

RANCANG BANGUN KONTROL *FUZZY LOGIC* PADA METODE *LEADER-FOLLOWER* UNTUK PENJEJAK FORMASI *MOBILE ROBOT*

(*FUZZY LOGIC CONTROL DESIGN ON LEADER-FOLLOWER METHOD FOR MOBILE ROBOT FORMATION TRACKING*)

Lisa Anjani Arta¹

Drs. Suwandi, M.Si²

Ahmad Qurthobi, ST., MT.³

^{1,2,3} Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Telkom

¹anjaniarta@gmail.com

²suwandi.sains@gmail.com

³qurthobi@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan teknologi robotika akhir-akhir ini berkembang sangat pesat, salah satunya adalah *mobile robot* dengan sistem koordinasi multirobot sederhana yang menghubungkan perilaku kehidupan makhluk hidup seperti perilaku dari kerumunan serangga. Ada berbagai macam bentuk dan beragam tugas yang dapat dilakukan oleh *mobile robot*, salah satu diantaranya adalah *leader follower*. *Leader follower* merupakan konsep berpindah posisi dengan mengikuti jejak dari robot pemimpinnya. Pergerakan berpindah posisi dari kedua robot tersebut menggunakan modul komunikasi Xbee series1 yang difungsikan sebagai *end device* (robot *leader* dan *follower*), *router* (Xbee peta 1 dan 3), dan *coordinator* (Arduino Mega). Selain itu, *mobile robot* juga memerlukan sistem kontrol dalam menentukan perpindahan posisinya. Sistem kontrol yang digunakan adalah sistem kontrol *fuzzy logic* dengan menggunakan 2 buah input berupa jarak dan sudut dengan output yang dihasilkan berupa PWM kanan dan kiri. Implementasi kontrol pada sistem ini dilakukan pada posisi awal robot *follower* lurus, menghadap ke kanan, dan menghadap ke kiri. Dari pengujian yang telah dilakukan diperoleh *error* posisi $X_{lurus} = 1\%$ dan $Y_{lurus} = 15\%$, $X_{kanan} = 2\%$ dan $Y_{kanan} = 16\%$, serta $X_{kiri} = 3\%$ dan $Y_{kiri} = 32\%$. Hal ini dikarenakan perubahan gerak robot yang lebih cepat daripada pembacaan sensor CMPS10.

Kata Kunci : *mobile robot*, *leader follower*, kontrol *fuzzy logic*, komunikasi Xbee

ABSTRACT

Technology nowadays is development rapidly, one of them is *mobile robot* with multirobot coordination simple system that connects the behavior of the living creature like swarm insect. There are kind of form and task can be done by *mobile robot*, one of them is *leader follower*. *Leader follower* is the concept of position changing to tracking formation from leader robot. Position changing movement of two robots are used Xbee series1 communication module that functionalized as a end device (for leader robot and follower robot), router (Xbee map 1 and 3), and coordinator (Arduino Mega). Beside, *mobile robot* also need control sistem to determine of position changing. Control system being use *fuzzy logic control* which used two input like distance and angel and output like right and left PWM. The implementation of control *mobile robot* is begin with the followers position is fixed straight to the line, turn left, and turn right. The test that has been done shows position error $X_{straight} = 1\%$ and $Y_{straight} = 15\%$, $X_{right} = 2\%$ and $Y_{right} = 16\%$, also $X_{left} = 3\%$ and $Y_{left} = 32\%$. It because turning the velocity of *mobile robot* faster than CMPS10 measurement.

