cases}$$

iii. *Zero* (Z)

Nol bernilai > -50 sampai < 50

$$\mu_Z(de) \begin{cases} 0, & \text{others} \\ \frac{(e - (-50))}{(0 - (-50))}, & -50 \leq e \leq 0 \\ \frac{(50 - e)}{(50 - 0)}, & 0 \leq e \leq 50 \end{cases}$$

iv. *Positive Small* (PS)

Positif kecil yang bernilai > 0 sampai 100

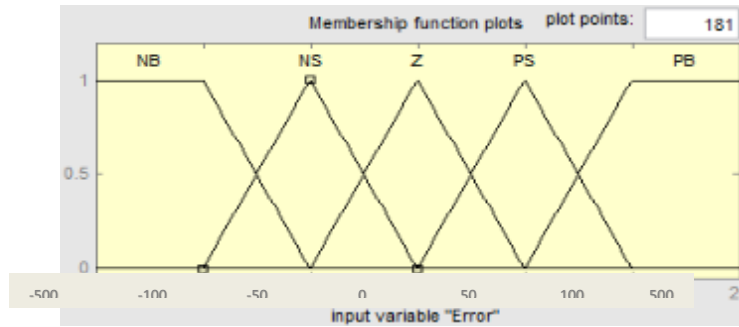
$$\mu_{PS}(de) \begin{cases} 0, & \text{others} \\ \frac{(e - 0)}{(50 - 0)}, & 0 \leq e \leq 50 \\ \frac{(100 - e)}{(100 - 50)}, & 50 \leq e \leq 100 \end{cases}$$

v. *Positive Big* (PB)

Positif besar yang bernilai >50

$$\mu_{PB}(de) \begin{cases} 0, & \text{others} \\ \frac{(e - 50)}{(100 - 50)}, & 50 \leq e \leq 100 \\ 1, & e \geq 100 \end{cases}$$





Gambar 3. Fungsi Keanggotaan *Error*

c) *Delta error*

$\Delta error$ merupakan selisih antara nilai *error* yang terbaca saat ini dengan nilai *error* yang terbaca sebelumnya. Untuk mendapatkan nilai variabel $\Delta error$ harus diketahui nilai *error* sebelumnya, untuk lebih jelasnya dapat diperhatikan persamaan berikut:

$$\Delta error = e_n - e_{n-1}$$

Keterangan:

e_n = *error* sekarang

e_{n-1} = *error* sebelumnya

Fungsi keanggotaan $\Delta error$ ditentukan dengan melihat perubahan *error* dari yang terkecil hingga *error* terbesar. Selanjutnya nilai $\Delta error$ tersebut dibagi menjadi 5 fungsi keanggotaan seperti fungsi keanggotaan *error*. Fungsi keanggotaan serta derajat keanggotaan untuk $\Delta error$ adalah sebagai berikut :

i. *Negative Big (NB)*

Negatif besar yang bernilai < -50

$$\mu_{NB}(de) \begin{cases} 1, & de \leq -100 \\ \frac{(-50 - de)}{(-50 - (-100))}, & -100 \leq de \leq -50 \\ 0, & \text{others} \end{cases}$$

ii. *Negative Small (NS)*

Negatif kecil yang bernilai > -100 sampai > 0

$$\mu_{NS}(de) \begin{cases} 0, & \text{others} \\ \frac{(de - (-100))}{(-50 - (-100))}, & -100 \leq de \leq -50 \\ \frac{(0 - de)}{(0 - (-50))}, & -50 \leq de \leq 0 \end{cases}$$

iii. *Zero (Z)*

Nol bernilai > -50 sampai < 50

$$\mu_Z(de) \begin{cases} 0, & \text{others} \\ \frac{(de - (-50))}{(0 - (-50))}, & -50 \leq de \leq 0 \\ \frac{(50 - de)}{(50 - 0)}, & 0 \leq de \leq 50 \end{cases}$$

