RANCANG BANGUN KENDALI KECEPATAN BERDASARKAN JARAK PADA MOBILE ROBOT MENGGUNAKAN METODE FUZZY LOGIC

DESIGNING CONTROLLED SPEED MOBILE ROBOT BASED ON DISTANCE USING FUZZY LOGIC METHOD

Erwin Susanto, Porman Pangaribuan, Ronaldo G P Hasibuan

Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
ronaldogustv@gmail.com

Abstrak

Sistem Pengendalian pada *mobile robot* pada jaman sekarang sudah sangatlah berkembang, produsen sedang berlomba meningkatkan sistem pengendalian yang baru pada *mobile robot*. Semakin mudahnya *mobile robot* dikendalikan akan lebih baik. Dibalik itu sistem keamanan juga terus diperbaharui dan banyak diaplikasikan pada *mobile robot*.

Sistem Pengendalian sangatlah luas. *Fuzzy Logic* atau pengaplikasian pengendalian dengan logika samar yang mampu memberi perspektif kompleks yang mendekati pengambilan keputusan pada manusia akan sangat berguna bila diaplikasikan dalam pengendalian kecepatan melalui jarak. Konsep *Fuzzy Logic* ini akan diaplikasikan pada *mobile robot*. Pengaplikasiannya akan dilakukan pada motor DC yang merupakan penggerak dari *mobile robot* itu sendiri, yang menggunakan pengaturan *Pulse Width Modulation* dengan mengatur tegangan referensi dari *duty cycle* dari motor tersebut.

Fuzzy Logic dapat diimplementasikan di *mobile robot* dan diklasifikasikan menjadi 5, yaitu sangat cepat dengan kecepatan 0,833 m/s, cepat dengan kecepatan 0,654 m/s, normal dengan kecepatan 0,533 m/s, lambat dengan kecepatan 0,328 m/s, dan sangat lambat dengan kecepatan 0,255 m/s. Sementara perlambatan mobile robot dari 20cm menuju 5cm dengan asumsi kecepatan awal 0,533 m/s adalah sebesar .

Kata Kunci: Kontrol Kecepatan, *Fuzzy Logic*, *Pulse Width Modulation* , *Mobile Robot*, Motor DC

Abstract

Controlling system in mobile robots have developed rapidly these days. Manufacturers are currently competing by creating high-end controlling system technology in mobile robots and improving its capabilities. The easier the mobile robots to be controlled, the better. On the other hand, security systems are developing as well and mainly applied in mobile robots.

Controlling system is wide. Fuzzy logic or the application of control through fuzzy logic could give complex perspective, even approaching human decision making system, which would be very beneficial if it is applied to speed controlling system. Fuzzy logic concept will be applied to mobile robot using DC motor which is the motor of the robot itself, which use Pulse Width Modulation configuration by managing reference voltage using the motor's duty cycle.

Fuzzy Logic that implemented in mobile robots are classified into 5, which is very fast with a speed of 0,833 m / s, fast with a speed of 0.654 m / s, normally with a speed of 0.533 m / s, slower with a speed of 0.328 m / s, and very slow with speed of 0.255 m / s. While the slowdown mobile robot from 5cm to 20cm toward assuming the initial velocity of 0.533 m / s are at -0.93895 m / s ^ 2.Key Word: *Fuzzy Logic*, *Pulse Width Modulation* PWM, *Mobile Robot*, Motor DC

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi semakin pesat dari waktu ke waktu. Pengendalian merupakan salah satu isu perkembangan teknologi yang tidak luput dari perhatian dan memiliki aplikasi yang sangat berguna pada kehidupan manusia sendiri. Mobile Robot sendiri merupakan sebuah wadah dari kecerdasan itu sendiri, merupaka sebuah gabungan dari beberapa komponen seperti motor, kontroller, sensor, dan lainnya disusun menjadi satu yang bekerja sesuai dengan keinginan pembuatnya. *Artificial Intelegence* (AI) merupakan salah satu kecerdasan buatan yang sangat banyak diaplikasikan pada robot untuk keperluan industri dan berbagai tempat lainnya untuk menggantikan pekerjaan manusia yang sulit maupun berbahaya. *Artificial Intelegence* memungkinkan robot dapat memproses informasi serta mengambil keputusan layaknya manusia. Hal tersebut dapat menjadi solusi dari berbagai permasalahan yang ada di dunia.