Keywords : *mobile robot*, *leader follower*, *fuzzy logic control*, Xbee communication

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi robotik akhir-akhir ini berkembang sangat pesat, salah satunya karena dapat digunakan untuk membantu melaksanakan aktifitas manusia. Perkembangan terbaru dalam penelitian dibidang robotik adalah robot mobil *leader-follower*^[1]. *Leader-follower* merupakan suatu metode yang diterapkan pada sistem *multi agent* yang salah satu *agent* dipilih menjadi pemimpin yang bertugas memandu formasi untuk mengikuti lintasan yang ditentukan sebelumnya, sementara *agent* lainnya menjadi pengikut yang bertugas untuk mempertahankan posisi agar berada dalam satu formasi yang dikirimkan oleh pemimpinnya dalam bentuk kontrol^[2].

Pengembangan terhadap simulasi robot mobil dengan metode *leader-follower* diharapkan dapat direalisasikan ke dalam kehidupan sehari-hari seperti *Unmanned Vehicle*, robot bencana, dan aplikasi lainnya. Merancang dan menerapkan kecerdasan buatan untuk robot mobil tidak mudah, namun dengan berkembangnya teknologi banyak metode-metode yang dapat digunakan untuk mendukung pembuatan kecerdasan buatan tersebut. Salah satunya adalah *fuzzy logic*^[3].

Tujuan dari penelitian ini adalah mengendalikan *error* jarak dan *error* sudut terhadap putaran motor dc agar formasi dari *mobile robot* tetap terjaga dengan *setpoint* jarak adalah 15 cm dan *setpoint* sudut adalah 0°. Oleh karena itu dalam penelitian ini diperlukan implementasi kendali *fuzzy logic* pada *mobile robot* untuk melakukan pengambilan keputusan dari berbagai masukan yang ada. Untuk saat ini, masukan yang digunakan adalah kemampuan robot pengikut mengikuti pemimpin sesuai dengan formasinya. Sehingga *fuzzy logic* digunakan untuk mengolah masukan dari data kemampuan pengikut mengikuti pemimpin menjadi keluaran berupa aksi gerak robot melalui aktuaternya.

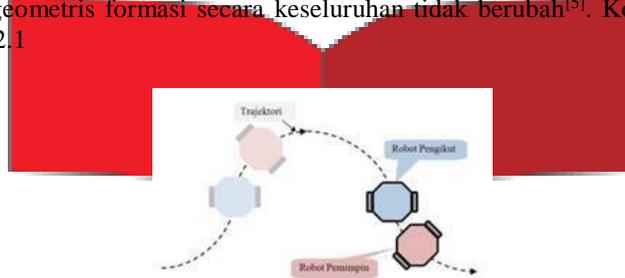
2. PERANCANGAN SISTEM

2.1 Mobile Robot

Mobile robot adalah konstruksi robot yang ciri khasnya memiliki aktuator berupa roda untuk menggerakkan keseluruhan badan robot, sehingga robot dapat melakukan perpindahan posisi dari satu titik ke titik yang lain^[4]. Pada saat ini aplikasi robotik bergerak ke arah sistem penggunaan *multi-agent* yang dirancang terkoneksi untuk meningkatkan efektifitas dan *robustness* terhadap kegagalan pada sistem *agent* tunggal karena tidak memperhatikan komponen-komponen dasar yang menunjang kinerja dari *mobile robot*. Kinerja dari *mobile robot* bergantung pada komponen-komponen dasar seperti *hardware* dari robot (*body*), motor, sensor, dan lain-lain), kondisi lingkungan tempat robot bekerja, dan *programming*^[2].

2.2 Konsep Leader Follower

Leader follower merupakan satu dari beberapa metode yang diterapkan pada sistem robot *multi-agent*. Kehandalan dari konsep *leader follower* terletak pada kemampuan dasar robot pemimpin dalam perencanaan jalur, sedangkan *manuver* robot pengikut (*follower*) mengikuti robot pemimpin (*leader*) dengan jarak dan sudut yang relatif konstan sehingga geometris formasi secara keseluruhan tidak berubah^[5]. Konsep *leader follower* ditunjukkan pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Ilustrasi perilaku mengikuti pemimpin

2.3 Modul Wireless Xbee Series 1

Xbee adalah salah satu modul *transceiver* yang didesain untuk memenuhi standar ZigBee/IEEE 802.15.4 dengan menggunakan *radio frequency*. Modul ini membutuhkan daya minimal dan menyediakan transfer data yang handal antara dua *device* serta memiliki ukuran fisik yang kecil^[6].