iv. *Positive Small (PS)*

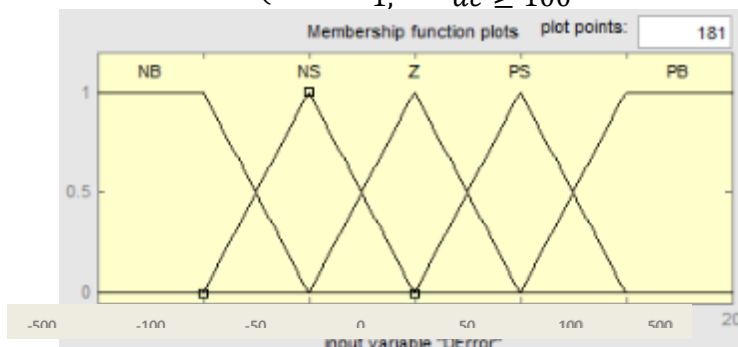
Positif kecil yang bernilai > 0 sampai 100

$$\mu_{PS}(de) \begin{cases} 0, & \text{others} \\ \frac{(de - 0)}{(50 - 0)}, & 0 \leq de \leq 50 \\ \frac{(100 - de)}{(100 - 50)}, & 50 \leq de \leq 100 \end{cases}$$

v. *Positive Big (PB)*

Positif besar yang bernilai >50

$$\mu_{PB}(de) \begin{cases} 0, & \text{others} \\ \frac{(de - 50)}{(100 - 50)}, & 50 \leq de \leq 100 \\ 1, & de \geq 100 \end{cases}$$



Gambar 4. Fungsi Keanggotaan ΔError

Rule Fuzzy untuk kontrol kecepatan robot diatur agar sesuai dengan kemiringan lintasannya sehingga robot dapat berjalan stabil mengikuti lintasan. Untuk proses pembentukan aturan (rule) ini menggunakan operator “and” untuk mengkombinasikan nilai variabel error untuk nilai derajat kemiringan dengan variable delta error-nya untuk mendapatkan nilai PWM yang diinginkan. Maka didapatkanlah aturan (rule) sebagai tabel 1 berikut:

Tabel 1. Tabel Aturan Fuzzy Sistem Kontrol Kecepatan

DE \ E	NB	NS	Z	PS	PB
NB	Slow	Slow	Slow	Slow	Sedang
NS	Slow	Slow	Slow	Sedang	Fast
Z	Slow	Slow	Sedang	Fast	Fast
PS	Slow	Sedang	Fast	Fast	Fast
PB	Sedang	Fast	Fast	Fast	Fast

d) Defuzzifikasi

Input dari proses defuzzifikasi adalah suatu himpunan fuzzy yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan fuzzy, sedangkan output yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan fuzzy tersebut. Sehingga jika diberikan suatu himpunan fuzzy dalam range tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai crisp tertentu sebagai output [12]. Salah satu metode defuzzifikasi adalah metode COG (Center of Gravity). Nilai keluaran tegas metode COG (Center of Gravity) adalah jumlah dari hasil kali keluaran fuzzy untuk setiap himpunan fuzzy keluaran dengan posisi singleton pada sumbu x setiap himpunan fuzzy keluaran dibagi dengan jumlah keluaran fuzzy untuk setiap himpunan fuzzy keluaran atau dapat dirumuskan pada persamaan berikut:

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

e) Kelajuan

Setelah mendapatkan kecepatan putaran roda, nilai RPM tersebut dikonversikan ke kelajuan dengan satuan Km/h. Persamaan untuk menghitung kelajuan adalah sebagai berikut :

$$Speed = Perimeter\ of\ wheel * speed\ of\ wheel$$

Keterangan:

Speed = kelajuan (Km/h)

Perimeter = keliling dari roda (km)

Speed of Wheel = Kecepatan Putaran Roda (RPH(Rotation Per Hour))