Penerapan sistem kendali cerdas atau *Artificial Intelegence* pada sebuah robot tidaklah mudah, tetapi tidak menutup kemungkinan untuk melakukan hal tersebut. Seiring perkembangan waktu ada banyak metode dari sistem kendali cerdas yang dapat diimplementasikan yang juga memiliki jenis kontrol yang sangat beragam.

Penerapan sistem kendali cerdas pada *mobile robot* pada hari ini masih memiliki beberapa kelemahan dan keterbatasan. Sehingga pengembangan spesifikasi dan kemampuan robot sendiri perlu untuk dilakukan, didukung dengan pengaplikasian sistem kendali cerdas yang juga sudah berkembang seiring dengan waktu. Dari sistem kendali cerdas yang sudah berkembang mobile robot kontrol kecepatan berdasarkan jarak dapat bekerja dengan stabil, serta dapat berhenti ketika benda didepan sudah terlalu dekat agar terhindar dari kecelakaan.

Teknologi yang dapat diaplikasikan untuk mencapai tujuan tersebut adalah logika *fuzzy*. Pengguna logika *fuzzy* atau logika samar ini sendiri sudah sangatlah luas didukung dengan perkembangannya yang sangat pesat. Logika *fuzzy* juga sudah merupakan bahan dasar dalam perancangan sistem kecerdasan robot.

Maka tugas akhir ini akan membuat suatu desain dan implementasi dari logika *fuzzy* pada *mobile robot* kontrol kecepatan berdasarkan jarak agar dapat mengambil keputusan yang akurat dari masukan yang ada. Kecepatan akan dikontrol dari masukan jarak *mobile robot* dari benda didepannya, menjaga kestabilan dalam bergerak, dan terhindari dari kecelakaan.

2. Landasan Teori

2.1 Logika Fuzzy

Logika *Fuzzy* pertama kali diajukan oleh Zadeh pada pertengahan tahun 1960 (Nikola K, 1998 dari Setiyowati, M.I dan Seta, B.A. 2007). Logika *Fuzzy* memberi solusi dalam persoalan-persoalan yang berlogika samar atau tidak pasti, maka pengolahan informasi yang dilakukan menggunakan logika berbasis *fuzzy* bukan logika *non-fuzzy* atau konvensional karena logika konvensional kirang dapat merepresentasikan kebutuhan dalam pengolahan informasi tertentu. Model dari *fuzzy* atau *query fuzzy* sendiri beragam. Logika *fuzzy* sendiri berawal dari pemikiran Lutfi Zadeh bahwa logika benar dan salah atau logika Boolean/konvensional tidak dapat mengatasi masalah gradasi yang ada di dunia nyata, untuk itu Lutfi Zadeh mengembangkan himpunan samar.

2.2 Mikrokontroller Arduino Uno

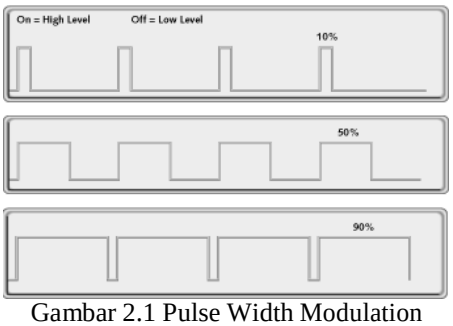
Mikrokontroler merupakan sebuah sistem computer lengkap dalam satu chip/ serpih. Mikrokontroller berbeda dengan mikroprosessor karena dalam suatu mikrokontroller sudah terdapat ROM (*Read-Only Memory*), RAM (*Read-Write Memory*), beberapa standar masukan (*input*) dan keluaran (*output*), beberapa peripheral seperti pencacah atau pewaktu, ADC (*Analog to Digital Converter*), DAC (*Digital to Analog Converter*) dan serial komunikasi.

