

PENERAPAN SENSOR *VISION* PADA SISTEM NAVIGASI BERBASIS *FUZZY LOGIC* UNTUK *AUTOMATED GUIDED VEHICLE* (AGV)

IMPLEMENTATION OF VISION SENSOR ON FUZZY LOGIC BASED NAVIGATION SYSTEM AN AUTOMATED GUIDED VEHICLE (AGV)

Hilmy Rifaldi, Angga Rusdinar, Willy Anugrah Cahyadi

¹Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

²Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

³Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹hilmyr@student.telkomuniversity.ac.id, ²anggarusdinar@telkomuniversity.co.id,

³waczze@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Dunia robotik saat ini sudah berkembang cepat dan menjadi ketertarikan. Karena peran robot yang sudah bisa menggantikan beberapa pekerjaan manusia. *Automated Guided Vehicle* (AGV) merupakan salah satu dari beberapa model robot yang digunakan di dunia industri untuk memindahkan barang dari suatu tempat ke tempat lain dengan mudah. Pada tugas akhir ini, penulis akan merancang sistem navigasi menggunakan kendali logika *fuzzy* pada *Automated Guided Vehicle* (AGV). Penelitian ini berfokus pada implementasi kendali *fuzzy logic* pada AGV.

Sebagai hasil yang ditargetkan pada penelitian ini, kendali *fuzzy logic* dirancang agar dapat mengatur gerak AGV. Karena *fuzzy logic* dapat mengatur derajat keanggotaan antara 0 sampai 1, terang sampai gelap. Maka kendali *fuzzy logic* sangat cocok dipakai pada AGV dengan sensor *vision*, karena perubahan derajat yang terjadi setiap saat yang dapat diantisipasi oleh kendali *fuzzy*.

Kata kunci : *Automated Guided Vehicle*, AGV, Logika *fuzzy*, Sensor *vision*

Abstract

The robotics world is now fast developing and becoming an attraction. Because the role of robots that can replace some human work. Automated Guided Vehicle (AGV) is one of several robot models used in the industrial world to move goods from one place to another easily. In this final project, the author will design a navigation system using fuzzy logic control on the Automated Guided Vehicle (AGV) robot. This research focuses on implementing fuzzy logic control on AGV.

As a result targeted at this research, the fuzzy logic control is designed to be able to regulate AGV motion. Because fuzzy logic can adjust the degree of membership between 0 to 1, light to dark. Then the fuzzy logic control is very suitable to be used in AGV with sensor vision, because the degree of change that occurs at any time that can be anticipated by fuzzy control.

Keywords: *Automated Guided Vehicle*, AGV, Fuzzy logic, Vision sensor

1. Pendahuluan

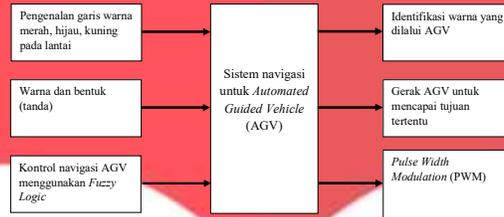
Perkembangan teknologi di bidang robotika pada saat ini mulai berkembang pesat dan menjadi ketertarikan. Hal ini karena peran robot yang sudah dapat menggantikan pekerjaan manusia. Lapangan pekerjaan manusia hampir sebagian sudah digantikan oleh peran robot. Karena yang namanya manusia pasti pernah melakukan kelalaian pada pekerjaannya dan membuat terjadinya kecelakaan kerja. Jika sebagian pekerjaan manusia bisa digantikan dengan sistem otomatisasi, maka akan mengurangi kesalahan pada pekerjaan, waktu akan lebih efisien dan dapat mengurangi terjadinya kecelakaan kerja. Salah satu teknologi di bidang robot yang sudah dibuat saat ini yaitu *Automated Guided Vehicle* (AGV).

AGV adalah sebuah robot *mobile* yang mengikuti sebuah petunjuk atau garis yang diberikan di lantai, atau menggunakan *vision* atau laser untuk bergerak ke arah tertentu [4]. AGV memerlukan sebuah sensor untuk dapat bergerak dengan otomatis tanpa operator. *Vision* adalah pilihan yang baik untuk sensor robot karena cukup fleksibel untuk mendeteksi atau mengenali fitur apa pun dengan warna dan ukuran apa pun [2]. Sistem *vision* atau kombinasi sistem penglihatan dengan sensor telah digunakan di banyak sistem lokalisasi dan navigasi [3]. Dalam penelitian Sulistyio (2009), navigasi robot menggunakan algoritma *fuzzy*. Proses *fuzzy* yang dilakukan meliputi fuzzifikasi, evaluasi *rule* dan defuzzifikasi. Dengan menggunakan algoritma ini robot dapat bergerak mengikuti jalur [1]. Logika *fuzzy* adalah peningkatan dari logika boolean yang mengenalkan konsep kebenaran sebagian. Di mana logika klasik menyatakan bahwa segala hal dapat diekspresikan dalam istilah biner (1 atau 0, hitam atau putih, ya atau tidak), logika *fuzzy* menggantikan logika boolean dengan tingkat kebenaran.