3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Implementasi

Tahap implementasi terbagi menjadi dua yaitu implementasi perangkat keras (*hardware*) dan implementasi perangkat lunak (*software*). Pada perangkat keras terdapat Sensor MPU6050 yang digunakan sebagai masukan dari sistem untuk mengetahui sudut kemiringan robot dan sensor IR yang digunakan untuk membaca kecepatan motor robot. Dan driver motor L298n yang menerima PWM dari mikrokontroler untuk mengontrol kecepatan motor robot. Serta *relay* dan *solenoida* yang berfungsi sebagai mekanisme rem agar dapat memperlambat kecepatan robot. Pemasangan perangkat sistem pada *mobile robot* dapat dilihat pada gambar 5 berikut.



Gambar 5. Implementasi Sistem pada *Mobile Robot*

Implementasi *software* pada sistem ini menggunakan *Arduino IDE*. Dilakukan implementasi *Fuzzy Inference System (FIS)* pada sistem kontrol. FIS digunakan untuk memproses *input* berupa hasil pembacaan dari sensor untuk mengukur sudut kemiringan robot dan mengeluarkan *output* berupa PWM untuk mengontrol kecepatan robot. Tahap pertama dari FIS yang digunakan pada sistem yaitu *Fuzzifikasi* dengan menggunakan metode Sugeno.

Untuk fungsi keanggotaan sudut terdapat tiga kondisi, yaitu “Menurun”, “Datar”, “Mendaki” yang nantinya akan menentukan kondisi PWM. *Output* dari FIS yaitu PWM untuk mengontrol kecepatan motor robot berdasarkan sudut kemiringan robot. Untuk mekanisme rem akan aktif saat *output* PWM berada pada kondisi “Lambat”. *Output fuzzy* berupa nilai PWM yang nilainya antara 0-255.

3.2 Pengujian

Logika *Fuzzy* digunakan untuk menentukan PWM sebagai kontrol kecepatan robot. Variabel yang digunakan untuk logika *fuzzy* adalah sudut kemiringan robot untuk menentukan kondisi PWM sebagai *output*. Logika *fuzzy* yang diterapkan pada sistem menggunakan metode Sugeno.

Pengujian dilakukan dengan cara menghitung nilai PWM yang dihasilkan oleh perhitungan logika *fuzzy* secara manual dengan hasil nilai PWM yang didapatkan oleh program. Perhitungan ini berguna untuk mengontrol kecepatan motor untuk mencapai set poin kecepatan berdasarkan kondisi sudut. Pengujian logika *fuzzy* dilakukan dengan cara menjalankan robot pada 3 kondisi :

a. Pengujian Robot pada Kondisi Mendatar

Pengujian dilakukan pada saat sensor MPU6050 membaca sudut pada *range* mendatar, yaitu pada sudut 0 sampai 4 derajat. RPM yang terbaca 461 dan set point yang diinginkan yaitu 483.

Berdasarkan konsep logika fuzzy, terlebih dahulu dihitung nilai *error* dan $\Delta error$ dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} error &= set\ point - rpm \\ &= 483 - 461 \end{aligned}$$

$$= 32 \text{ (error termasuk dalam fungsi keanggotaan positif kecil (ps))}$$

$$\Delta error = error - error(n-1)$$

$$= 32 - (50)$$

$$= -18 \text{ (\Delta error termasuk dalam fungsi keanggotaan negatif kecil (ns))}$$

Dari nilai *error* dan $\Delta error$ diatas, didapatkan nilai himpunan keanggotaan untuk masing-masing himpunan keanggotaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Error :} \quad ps &= 32/50 = 0.84 \\ \text{Zero} &= 50 - 32 / 50 = 0.36 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta error: \quad dzero &= -18 + 50 / 50 = 0.64 \\ dns &= 0 - (-18) / 50 = 0.36 \end{aligned}$$

Setelah didapatkan nilai masing-masing fungsi keanggotaan, selanjutnya nilai-nilai tersebut dihitung dengan rule yang telah ditentukan sebelumnya.