Tipe mikrokontroler sendiri sangat beragam dan sangat sering digunakan dalam berbagai jenis sistem pengendalian. Mikrokontroller yang digunakan pada saat ini adalah Mikrokontroller dengan merek Ardyino. Mikrokontroler Arduino sangat umum digunakan karena mudah digunakan dan sangat umum dalam penggunaannya. Mikrokontroller Arduino sendiri memiliki berbagai tipe seperti Arduino Uno, Arduino Mega, dan banyak tipe Arduino lainnya. Setiap Arduino memiliki kelebihannya masing-masing yang dapat dipakai user sesuai dengan kebutuhannya.

2.3 Pulse Width Modulation (PWM)

*Pulse Width Modulatio*n (PWM) adalah metode yang sangat efektif dan sangat umum dipakain dalam pengendalian kecepatan pada motor DC. PWM sendiri bekerja dengan membuat gelombang persegi yang mempunyai perbandingan tertentu antara pulsa high dengan pulsa low yang diskalakan dari 0% sampai dengan 100%. Gelombang persegi yang dihasilkan mempunyai frekuensi yang tetap, yang biasanya bernilai maksimal pada 10KHz, namun lebar pulsa high dan low dalam 1 periode akan diatur. Jumlah daya yang diberikan ke motor DC akan ditentukan melalui perbandingan pulsa *high* terhadap pulsa *low*.

PWM adalah pulsa yang dihasilkan oleh mikrokontroler yang lebar pulsanya dapat diatur seusai dengan kebutuhan user. Lebar dari pulsa yang dapat dirubah-rubah dapat menentukan kecepatan dari motor DC dengan kombinasi dengan driver motor. Cara kerja PWM sendiri adalah dengan merubah-rubah secara berulang-ulang lebar pulsa *output* dari pin high dan pin *low* secara cepat. Dengan adanya perubahan lebar pulsa yang berbeda-beda menghasilkan rata-rata output pada pin tersebut. Jika rata-rata keluarannya high maka *output*nya akan *high*, jika kebanyakan keluarannya *low* maka outputnya akan *low*. Perubahan dari lebar pulsa juga mengakibatkan perubahan ekivalensi dari sinyal analog motor dan perubahan ekivalen dari sinyal analog motor tersebut menyebabkan kecepatan putar motor DC dapat diatur sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 2.1 Pulse Width Modulation

Motor DC hanya dapat dijalankan dengan PWM tanpa menggunakan *relay*, dan harus menggunakan driver motor DC. Rangakaian yang paling sederhana sendiri berupa transistor yang dirancang dengan susunan Darlington. Transistor yang dipakai berjenis NPN dengan tipe BC547. Rangkaian tersebut mengalirkan arus sampai 100mA DC.

Motor DC dapat bergerak 2 arah dengan memanfaatkan rangkaian *H-Bridge*. IC driver motor DC khusus juga dapat menggunakan untuk menggantikan transistor atau menggunakan modul *driver* motor DC yang sap pakai pada mikrokontroller.

Dengan prinsip kerja seperti yang dijelaskan di atas, duty cycle dapat didapatkan melalui perbandingan antara tegangan reverensi dan tegangan *carrier* agar keluarannya sesuai dengan yang dibutuhkan dengan mengubah nilai dari tegangan referensi. Dapat dituliskan sebagai berikut.