2.4 Sensor Kompas Elektronik CMPS 10

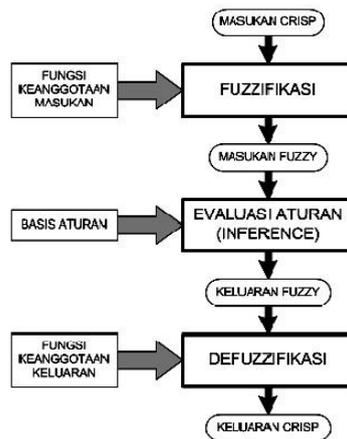
Mobile robot memerlukan kompas digital untuk mengetahui orientasi dalam pergerakannya. Sensor kompas digital dapat mengukur orientasi berdasarkan besar kecilnya medan magnet bumi yang menembus bidang kompas. Konsep pengukuran arah berdasarkan medan magnet bumi telah digunakan pada kompas konvensional. Modul CMPS10 merupakan sebuah sensor digital yang memperkerjakan 3-axis *accelerometer* dan 3-axis *magnometer*. Data yang dikeluarkan CMPS10 bisa berupa 8-Bit data yaitu 0-255 dan 16-bit data yaitu kisaran 0-359^[7].

2.5 Sensor Jarak HC SR04

Sensor HC SR04 merupakan sensor ultrasonik yang berfungsi mengukur jarak suatu benda dengan prinsip memancarkan gelombang ultrasonik kemudian menangkap pantulannya. Sensor ini dapat mengukur jarak suatu benda dengan jarak maksimal 4 meter dan memiliki *blank area* 2 centimeter. *Blank area* yaitu sensor yang tidak dapat mengukur jarak jika jarak benda < 2cm. Prinsip kerjanya dari sensor ini yaitu transmitter memancarkan seberkas sinyal ultrasonik (40 KHz) dalam bentuk pulsa, kemudian akan dipantulkan kembali ketika di depan sensor terdapat penghalang^[8].

2.6 Kendali Logika Fuzzy

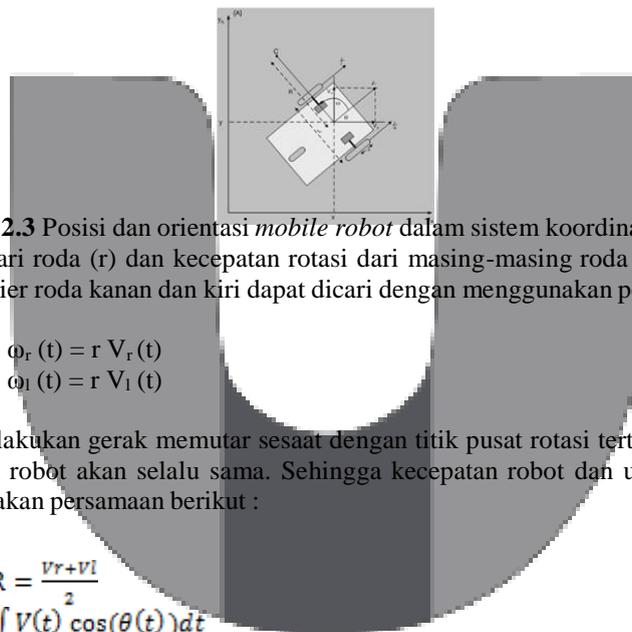
Logika *fuzzy* adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input ke dalam suatu ruang output. Kendali logika *fuzzy* ini bekerja berdasarkan aturan linguistik yang dibuat mirip dengan seorang operator ahli dalam melakukan proses kendali^[10]. Dalam pengendaliannya, *fuzzy* memiliki aturan yang lengkap yang ditunjukkan pada gambar 2.3