1. If *ps* and *dzero* then *fast* (rule 18)

$$\begin{aligned} \alpha_{18} &= \min(0,84, 0,64) = 0,64 \\ z_{18} &= 0,64 \times 160 = 102.4 \end{aligned}$$
2. If *ps* and *dns* then *middle* (rule 17)

$$\begin{aligned} \alpha_{17} &= \min(0,84, 0,36) = 0,36 \\ z_{17} &= 0,36 \times 130 = 46.8 \end{aligned}$$
3. If *zero* and *dzero* then *middle* (rule 13)

$$\begin{aligned} \alpha_{13} &= \min(0.36, 0,64) = 0,36 \\ z_{13} &= 0,36 \times 130 = 46.8 \end{aligned}$$
4. If *zero* and *dns* then *slow* (rule 12)

$$\begin{aligned} \alpha_{12} &= \min(0,36, 0,36) = 0,36 \\ z_{12} &= 0,36 \times 100 = 36 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} COG &= \frac{\sum_i(\text{Fuzzy Output}_i) \times (\text{Posisi Singleton di X axis}_i)}{\sum_i(\text{Fuzzy Output}_i)} \\ &= 102.4+46.8+46.8+36 / 0,64+0,36+0,36+0,36 = 232 / 1.72 = 134.8 \end{aligned}$$

Nilai PWM yang didapatkan dari perhitungan diatas yaitu 134.8. Karena PWM bertipe data integer maka hasil yang didapatkan adalah 134.

b. Pengujian Robot pada Kondisi Menurun

Pengujian dilakukan pada saat sensor MPU6050 membaca sudut pada *range* menurun, yaitu pada sudut > 4 derajat RPM yang terbaca 500 dan set point yang diinginkan yaitu 476. Berdasarkan konsep logika fuzzy, terlebih dahulu dihitung nilai error dan $\Delta error$ dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{error} &= \text{set point} - \text{rpm} \\ &= 300 - 276 \\ &= -24 \text{ (error termasuk dalam fungsi keanggotaan negatif kecil (ns))} \\ \Delta \text{error} &= \text{error} - \text{error}(n-1) \\ &= -24 - (-24) \\ &= 0 \text{ (\Delta error termasuk dalam fungsi keanggotaan zero)} \end{aligned}$$

Dari nilai error dan $\Delta error$ diatas, didapatkan nilai himpunan keanggotaan untuk masing-masing himpunan keanggotaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Error :} \quad ns &= -24 + 100 / 50 = 1.52 \\ \text{Zero} &= -24 + 50 / 50 = 0.52 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta \text{error:} \quad dps &= 0 - 0 / 50 - 0 = 0 \\ dzero &= 50 - 0 / 50 - 0 = 1 \end{aligned}$$

Setelah didapatkan nilai masing-masing fungsi keanggotaan, selanjutnya nilai-nilai tersebut dihitung dengan rule yang telah ditentukan sebelumnya.

- a) If *ns* and *dps* then *middle* (rule 9)

$$\begin{aligned} \alpha_9 &= \min(1.52, 0) = 0 \\ z_9 &= 0 \times 25 = 0 \end{aligned}$$

- b) If ns and zero then slow (rule 8)
 $\alpha_{17} = \min(1,52, 0) = 0$
 $z_{17} = 0 \times 50 = 0$
- c) If zero and dps then fast (rule 14)
 $\alpha_{13} = \min(0,52, 0) = 0$
 $z_{13} = 0 \times 0 = 0$
- d) If zero and dzero then middle (rule 13)
 $\alpha_{12} = \min(0,52, 1) = 0,52$
 $z_{12} = 0,52 \times 25 = 13$