Duty Cycle =————

3. Perancangan

3.1 Perancangan Sistem

Mobile robot dengan kontrol kecepatan berdasarkan jarak ini dapat mengontrol kecepatan perputaran dari motor dc untuk mempercepat atau melambat sesuai dengan jarak benda yang ada didepannya tanpa perlu bantuan operator. Proses ini berlangsung secara berulang-ulang.

Mobile robot kontrol kecepatan menggunakan dua buah motor yang dipasang di roda bagian kiri dan kanan, motor DC dikontrol sehingga kecepatan *mobile robot* dapat disesuaikan dengan keadaan.

Pada *mobile robot* dapat melakukan pengukuran jarak dengan benda yang ada didepan dengan disamping demi mencegah kecelakaan menggunakan transduser ultrasonik sebagai komponen pengindera. Transduser ultrasonik dipasang pada mobile robot di bagian depan *mobile robot* dipasang transduser ultrasonik sehingga *mobile robot* dapat mengindra keberadaan benda didepan. Transduser ultrasonik bagian depan berfungsi untuk mengindra keberadaan benda yang terdapat di depan, dengan begitu *mobile robot* dapat menyesuaikan kecepatan yang tepat dan aman, Dan ketika jarak benda didepan sudah terlalu dekat maka mobil robot akan berhenti dengan sendirinya.

Pada *mobile robot* untuk mengetahui informasi dari keberadaan benda yang ada didepan dan kecepatan dari *mobile robot* dapat dibaca oleh operator pada LCD, sehingga operator juga dapat mengetahui persis jarak benda didepan pada saat tertentu.

Mobile robot hampir sepenuhnya tidak dikendalikan oleh operator, operator hanya mengendalikan *mobile robot* dengan mengaktifkan untuk dijalankan atau diberhentikan selebihnya *mobile robot* akan dikontrol penggeraknya dengan menggunakan *fuzzy logic* controller, sehingga semua sudah dikontrol otomatis tanpa membutuhkan operator untuk pengendalian secara langsung.

Fuzzy Logic Controller adalah suatu sistem pengendali yang menggunakan penalaran atau pengambilan keputusan selayaknya manusia. Pada kasus ini, sensor ultrasonik akan memberi informasi berupa jarak antara *mobile robot* dengan benda yang ada didepan, kemudian *fuzzy logic controller* akan memproses dan mengolah informasi berupa jarak yang dihasilkan oleh sensor ultrasonik, lalu hasil olahan informasi tersebut dengan menggunakan *fuzzy logic* akan menghasilkan keputusan yang keluarannya berupa kecepatan dari motor DC.

3.1.1 Perancangan Perangkat Keras

Dari kebutuhan sistem yang telah diklasifikasikan di atas, terdapat beberapa perangkat keras yang dibutuhkan agar sistem dapat berjalan sesuai dengan tujuan. Perangkat keras itu sendiri terbagi menjadi tiga bagian, yaitu komponen masukan/input, proses, dan keluaran/output.

Tabel 3.1 akan menunjukan komponen perangkat keras yang dibutuhkan dalam pembangunan sistem mobile robot kontrol kecepatan berdasarkan jarak di bawah ini.

Tabel 3.1 Komponen utama kebutuhan perangkat keras

Tabel 3.1 Kebutuhan Perangkat Keras

No	Perangkat	Jumlah	Deskripsi
1	Transduser Ultrasonik	1	Sensor Pendeteksi Jarak
2	Motor DC	1	Aktuator
3	LCD 16X2	1	Untuk menampilkan informasi
4	Arduino Uno	1	Mikrokontroller atau pengendali