Permasalahan yang dihadapi yaitu semakin berkembangnya teknologi pada robot otomasi industri dan ingin menggantikan teknologi lama menjadi teknologi baru, yaitu jika dahulu AGV dapat mengikuti jalur warna hitam maka pada kesempatan kali ini penulis akan merancang teknologi terbaru. Penulis akan melakukan perancangan robot otomasi industri dengan menggunakan *vision sensor* atau kamera untuk menangkap objek garis berwarna. Oleh sebab itu pada tugas akhir ini akan mencoba untuk mengimplementasikan *vision sensor* pada AGV.

2. Dasar Teori

2.1 Prinsip Kerja Konsep



Gambar 2.1 Diagram Fungsi Sistem

2.2 Pengertian Pengolahan Citra / Image Processing

Citra atau *Image* merupakan istilah lain dari gambar, yang merupakan informasi berbentuk visual. Suatu citra diperoleh dari penangkapan kekuatan sinar yang dipantulkan oleh objek. Suatu citra dapat didefinisikan sebagai fungsi intensitas cahaya dua dimensi $f(x, y)$, di mana x dan y adalah koordinat spasial dan f pada titik (x, y) merupakan tingkat kecerahan suatu citra pada suatu titik [6].

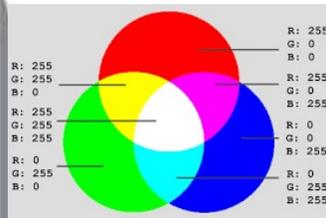
2.2.1 Pengolahan Citra Digital

Citra digital merupakan citra $f(x, y)$ yang dikonversi menjadi diskrit melalui proses sampling dan kuantisasi. Sampling menyatakan besar ukuran *pixel* (*picture element*) pada citra sedangkan kuantisasi menyatakan besarnya tingkat kecerahan. Pengolahan citra digital adalah sebuah ilmu yang mempelajari tentang teknik mengolah suatu citra. Citra yang dimaksud adalah citra diam (foto) maupun citra bergerak (berasal dari *webcam* yang dipakai) [3].

Citra merupakan fungsi kontinyu dengan intensitas cahaya pada bidang dua dimensi [6]. Supaya citra dapat diolah komputer, maka citra harus diubah menjadi nilai-nilai diskrit, yaitu dengan cara digitalisasi citra. Digitalisasi citra merupakan perubahan dari fungsi kontinyu menjadi nilai-nilai diskrit. Di bawah adalah sebuah matriks yang digunakan dalam merepresentasikan citra matriks.

2.2.2 Citra RGB

Citra digital RGB adalah citra yang memiliki 3 warna dominan, yaitu merah (*red*), hijau (*green*), biru (*blue*). Setiap warna memiliki intensitas berbeda dengan jumlah 8-bit (0-255), sehingga ruang warna RGB memiliki jumlah 24-bit [6]. Jika setiap warna memiliki *range* 0-255, maka totalnya adalah $255^3 = 16.581.375$ (16 K) variasi warna berbeda pada gambar, variasi warna ini cukup untuk berbagai gambar yang ditampilkan [6]. Pada gambar II-2. merupakan gambar dan jumlah bit yang ditampilkan pada citra warna dalam RGB.



Gambar 2.2 Jumlah bit citra warna dalam RGB

2.3 Robotika

Robotika adalah ilmu yang mempelajari tentang proses perancangan, pembuatan dan pengembangan robot serta membahas mengenai penerapan teknologi robotika pada kehidupan manusia. Dalam penerapannya, ilmu robotika erat hubungannya dengan ilmu kecerdasan buatan [11].

Robot secara garis besar disusun oleh 3 komponen utama, yaitu sensor, aktuator, dan mikrokontroler. Aktuator adalah komponen yang digunakan untuk menggerakkan robot. Pergerakan ini bersifat stasioner, seperti pergerakan sendi pada robot berbentuk tangan/lengan atau pergerakan yang bersifat *mobile*, seperti pergerakan sebuah robot beroda berpindah tempat. Sensor adalah komponen yang digunakan untuk mendapatkan masukan yang berupa nilai/variabel dari sekitar robot [5]. Analogi sensor pada makhluk hidup adalah indra yang

digunakan untuk merasakan lingkungan sekitar. Tipe masukan yang bisa diterima bergantung pada kemampuan sensor tersebut untuk menerima tipe masukan yang diinginkan [5].