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

$$= 0+0+0+5.2 / 0+0+0+13 = 0.4$$

Nilai PWM yang didapatkan dari perhitungan diatas yaitu 0.4. Karena PWM bertipe data integer maka hasil yang didapatkan adalah 0.

c. Pengujian Robot pada Kondisi Mendaki

Pengujian dilakukan pada saat sensor MPU6050 membaca sudut pada *range* mendaki, yaitu pada sudut < 0 derajat RPM yang terbaca 353 dan set point yang diinginkan yaitu 405. Berdasarkan konsep logika fuzzy, terlebih dahulu dihitung nilai error dan Δerror dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{error} &= \text{set point} - \text{rpm} \\ &= 405 - 353 \\ &= 52 \text{ (error termasuk dalam fungsi keanggotaan positif big (pb))} \\ \Delta\text{error} &= \text{error} - \text{error}(n-1) \\ &= 52 - (48) \\ &= 6 \text{ (}\Delta\text{error termasuk dalam fungsi keanggotaan positif kecil (dps))} \end{aligned}$$

Dari nilai error dan Δerror diatas, didapatkan nilai himpunan keanggotaan untuk masing-masing himpunan keanggotaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Error :} \quad \text{pb} &= 52-50 / 50 = 0.04 \\ \quad \quad \quad \text{ps} &= 100 - 52 / 50 = 0.96 \\ \Delta\text{error: dps} &= 6/50 = 0.12 \\ \quad \quad \quad \text{dzero} &= 50-6 / 50 = 0.88 \end{aligned}$$

Setelah didapatkan nilai masing-masing fungsi keanggotaan, selanjutnya nilai-nilai tersebut dihitung dengan rule yang telah ditentukan sebelumnya.

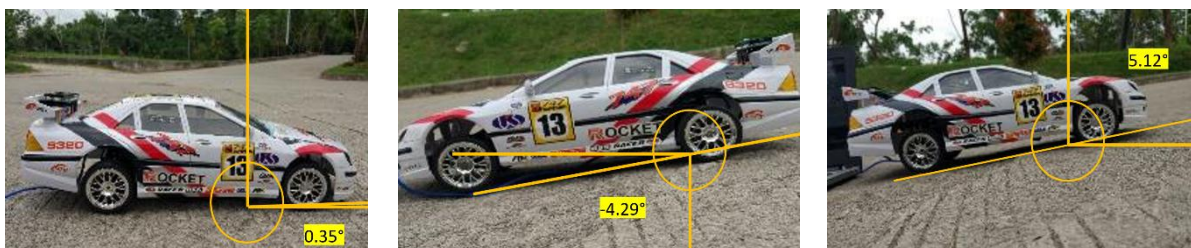
- a) If pb and dps then fast(rule 24)
 $\alpha_{25} = \min(0,04, 0,12) = 0,04$
 $z_{25} = 0,04 \times 255 = 10.2$
- b) If pb and dzero then fast (rule 23)
 $\alpha_{23} = \min(0,04, 0,88) = 0,04$
 $z_{23} = 0,04 \times 255 = 10.2$
- c) If ps and dps then fast (rule 19)
 $\alpha_{19} = \min(0,96, 0,12) = 0,12$
 $z_{19} = 0,12 \times 255 = 30.6$
- d) If ps and dzero then fast (rule 18)
 $\alpha_{18} = \min(0,04, 0,88) = 0,04$
 $z_{18} = 0,04 \times 255 = 10.2$

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



$$= 10.2+10.2+30.6+10.2 / 0,04+0,04+0,12+0,04 = 61.2 / 0.24= 255$$

Nilai PWM yang didapatkan dari perhitungan diatas yaitu 255 dengan tipe data integer.