3.1.2 Perancangan Perangkat Lunak

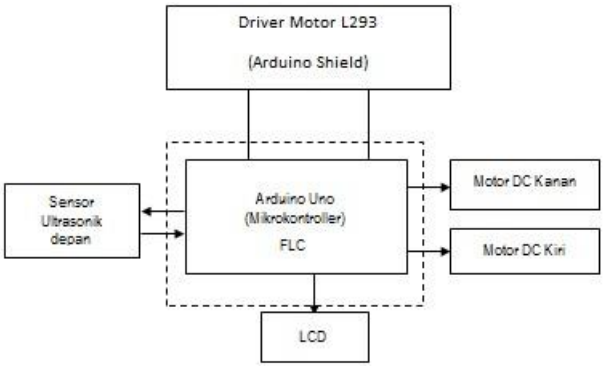
Dari kebutuhan sistem yang telah diklasifikasikan di atas, terdapat beberapa perangkat lunak yang dibutuhkan agar sistem dapat berjalan sesuai dengan tujuan. Perangkat lunak sendiri bertujuan untuk membantu komponen perangkat keras agar bekerja optimal atau sesuai dengan tujuan, serta semua sistem dapat berfungsi pada *mobile robot*.

Tabel 3.2 akan menunjukan komponen perangkat lunak yang dibutuhkan dalam pembangunan sistem mobile robot kontrol kecepatan berdasarkan jarak di bawah ini.

Tabel 3.2 Kebutuhan Perangkat Lunak

No	Nama Kebutuhan	Deskripsi
1	Pengaturan Transduser Ultrasonik	Algoritma pengenalan yang dibutuhkan sebelum menyambungkan dan membaca Transduser Ultrasonik.
2	Pengaturan Motor DC	Algoritma pengenalan yang dibutuhkan sebelum menyambungkan dan membaca Motor DC.
3	Pengaturan LCD	Algoritma pengenalan yang dibutuhkan sebelum menyambungkan dan membaca LCD.
4	Logika Fuzzy	Logika *Fuzzy* berfungsi dalam mengontrol masukan dengan proses *fuzzy logic* dan menghasilkan keluaran sesuai dengan tujuan atau *rule fuzzy* yang telah ditentukan.

1.1 Desain Sistem



Gambar 3.1 Desain Sistem

Di bawah ini merupakan penjelasan detail dari komponen keras yang digunakan dalam desain sistem *mobile robot*.

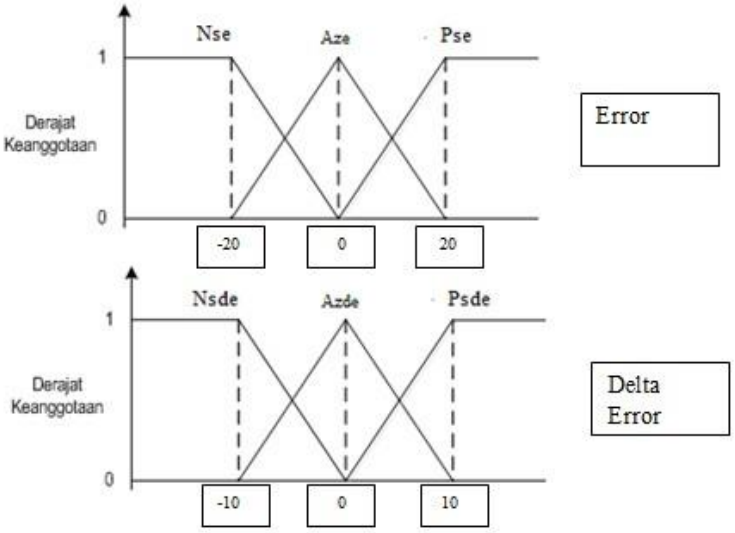
1. Mikrokontroller : berfungsi sebagai otak yang mengontrol atau memproses semua masukan dan keluaran dan menghasilkan *output* yang akan dijalankan oleh perangkat-perangkat keras keluaran (*output*).
2. FLC : berfungsi dalam mengendalikan dan melakukan proses *fuzzy* dan menghasilkan keluaran yang sesuai dengan tujuan.
3. Sensor Ultrasonik Depan : berfungsi untuk mendapatkan informasi jarak dengan benda pada bagian depan, kanan, dan kiri.
4. Motor DC Kiri : berfungsi sebagai penggerak roda pada *mobile robot*.
5. Motor DC Kanan : berfungsi sebagai penggerak roda pada *mobile robot*.
6. LCD : berfungsi untuk menunjukan informasi yang dibutuhkan.