2.4 Automated Guided Vehicle (AGV)

Automated Guided Vehicle (AGV) adalah sebuah *mobile robot* yang dapat bergerak otomatis mengikuti petunjuk garis yang terdapat di lantai, atau menggunakan *vision* atau laser untuk bergerak otomatis. Untuk membantu navigasi AGV dapat digunakan beberapa jenis *steer control systems* [4]. Pada tugas akhir ini, *steer control system* yang digunakan yaitu *differential drive*. Roda bagian depan sebagai penggerak sekaligus penentu arah lurus, belok kanan ataupun belok kiri.

2.4.1 Navigasi Automated Guided Vehicle (AGV)

Sistem navigasi dirancang untuk diterapkan pada *autonomous mobile robot*. *Autonomous mobile robot* menggunakan sistem penggerak roda (*tracked*) dan menggunakan sistem pergerakan *differential drive* [4]. Sistem navigasi yang dirancang yaitu sistem navigasi berbasis posisi dengan metode *waypoint*. Sistem navigasi dirancang untuk pergerakan di luar ruangan, khususnya di wilayah darat dengan posisi dan rute yang telah ditentukan oleh operator (manusia). Sistem navigasi bekerja secara tunggal yang artinya tidak dilengkapi dengan sistem pendukung lainnya (contoh sistem pendukung adalah *obstacle avoidance system*). Sistem perangkat keras terutama modul-modul sensor dikondisikan mendekati ideal sesuai anjuran *datasheet* sehingga dapat mengurangi pengaruh-pengaruh lingkungan yang mengganggu kinerja sistem [15].

2.4.2 Metode Navigasi Waypoint

Waypoint adalah metode navigasi dengan titik acuan atau kumpulan koordinat yang digunakan untuk keperluan navigasi untuk mengidentifikasi sebuah titik di peta. Koordinat-koordinat itu biasanya menyertakan *longitude*, *latitude*, dan kadang *altitude* untuk keperluan navigasi di udara [15]. *Waypoint* dibagi menjadi dua jenis, yaitu *waypoint fly by* dan *waypoint fly over* [15]. *Waypoint fly by* tidak melewati di atas lokasi *waypoint* namun tetap menuju ke arah tujuan, sedangkan *waypoint fly over* melewati di atas lokasi *waypoint*. Setelah satu *waypoint* terlewati, maka operator harus menetapkan *waypoint* berikutnya yang disebut dengan *waypoint* aktif.

2.5 Posisi Kamera

Posisi kamera pada sistem yang digunakan sangat berpengaruh pada hasil yang diproses. Terdapat dua macam peletakan kamera, yaitu *eye in hand* dan *stand alone*. Kragic dan Christensen (2011) mengemukakan bahwa peletakan unit kamera untuk sebuah sistem dapat secara *eye in hand* atau *stand alone* [17]. *Eye in hand* merupakan metode peletakan kamera pada bagian ujung dari robot atau bisa disebut terpasang pada bagian badan robot. Sedangkan *stand alone* merupakan metode peletakan kamera terpisah dari bagian badan robot atau bisa disebut tidak terpasang pada bagian badan robot, bisa diletakan pada sudut ruangan dan sebagainya. Marchand (2007) mengemukakan bahwa peletakan kamera sangat mempengaruhi gambar yang diperoleh dan pencahayaan dapat mempengaruhi gambar yang akan diproses [17]. Pada penelitian ini, sangat memperhatikan peletakan kamera dan pencahayaan, karena jika tidak sesuai maka gerak pada AGV tidak akan bagus.



Gambar 2.3 Posisi Kamera



Gambar 2.4 Prototipe AGV



Gambar 2.5 Prototipe Lintasan

2.6 Logika Fuzzy

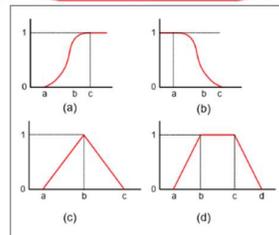
Logika fuzzy adalah komponen pembentuk soft computing. Dasar logika fuzzy adalah teori himpunan fuzzy. Himpunan fuzzy adalah kelas objek dengan rangkaian nilai keanggotaan (Zadeh. 1965). Himpunan tersebut ditandai dengan fungsi keanggotaan yang diberikan kepada setiap objek dengan nilai berkisar antara nol dan satu. Notasi yang digunakan antara lain inclusion, union, intersection, komplemen, relasi, berbagai sifat dari notasi dalam konteks himpunan fuzzy juga diterapkan. Secara khusus, teori pemisah untuk himpunan fuzzy adalah memberikan pemisah tanpa harus benar-benar memisahkan himpunan fuzzy tersebut (Zadeh. 1965).

Seperti halnya himpunan konvensional, ada beberapa operasi yang didefinisikan secara khusus untuk kombinasi dan memodifikasi himpunan *fuzzy*. Nilai keanggotaan sebagai hasil dari operasi 2 himpunan sering dikenal dengan nama *file strength* atau *α -predikat*. Ada 3 operator dasar yang diciptakan oleh Dr. Lotfi Zadeh (1965).