Gambar 6. Variasi Lintasan Pengujian Sistem

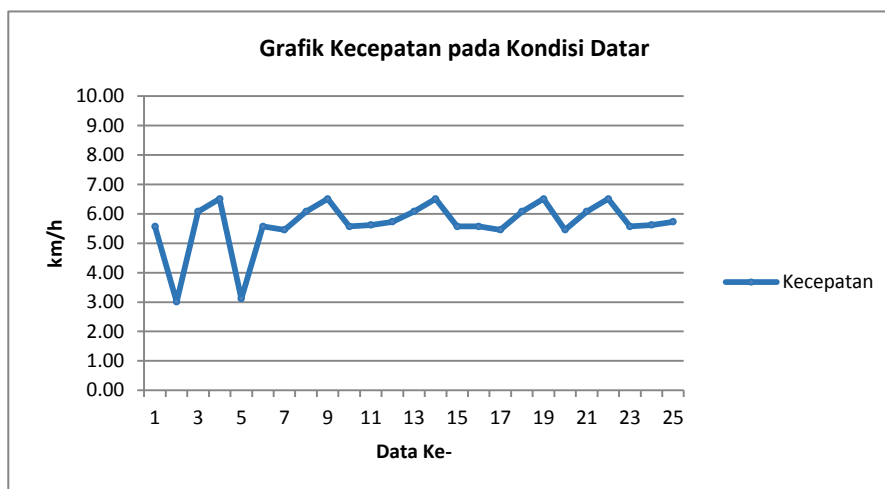
Setelah didapatkan sudut, kecepatan putaran roda, dan PWM, nilai kecepatan putaran roda (RPM) dikonversikan ke kelajuan dengan satuan km/h untuk melihat apakah sistem sudah berjalan dengan semestinya. Pengujian dilakukan di jalanan yang terbuat dari beton, dengan set poin RPM kondisi datar 483, kondisi mendaki 405, dan kondisi menurun 300.

Setelah pengujian, nilai-nilai sudut yang terbaca pada setiap kondisi dimana saat pengujiannya memiliki nilai RPM yang berubah-ubah karena perubahan sudut serta pengaruh lintasan robot diujikan. Untuk nilai PWM, dapat dilihat pada Lampiran 1 bahwa nilai PWM akan semakin besar jika nilai RPM semakin kecil, dan sebaliknya nilai PWM akan semakin kecil jika nilai RPM semakin besar. Karena nilai set point RPM berada diantara RPM yang didapat, otomatis PWM akan dikondisikan agar mencapai kestabilan nilai RPM robot yang ditentukan oleh *fuzzy logic control*.

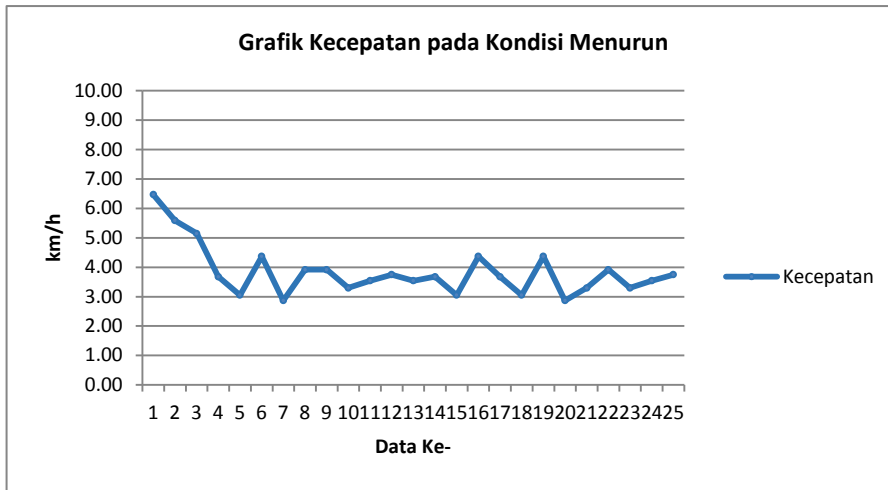
Nilai RPM berubah tidak normal diakibatkan permukaan lintasan yang diujikan tidak rata, mengakibatkan roda mendapatkan gaya gesekan yang berbeda-beda setiap waktunya dan nilai rpm jadi berubah seperti data pada Lampiran 1. Namun nilai kecepatan sebenarnya sudah dapat dikatakan stabil karena kelajuan pada kondisi mendaki berada pada range 4 km/h dan 5 km/h, kelajuan pada kondisi datar berada pada range 5 km/h sampai 6 km/h, dan kelajuan pada kondisi menurun berada pada range 3 km/h sampai 4 km/h.