3.3 Fuzzy Logic

Metode *Fuzzy* yang digunakan dalam perancangan logika *fuzzy* di sistem *mobile robot* kontrol kecepatan berdasarkan jarak ini adalah metode *fuzzy* sugeno, lalu setelah algoritma *fuzzy* dirancang akan dimasukan kedalam mikrokontroller.Perancangan logika *fuzzy* sendiri terbagi menjadi tiga, yaitu fungsi keanggotaan, basis aturan, dan defuzzifikasi.

Pada sistem *mobile robot* kontrol kecepatan berdasarkan jarak terdapat dua sensor ultrasonik pada bagian depan yang menghasilkan nilai variabel linguistik pada himpunan *fuzzy* dikategorikan berdasarkan jarak dan dibagi menjadi tiga, yaitu dekat, normal, dan jauh. Dari himpunan *fuzzy* tersebut dapat diambil sebuah himpunan yang menggunakan informasi atau masukan dari sensor depan.

Fungsi keanggotaan masukan/ *input* dari sensor ultrasonik bagian depan diuraikan secara detail pada gambar 3.2 di bawah ini.

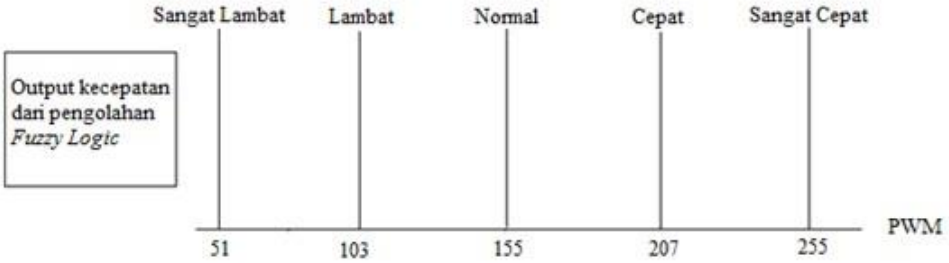


Gambar 3.2 Fungsi keanggotan *input* sensor ultrasonik depan

Gambar 3.2 di atas menunjukan dua himpunan *fuzzy* yang merupakan nilai dari error dan delta error dari ultrasonik depan dalam sistem *mobile robot* kontrol kecepatan berdasarkan jarak yang diharapkan. Derajat

keanggotaan merupakan penentu dari keanggotaan himpunan *fuzzy*, derajat keanggotaan yang menentukan tingkat kesesuaian setiap anggota dengan fungsi keanggotaan sudah yang ditentukan dalam himpunan *fuzzy* di atas. Aturan dari variabel linguistik di atas berbasis jarak dengan menggunakan satuan centimeter (cm).

Dari pengolahan *fuzzy* di atas, setelah masukan diproses dihasilkan keluaran (*output*) pada fungsi keanggotaan. Nilai keluaran dari proses tersebut berupa nilai kecepatan yang akan dijalankan pada *mobile robot* kontrol kecepatan berdasarkan jarak. Gambar 3.3 akan menggambarkan detail dari keluaran (*output*) yang merupakan kecepatan dari *mobile robot*.



Gambar 3.3 Output Jarak dari pengolahan *Fuzzy Logic*

Tabel 3.5 berikut menguraikan *fuzzy rule* hasil dari pengolahan masukan dengan proses *fuzzy* logic yang akan digunakan sebagai basis aturan keluaran (*output*).