A	B	min(A,B)	A	B	max(A,B)	A	1 - A
0	0	0	0	0	0	0	1
0	1	0	0	1	1	1	0
1	0	0	1	0	1		
1	1	1	1	1	1		
AND			OR			NOT	

Gambar 2.4 Operator Dasar

Langkah pertama untuk mendesain sistem *fuzzy logic* adalah mengambil nilai *crisp input*, dan menentukan fungsi derajat keanggotaan (*degree of membership function*) untuk masing-masing *fuzzy set* yang sesuai [1]. Fungsi derajat keanggotaan *fuzzy* memainkan peranan yang sangat penting untuk merepresentasikan masalah dan menghasilkan keputusan yang akurat.



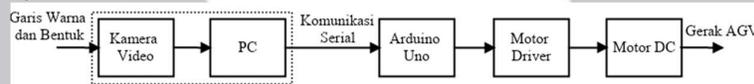
Gambar 2.5. Fungsi keanggotaan fuzzy, (a) tipe Z, (b) tipe S, (c) tipe π Segitiga (Triangle), (d) tipe π Trapesium (Trapezoid)

3 Perancangan Sistem

3.1 Desain Sistem

Pada tugas akhir ini sistem berfokus pada kendali logika *fuzzy* untuk sistem navigasi dan kontrol gerak menggunakan sensor *vision* berupa *webcam* yang dipasangkan pada *Automated Guided Vehicle (AGV)*.

3.1.1 Diagram Blok Sistem

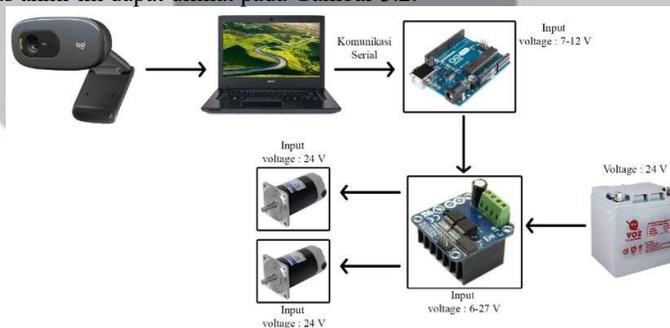


Gambar 3.1 Diagram blok sistem

Sistem ini berfokus pada pengendalian logika *fuzzy* untuk mengatur gerak AGV dengan mengambil data dari sensor *vision* yang sudah dibuat. Dari masukan data pengolahan citra yang ditangkap menggunakan kamera *webcam*.

3.2 Desain Perangkat Keras

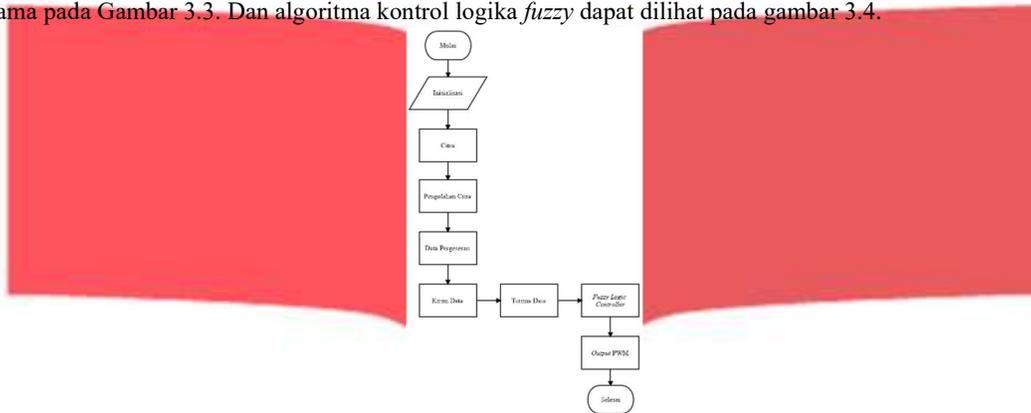
Desain perangkat keras pada tugas akhir ini menggunakan *High Definition Webcam* sebagai sensor vision. *Mini pc* sebagai perangkat yang melakukan tugas pengolahan citra untuk pembacaan garis warna dan *artificial landmark* yang datanya digunakan untuk navigasi AGV. *Arduino Uno* digunakan sebagai perangkat yang melakukan tugas kendali *fuzzy logic* yang mendapat data dari pengolahan citra untuk mengatur PWM dari Motor DC yang digunakan pada AGV dan melakukan navigasi yang memperoleh data nya dari pembacaan warna garis dan bentuk. *Plant* yang digunakan pada tugas akhir ini yaitu *Automated Guided Vehicle (AGV)*. Desain perangkat keras tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.2.