Dari tabel data pengujian didapatkan kelajuan rata-rata yang didapatkan pada saat kondisi mendaki adalah 4.46 km/h. Kelajuan rata-rata pada saat kondisi datar 5.66 km/h. Dan untuk kelajuan rata-rata pada saat kondisi menurun adalah 3.8 km/h. Namun pada kondisi menurun ada sedikit perbedaan dari kondisi yang lain, dimana saat RPM besar dari setpoint, maka nilai PWM akan semakin besar. Karena pada kondisi ini, putaran motor akan berputar kearah yang berlawanan sehingga dapat memperlambat laju dari robot, serta rem solenoida akan aktif pada kondisi menurun.

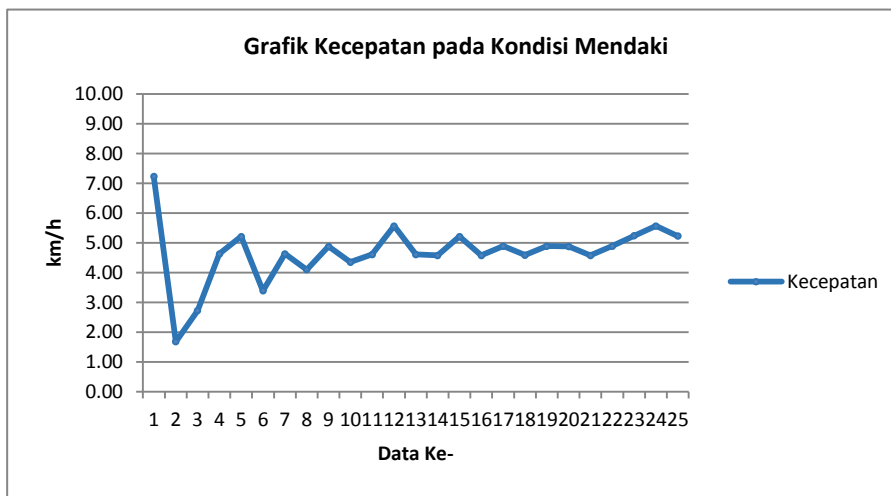
Dapat dilihat hasil pengujian sistem pada setiap kondisi pada grafik berikut.



Gambar 7. Hasil Pengujian pada Lintasan Mendatar



Gambar 8. Hasil Pengujian pada Lintasan Menurun



Gambar 9. Hasil Pengujian pada Lintasan Mendaki

4. KESIMPULAN

4.1 Kesimpulan

Setelah melakukan pengujian dan analisa dari sistem kontrol kecepatan robot berdasarkan sudut kemiringannya, didapat beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Perancangan sistem yang mampu mengendalikan kecepatan motor robot berdasarkan sudut kemiringannya diimplementasikan menggunakan metode *fuzzy logic control* untuk mengendalikan kecepatan motor robot berdasarkan variasi sudut kemiringannya.
2. Pengujian MPU6050 sebagai sensor untuk membaca sudut berhasil dilakukan dengan keberhasilan 100%, namun pada saat pengujian ada sedikit delay dalam pembacaan karena banyaknya data yang menjadi output Arduino Uno.
3. Nilai error rata-rata yang didapatkan dari perhitungan nilai RPM oleh sensor IR adalah 0.036% berdasarkan perhitungan alat konvensional tachometer.
4. Batas kemiringan yang mampu dijalankan robot agar dapat mencapai nilai set point pada kondisi mendaki adalah 15° dan -15° pada kondisi menurun dengan range PWM yang telah dideklarasikan.
5. Lintasan sangat berpengaruh pada pengujian robot karena jika lintasannya tidak rata, maka error akan semakin besar.