Tabel 3.5 *Fuzzy Rule*

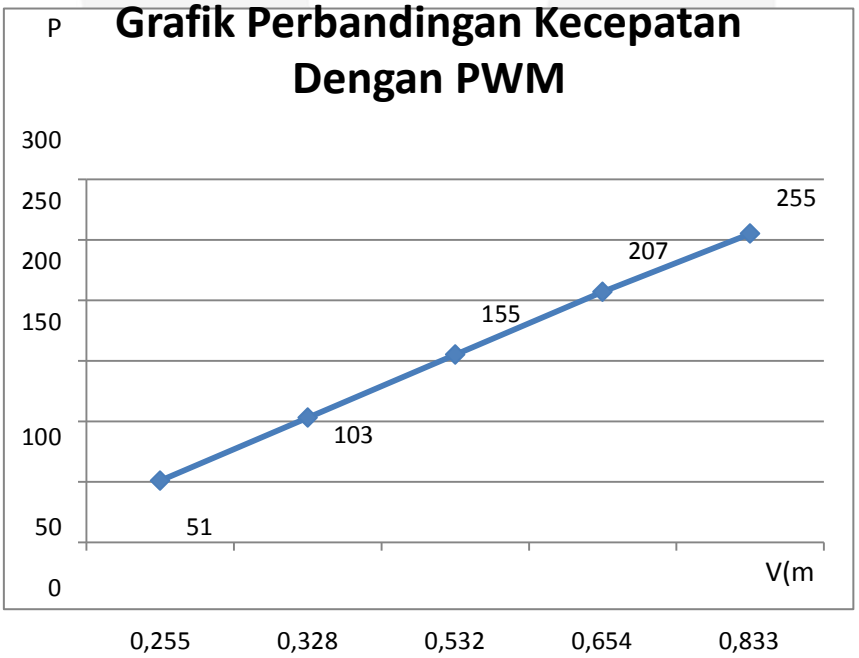
D2 / D1	Nse	Ne	Pse
Nsde	Very Fast	Fast	Normal
Nde	Fast	Normal	Slow
Psde	Normal	Slow	Very Slow

4. Implementasi dan Pengujian

4.1 Pengujian Gerak

Tabel 4.1 Tabel Pengujian Gerak

V(m/s)	**0,255**	**0,328**	**0,532**	**0,654**	**0,833**
PWM	**51 (20%)**	**103 (40%)**	**155 (60%)**	**207 (80%)**	**255 (100%)**



Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Kecepatan Dengan PWM

Grafik 4.1 di atas menunjukan berbandingan antara PWM dengan kecepatan dari *mobile robot*. Dapat dilihat dari grafik mobile robot memiliki kecepatan maksimum 0,833 m/s pada saat PWM maksimum 100% di

255. Kecepatan maksimum ini didapat pada saat baterai penuh dan daya maksimum, namun kecepatan maksimum dapat berubah-ubah tergantung dari kapasitas baterai sendiri.

4.2 Pengujian Pengereman

Dengan menggunakan persamaan 4.1 di atas kita dapat menghitung berapa perlambatan dari mo (4.1

robot dari jarak 20cm terhadap halangan sampai berhenti pada saat 5 cm dari halangan sehingga jarak hingga mobile robot berhenti total adalah 15 cm, dengan asumsi kecepatan awalnya pada saat normal sebesar 0,532 m/s. Maka didapat:

Maka kita masukan vo dengan kecepatan awal dan jarak sebesar 15cm atau 0,15 m dan tanda minus karena dalam kasus ini kita menghitung perlambatan dimana akselerasi atau percepatan pasti minus

Dari perhitungan di atas menunjukan lamanya pengereman *mobile robot* hingga berhenti dari kecepatan normal saat halangan 20cm didepan hingga pada saat terdapat halangan sejauh 5 cm didepan *mobile robot.* Dari perhitungan di atas dapat terlihat perlambatan dari masing-masing kasus dari 20 cm sampai dengan 5 cm *mobile robot* berhenti, dengan asumsi kecepatan awal normal sesuai set point saat 20 cm yaitu 0,532 m/s dengan menggunakan rumus GLBB (Gerak Lurus Berubah Beraturan) untuk mencari akselerasi dengan memanfaatkan kecepatan awal, waktu yang dibutuhkan untuk berhenti, dan jarak yang dibutuhkan sampai *mobile robot* berhenti.