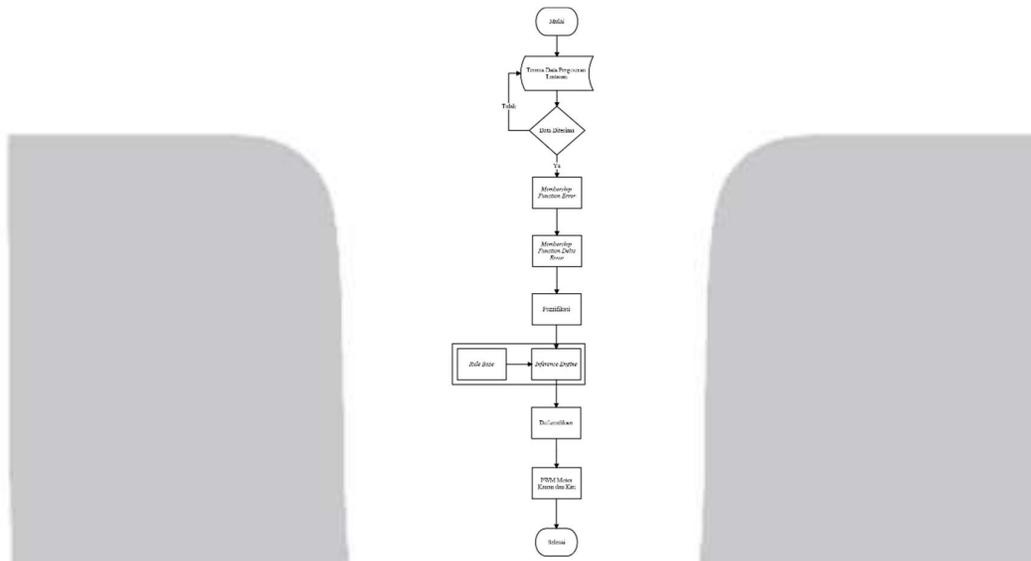
Gambar 3.2 Desain perangkat keras

3.3 Desain Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak dari sistem navigasi AGV dengan kontrol logika *fuzzy* menggunakan bahasa pemrograman bahasa C dan *library* Arduino IDE. Dalam sub bab ini membahas tentang diagram alir yang digunakan dalam sistem. Berikut adalah algoritma utama yang digambarkan dalam diagram alir pemrograman utama pada Gambar 3.3. Dan algoritma kontrol logika *fuzzy* dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.3 Diagram alir pemrograman utama

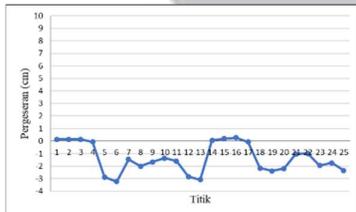


Gambar 3.4 Diagram alir kontrol logika *fuzzy*

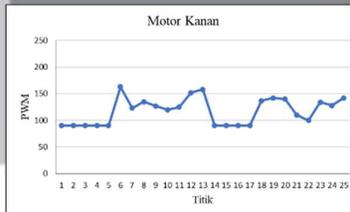
4 Hasil Pengujian dan Analisa

4.1 Pengujian Pergeseran Posisi

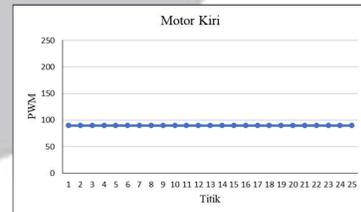
Pengujian ini dilakukan pada kamera dengan resolusi 320x240 *pixel*. Pengujian ini berguna untuk mengetahui seberapa besar pergeseran titik tengah pada kamera terhadap titik tengah pada lintasan yang terdeteksi. Karena titik tengah digunakan sebagai rentang nilai untuk *membership function* logika *fuzzy*. Gambar 4.1 menunjukkan respon pada pengujian pergeseran pada lintasan belok kiri warna merah. Dapat dilihat pada gambar 4.2 dan gambar 4.3, bahwa ketika AGV belok kiri, maka nilai PWM motor kanan yang akan berubah dan nilai PWM motor kiri yang akan tetap stabil supaya tidak terjadi *slip* dan keluar lintasan saat AGV berbelok.



Gambar 4.1 Grafik pergeseran

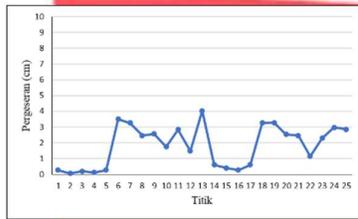


Gambar 4.2 Grafik PWM Kiri

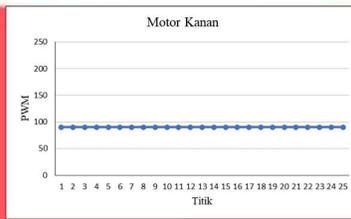


Gambar 4.2 Grafik PWM Kanan

Gambar 4.4 menunjukkan respon pada pengujian pergeseran pada lintasan belok kanan warna hijau. Dapat dilihat pada gambar 4.5 dan gambar 4.6, bahwa ketika AGV belok kiri, maka nilai PWM motor kanan yang akan berubah dan nilai PWM motor kiri yang akan tetap stabil supaya tidak terjadi *slip* dan keluar lintasan saat AGV berbelok.