Gambar 2.2 Aturan fuzzy

2.7 Model Kinematika Robot Mobil Differential Drive

Salah satu jenis mobile robot yang umum digunakan dalam ruangan adalah mobile robot dengan sistem penggerak diferensial (differential drive). Secara teknis, robot jenis ini pada dasarnya memiliki dua roda utama yang masing-masing digerakkan oleh penggerak berupa motor DC magnet permanen dengan gear pereduksi yang berfungsi untuk memperkuat torsi motor. Jika kedua roda penggerak berputar dengan kecepatan yang sama, maka robot akan bergerak dengan arah yang lurus, sedangkan jika kecepatan salah satu rda lebih lambat maka robot akan bergerak membentuk kurva dengan arah lintasan menuju salah satu roda yang bergerak lebih lambat^[10]. Posisi dan orientasi robot mobil dalam sistem koordinat cartesian ditunjukkan pada gambar 2.4



Gambar 2.3 Posisi dan orientasi mobile robot dalam sistem koordinat cartesian

Dengan mengetahui jari-jari roda (r) dan kecepatan rotasi dari masing-masing roda (kanan dan kiri) berupa ω_r dan ω_l , maka kecepatan linier roda kanan dan kiri dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\omega_r(t) = r V_r(t) \tag{2.1}$$

$$\omega_l(t) = r V_l(t) \tag{2.2}$$

Sehingga ketika robot melakukan gerak memutar sesaat dengan titik pusat rotasi tertentu (ICC), maka kecepatan memutar pada setiap titik robot akan selalu sama. Sehingga kecepatan robot dan untuk mendapatkan integrasi kecepatan robot menggunakan persamaan berikut :

$$\tag{2.3}$$

$$V = \omega R = \frac{vr+vl}{2} \tag{2.4}$$

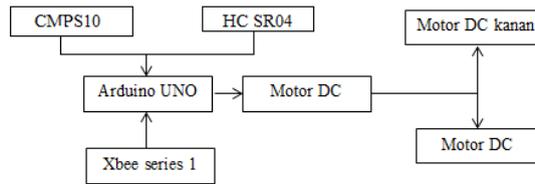
$$x(t) = \int V(t) \cos(\theta(t)) dt \tag{2.5}$$

$$y(t) = \int V(t) \sin(\theta(t)) dt \tag{2.6}$$

$$\theta(t) = \int \omega(t) dt$$

2.8 Gambaran Umum Sistem

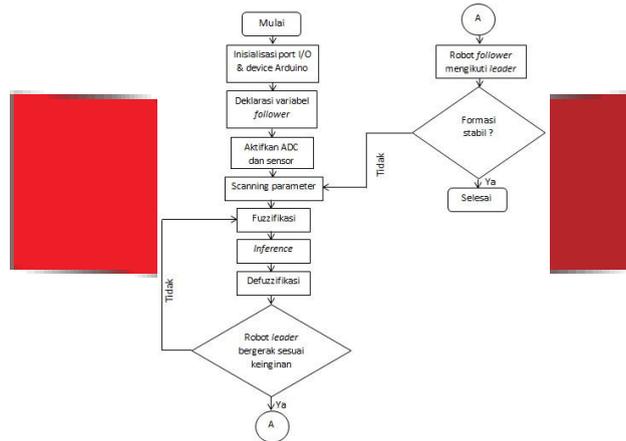
Sistem yang telah direalisasikan merupakan sistem yang dapat mempertahankan posisi antara leader dan follower. Dua buah mobile robot dengan masing-masing fungsi sebagai leader dan follower dirancang berdasarkan diagram blok pada gambar 2.5. Follower yang tujuannya mengukur parameter-parameter yang berkaitan dengan gerak mobil leader dibuat dengan spesifikasi sensor yang lengkap seperti sensor kompas dan HC SR04. Gambar 2.5 adalah blok diagram perancangan robot.