5.Penutup

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari desain dan implementasi kontrol *mobile robot kendali kecepatan berdasarkan jarak* mengunakan *fuzzy logic controller*, Adalah sebagai berikut :

1. Kecepatan Maksimum dari prototype *mobile robot* pada PWM 255 atau 100% adalah sebesar 0,833 m/s. Range kecepatan dari *mobile robot* sendiri dibagi menjadi 5, yaitu: sangat lambat dengan range PWM antara 51 atau 20%, lambat dengan range PWM 103 atau 40%, normal dengan range PWM 155 atau 60%, cepat dengan range PWM 207 atau 80%, dan sangat cepat dengan range PWM 255 atau 100%.
2. Perlambatan *mobile robot* dengan asumsi kecepatan normal (0,533m/s) dari jarak set point 20cm dari halangan hingga berhenti pada posisi 5 cm dari halangan sebesar
3. Sensor ultrasonik HC-SR04 yang digunakan tidak terlalu presisi, dan hanya presisi pada jarak cenderung dekat. Hasil pengindraan sensor dengan jarak halangan diatas 100 cm sudah sangat tidak presisi, sensor hanya dapat diharapkan pada jarak deteksi halangan dibawah 50cm, sehingga *fuzzy* untuk perintah cepat dan sangat cepat jarang terjadi.

Kecepatan dari mobile robot tidak selalu sama dengan seharusnya atau sebelumnya dikarenakan kurang baiknya *power supply*. Penggunaan baterai sangatlah boros dan cepat habis sehingga kecepatan berubah-ubah dikarenakan oleh catuan daya yang kurang baik.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil dan kesimpulan, penulis menyarankan untuk melakukan pengenbangan dalam beberapa hal, agar implementasi dan design *mobile robot kendali kecepatan berdasarkan jarak* yang menggunakan metode *fuzzy logic* sugeno ini dapat direalisasikan lebih baik, adalah sebagai berikut:

1. Menambahkan basis aturan pada nilai variabel linguistik agar nilai kecepatan menjadi lebih luas dan akurat, sehingga implementasinya akan menghasilkan pengendalian yang jauh lebih baik.
2. Menggunakan sensor ultrasonik yang lebih baik kualitasnya yang spesifikasinya sesuai dengan sistem minimum akan membuat akurasi dari sistem *mobile robot kendali kecepatan berdasarkan jarak* menjadi lebih baik.
3. Catu daya juga merupakan salah satu kekurangan dari robot, catu daya robot kurang efisien, karena itu dibutuhkan lebih dari satu catu daya yang lebih besar sehingga kecepatan dapat menjadi lebih stabil, dapat dipercepat sehingga lebih mendekati keinginan user.

Daftar Pustaka

Koren, Y., "*Robotics For Engineers*", McGrawHill International, New York, 1985.

Kusumadewi, S., dan Purnomo, H., "Aplikasi Logika Fuzzzy untuk Pendukung Keputusan", Graha Ilmu, Yogyakarta, 2010.

Marjovi. A., et al., "*Multi-Robot Exploration and Fire Searching*", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Sytem, 2009. IROS 2009, 10-15 Oct. 2009 Page(s):1929 – 1934.

Parkway, Orchard., "*Data Sheet Atmega*", Atmel Corporation, USA, 2011.

Pitowarno, E., "Robotika : Desain Kontrol dan Kecerdasan Buatan", Andi Offset, Yogyakarta, 2006.