Gambar 4.4 Grafik pergeseran



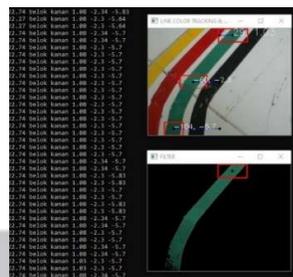
Gambar 4.5 Grafik PWM Kanan



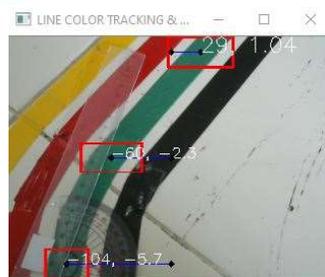
Gambar 4.6 Grafik PWM Kanan

4.2 Pengujian Kemiringan Sudut

Pengujian ini dilakukan untuk mengukur tingkat galat dari kemiringan sudut yang diproses oleh sistem. Sudut yang terukur sistem dibandingkan dengan sudut yang terukur mistar kemudian didapatkan tingkat galat.

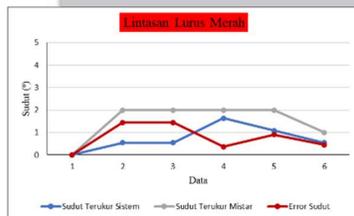


Gambar 4.7 Sudut terukur sistem



Gambar 4.8 Sudut terukur mistar

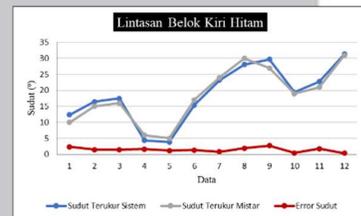
Pada gambar 4.7 diatas adalah pengujian kemiringan sudut yang terukur sistem. Terdapat tiga titik pada *frame* kamera diatas. Sudut yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah sudut yang didapat dari perhitungan titik kedua dan titik ketiga. Pengukuran pada gambar 4.8 menggunakan bantuan mistar dan busur untuk mengukur sudut. Setelah itu dibandingkan dengan sudut yang terukur pada sistem, kemudian akan didapatkan tingkat keakuratan sistem yang digunakan. Berikut adalah hasil pengujian lintasan lurus warna merah yang dapat dilihat pada gambar 4.9. Pada gambar 4.10 merupakan hasil pengujian lintasan belok kanan warna hijau, gambar 4.11 merupakan hasil pengujian lintasan belok kiri warna hitam.



Gambar 4.9 Grafik lintasan lurus warna merah



Gambar 4.10 Grafik lintasan belok kanan warna hijau



Gambar 4.11 Grafik lintasan belok kiri warna hitam

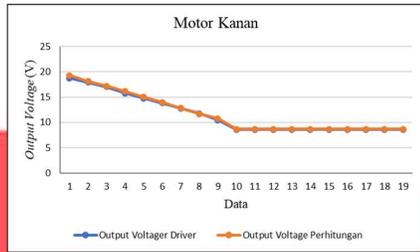
Grafik diatas adalah hasil respon pengujian kemiringan sudut pada lintasan lurus, belok kanan dan belok kiri. Dapat dilihan pada setiap respon di grafik diatas, bahwa respon sudut terukur sistem dengan respon sudut terukur mistar sama dan memiliki error yang tidak terlalu besar.

4.3 Pengujian Driver Motor H-Bridge

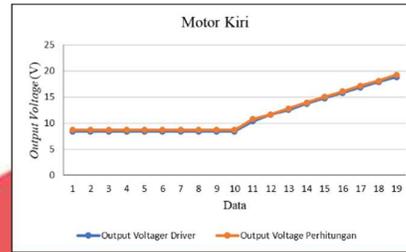
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui respon dari *driver motor* H-Bridge ketika bergerak lurus, belok kanan dan belok kiri serta untuk mengetahui linieritas antara tegangan *output* dari *driver motor* terhadap nilai PWM yang dihasilkan. Pada pengujian ini digunakan PWM dengan rentang nilai 0-255, nilai tersebut merupakan representasi nilai 0-5 volt pada *microcontroller*.