Gambar 2.4 Blok diagram untuk robot follower

2.9 Perancangan dan Realisasi Fuzzy Logic

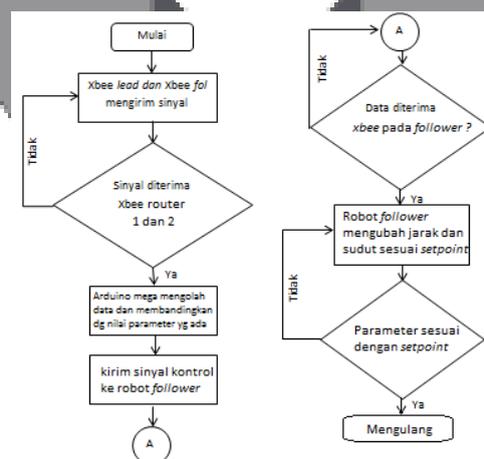
Fuzzy Logic yang digunakan dalam perancangan dan implementasi sistem mobile robot pada metode leader-follower berfungsi sebagai pengontrol yang menentukan posisi antara leader dan follower serta arah perputaran PWM dari motor dc. Gambar 2.6 merupakan flowchart tahapan dari fuzzy logic yang dirancang.



Gambar 2.5 Flowchart Fuzzy Logic yang dirancang

2.10 Perancangan Sistem Komunikasi antar mobile robot

Dalam percobaan penelitian ini menggunakan 5 buah perangkat komunikasi Xbee untuk proses komunikasi, dimana 2 buah perangkat Xbee dipasang pada masing-masing mobile robot dan 2 buah perangkat Xbee (router) terhubung langsung di sudut ruangan yang digunakan sebagai penerima data dan penghubung antara 2 mobile robot serta 1 buah perangkat Xbee sebagai koordinator. Komunikasi yang dirancang pada sistem mobile robot ini adalah komunikasi dua arah, namun antara robot leader dan robot follower tidak berkomunikasi secara langsung melainkan melalui koordinator (Arduino Mega). Perancangan komunikasi digambarkan pada gambar 2.7.



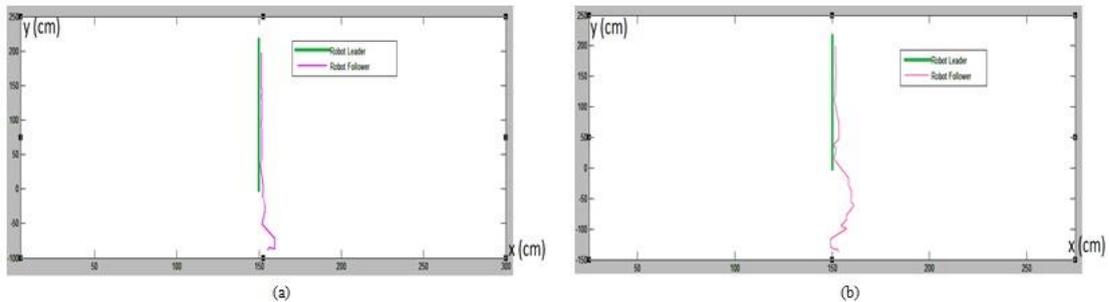
Gambar 2.6 Sistem Komunikasi Leader Follower