4.2 Saran

Untuk melakukan pengembangan pada penelitian ini ada beberapa saran agar penelitian selanjutnya bisa mengurangi kesalahan dan mendapatkan data yang lebih akurat, yaitu :

1. Menambahkan fungsi robot agar dapat bergerak berbelok di lintasan.
2. Pengurangan berat robot karena mempengaruhi kinerja sistem robot dan menguras sumber daya dari baterai yang dipakai.

REFERENSI

- [1] Defit, Putra Renofa, “Pengontrolan Kecepatan Motor DC pada *Mobile Robot Left Tracking* Menggunakan Metoda PID”, Sistem Komputer, Universitas Andalas. Padang, 2014.
- [2] Erwin Susanto dkk, “Rancang Bangun Kendali Kecepatan Berdasarkan Jarak Pada *Mobile Robot* Menggunakan Metode *Fuzzy Logic*”, Teknik Elektro, Universitas Telkom, 2015.
- [3] Badidi, Julianto Rebbi, “Rancang Bangun Robot Tank Otomatis Pendeteksi Halangan dengan Kendali Fuzzy Logic”, Sistem Komputer, Universitas Andalas. Padang, 2013.
- [4] I. Nawawi dan B. Fatkhurrozi, “Studi Komparasi Kendali Motor DC dengan Logika Fuzzy Metode Mamdani dan Sugeno”, Jurnal Wahana Ilmuwan, Vol.2, No. 2, 2016.
- [5] David Setiawan, “Rancang Bangun Robot Mobil Kontrol Sederhana menggunakan Arduino Berbasis Android System,” Jurnal Sains, Teknologi dan Industri., vol. 14, no. 1, pp. 101–107, 2016.
- [6] A. Hidayat, Nasrullah, Ramiati, “Pengaturan Kecepatan Motor DC untuk Alat Pembersih Gabah Kering dengan Metode Fuzzy”, Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar, Vol.6, pp. 9-15, 2015.
- [7] A.T. Budiarto, “Prototype Sistem Pengereman Kendaraan dengan Fuzzy Logic dan Sensor Kecepatan Berbasis Mikrokontroler ATmega8535”, Jurnal Elektronik Pendidikan Teknik Elektronika, Vol. 5, No. 1, pp.1-5, 2016.
- [8] P. Riky Tri Yunardi, Winarno, “Analisa Kinerja Sensor Inframerah dan Ultrasonik untuk Sistem Pengukuran Jarak pada Mobile Robot Inspection,” *Jurnal. Sistem Kendali-Tenaga-Elektronika-Telekomunikasi-Komputer(Setrum)*, vol. 6, no. 1, pp. 33–41, 2017.
- [9] Kusumadewi, S, “Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan” , Graha Ilmu, Yogyakarta, 2004.
- [10] Kuswadi, S, “Kendali Cerdas, Teori dan Aplikasi Praktisnya”, Andi, Yogyakarta, 2007.
- [11] Supriyono, H., dan Roosyidi, R., “Implementasi Pengendalian Kecepatan Motor DC dengan Pengendali Fuzzy-PID menggunakan Realtime Windows Target Matlab 6.5”, Jurnal Penelitian Sains & Teknologi, Vol. 9, No. 2, 2008.
- [12] Sutikno, dan Waspada, I., “Perbandingan Metode Defuzzifikasi Sistem Kendali Logika Fuzzy Model Mamdani pada Motor DC”, Jurnal Masyarakat Informatika, Volume 2, Nomor 3, ISSN 2086 – 4930, 2011.