Pengukuran tegangan *output driver motor* diukur menggunakan multimeter digital. Perhitungan tegangan *output driver motor* dapat dilihat pada persamaan 4.1. Kemudian hasil pengukuran dan perhitungan tegangan *output driver motor* dibandingkan untuk mendapatkan tingkat keakuratan.

$$V_o = \frac{PWM}{255} \cdot V_i \tag{4.1}$$



Gambar 4.12 Grafik respon *output driver motor kanan*

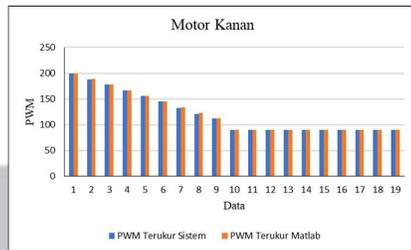


Gambar 4.13 Grafik respon *output driver motor kiri*

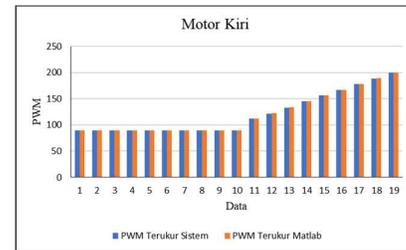
Dapat dilihat dari grafik respon *output* diatas, bahwa hasil pengujian dengan hasil perhitungan grafiknya hampir sama bahkan sangat mendekati. Jadi, dapat di analisa bahwa keluarannya sesuai dengan rancangan yang sudah dibuat.

4.4 Pengujian *Output PWM Kontrol Logika Fuzzy*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui akurasi *output logika fuzzy* pada sistem dengan *output logika fuzzy* pada simulasi menggunakan *software Matlab*. Pengujian ini dilakukan dengan menguji beberapa kemungkinan yang sering terjadi pada sistem. Serupa seperti pengujian sebelumnya, menggunakan beberapa sudut jika bergerak lurus, belok kiri dan belok kanan.



Gambar 4.14 Grafik *ouput PWM motor Kanan*



Gambar 4.14 Grafik *ouput PWM motor Kiri*

Grafik yang ditampilkan menggunakan grafik batang, karena supaya terlihat jelas perbedaannya, jika menggunakan grafik garis tidak terlihat jelas perbedaannya. Dari grafik diatas dapat di analisa bahwa nilai *error* yang dihasilkan relatif rendah, maka dari itu sistem yang dibuat sudah sesuai dengan sistem yang disimulasikan pada *software Matlab*. Faktor penyebab adanya nilai *error* adalah *input fuzzy* pada sistem yang selalu berubah setiap waktu dan tidak konstan dikarenakan pengiriman data dari *OpenCV* ke *microcontroller* melalui komunikasi serial terjadi secara berturut-turut dan tidak berhenti ketika sistem belum dimatikan.

5 Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan pada sistem navigasi berbasis logika *fuzzy* untuk AGV, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. *Vision sensor* yang diterapkan pada AGV dengan kontrol logika *fuzzy* dapat berfungsi dengan baik, dapat mendeteksi jalur warna yang memiliki simpangan 2,4 cm dengan menganalisa tingkat akurasi dan presisi terhadap hasil pengujian yang hasilnya sebagai berikut.
 - a. Tingkat presisi pergeseran lintasan yang dilakukan sistem cukup bagus, dapat dilihat pada sampel ke 14 lintasan warna hitam. Dari 5 kali percobaan yang dilakukan di dapatkan nilai pergeseran sebesar 0,49; 0,74; 0,27; 0,46 dan 0,46. Dengan rata-rata nilai pergeseran diatas sebesar 0,48.
 - b. Tingkat akurasi kemiringan lintasan yang dilakukan sistem sudah cukup bagus, dapat dilihat dari nilai *error* terbesar yaitu sebesar 3,74 dengan persentase 80,3%. Nilai *error* tersebut disebabkan karena ada faktor pada akurasi alat ukur yang mempengaruhi.
 - c. Tingkat akurasi pengukuran *output voltage driver motor* yang dilakukan sistem cukup bagus, dapat dilihat dari nilai *error* terbesar yaitu sebesar 0,55 dengan persentase 97,1%. Nilai *error* tersebut disebabkan karena ada faktor pada perangkat keras yang mempengaruhi.
 - d. Respon *output PWM* sistem jika dibandingkan dengan respon *output PWM* simulasi yang dibuat sudah cukup bagus, dapat dilihat dari nilai *error* terbesar sebesar 2 dengan persentase 98,3%.
2. Dengan menggunakan dua buah *main board* yaitu PC dan *microcontroller* sudah tepat untuk penerapan sistem navigasi berbasis *fuzzy logic* pada AGV, karena belum terdapat sebuah *microcontroller* yang mempunyai ruang penyimpanan cukup besar untuk mengolah data dari *vision sensor* dan kontrol logika *fuzzy* secara bersamaan dalam satu *microcontroller*. Data nilai pergeseran yang dikirim dari *main board master/PC* telah berfungsi, karena kontrol gerak AGV dapat menerima sinyal/data untuk bergerak sesuai dengan nilai pergeseran yang diterima. Sinyal atau data yang diterima menggunakan kecepatan aliran data 9600 *bit-per-*

second pada *source code microcontroller* Arduino Uno dan dengan jeda inisialisasi sistem 3 detik untuk pengiriman sinyal atau data pertama pada *source code* sensor *vision* .

3. AGV dapat mengelilingi lintasan dengan gerak lurus, belok kiri dan belok kanan. Lintasan yang dibuat merupakan lintasan tertutup, robot sudah dapat bergerak stabil dengan lintasan yang dibuat karena kontrol logika *fuzzy* dengan *fuzzy rule* sebanyak 18 *rule* yang ditanamkan sesuai dengan penerapan *vision sensor* untuk AGV tersebut.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, saran yang tepat untuk selanjutnya sebagai berikut :

1. Pengembangan untuk *user interface* agar dapat dilakukan *monitoring* secara *real time* supaya lebih memudahkan penggunaannya.
2. Pengembangan pada bagian kontrolnya, dapat diganti dengan menggunakan kontrol *fuzzy-PID* supaya AGV lebih stabil ketika bergerak lurus, belok kanan ataupun belok kiri.
3. Pengembangan pada bagian perancangan sensor *vision*, dapat dikembangkan dengan sistem *adaptive threshold* untuk mengubah nilai HSV sesuai intensitas cahaya.S

DAFTAR PUSTAKA

- [1] David, "Kendali Logika Fuzzy Pada Robot Line Follower," vol. III, no. 1, pp. 15-16, 2016.
- [2] D. Elnur, Perancangan Sensor Vision untuk Pengenalan Garis Warna dan Artificial Landmark di Lantai untuk Navigasi AGV (Augmented Guided Vehicle), Bandung: Telkom University, 2019.
- [3] H. Mulyawan, M. Z. Samsono dan Setiawardhana, "Identifikasi dan Tracking Objek Berbasis Image Processing Secara Real Time".
- [4] Sutikno, A. Wibowo, Kushartantya dan H. A. Wibawa, "Penerapan Aturan IF-THEN Untuk Menangani Ketidakpastian Perubahan Lingkungan Pada Vehicle Robot Lego," vol. III, no. 6, pp. 21-24.
- [5] R. Siegwart, I. R. Nourbakhsh dan D. Scaramuzza, Introduction to Autonomous Mobile Robots, London : MIT Press, 2004.
- [6] R. Kusumanto, A. N. Tompunu dan W. S. Pambudi, "Klasifikasi Warna Menggunakan Pengolahan Model Warna HSV," pp. 83-87, 2011.
- [7] W. S. Pambudi, "Rancang Bangun 3 Wheels Omni-Directional Mobile Robot Menggunakan Sensor Position Sensitive Device (PSD) Serta Sensor Vision Dengan Metode Kendali Fuzzy Logic Controller (FLC) Untuk Menghindari Halangan," 2011.
- [8] S. D. Maniswari, S. M. P. Angga Rusdinar dan S. M. Bedy Purnama, "Smart Traffic Light Menggunakan Image Processing Dan Metode Fuzzy Logic," *e-Proceeding of Engineering* , p. 2166, 2015.
- [9] R. Passarella, K. Exaudi dan S. Fatimah, "Perancangan Sistem Navigasi Robot Kapal Katamaran Untuk Menghindari Rintangannya Menggunakan Logika Fuzzy," *Jurnal Nasional Teknik Elektro* , 2018.
- [10] R. Kusumanto, W. S. Pambudi dan A. N. Tompunu, "Aplikasi Sensor Vision Untuk Deteksi MultiFace dan Menghitung Jumlah Orang," 2012.
- [11] I. N. K. Wardana, I. G. A. M. Sunaya dan K. A. Yasa, "Laptop-Based Robot Sebagai Pramusaji Restoran Dengan Menerapkan Metode Pengolahan Citra dan Kontrol Fuzzy," *Proceedings Seminar Nasional Teknik Elektro (FORTEI 2016)*, 2016.
- [12] M. Cao dan E. Hall, "Fuzzy Logic Control for an Automated Guided Vehicle," 2016.
- [13] S. Kusumadewi dan H. Purnomo, Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan, Graha Ilmu Yogyakarta, 2004.
- [14] S. Kuswadi, Kendali Cerdas Teori dan Aplikasi Praktisnya, Yogyakarta: Penerbit Andi, 2007.
- [15] A. S. Taufik, "Sistem Navigasi Waypoint pada Autonomous Guided Vehicle," vol. 1, no. 1, 2013.
- [16] H. Wicaksono, "Analisa Performansi dan Robustness Beberapa Metode Tuning Kontroller PID pada Motor DC," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 4, no. 2, 2004.
- [17] L. B. Prianggodo dan R. N. Rohmah, "Rancang Bangun Robot Beroda dengan Object Tracking Sebagai Dasar Pengendalian Gerakan Robot," *Jurnal PROtek*, vol. 03, no. 1, p. 74, September 2016.