3. Pengujian dan Analisis

3.1 Desain Kontrol Fuzzy

Posisi robot leader dan follower yang selalu berubah dikarenakan perpindahan posisi mengakibatkan terjadinya perubahan data berupa selisih sudut dan jarak. Perubahan tersebut menyebabkan robot follower harus bergerak lebih cepat atau lebih lambat. Oleh karena itu, diperlukan sistem kontrol fuzzy untuk mengontrol

pergerakan robot *follower*. Sehingga robot *follower* dapat berjalan sesuai dengan yang diharapkan. Dalam penelitian ini menggunakan 2 buah masukan yaitu jarak dan sudut sedangkan pada keluaran terdiri dari PWM kanan dan PWM kiri. Dengan membuat fuzzifikasi, *rule base*, dan defuzzifikasi pada robot maka akan didapat keluaran berupa arus yang digunakan motor DC untuk menggerakkan aktuator. Pengujian pada implementasi kontrol fuzzy ini dilakukan pada 3 kali percobaan yaitu pada posisi awal robot *follower* lurus, menghadap ke kanan, dan menghadap ke kiri. Data yang didapat dari pengujian sistem kontrol ini ditunjukkan pada tabel 3.2

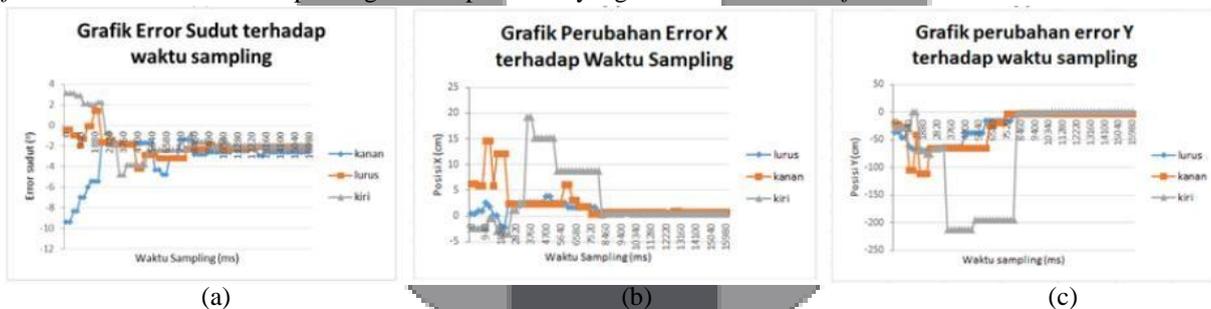


Gambar 3.1 Plot posisi leader terhadap follower pada posisi awal : a) lurus, b) menghadap ke kiri

Pada gambar 3.1 dapat dilihat bahwa ketika posisi awal robot lurus dan menghadap ke kiri robot *follower* dapat mengikuti posisi dari robot *leader*. Namun, robot *follower* bergerak sedikit lebih lama dikarenakan pengontrolan fuzzy yang terjadi pada *station ground* harus mengoreksi masing-masing *rule base* yang telah dibuat. Sehingga ketika robot *leader* telah bergerak, robot *follower* masih menunggu respon kontrol yang tepat untuk melakukan pergerakan mengikuti robot *leader*. Hal ini disebabkan oleh perubahan gerak robot yang cepat dibandingkan perubahan sudut yang diukur oleh CMPS10 sehingga nilai perhitungan trigonometri untuk penentuan posisi *follower* pun berubah, selain itu *delay* program antara robot *leader* dan robot *follower* yang cukup lama mengakibatkan penerimaan dan pengiriman sinyal komunikasi robot *follower* terkadang berbenturan. Sedangkan ketika posisi awal robot *follower* menghadap ke kanan, data yang dihasilkan tidak dapat diplot karena perubahan sudut yang selalu berubah meskipun berada pada arah yang sama. Hal ini dikarenakan adanya pengaruh medan magnet pada pengukuran CMPS10 yang berada di sekitar area pengujian.

3.2 Pengujian Respon Sistem

Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk melihat kesesuaian respon sistem yang diterima oleh robot *follower*. Gambar 3.2 merupakan grafik respon *error* yang diterima oleh robot *follower*.



Gambar 3.2 Grafik respon error terhadap waktu sampling pada a) sudut, b) posisi X, dan c) posisi Y

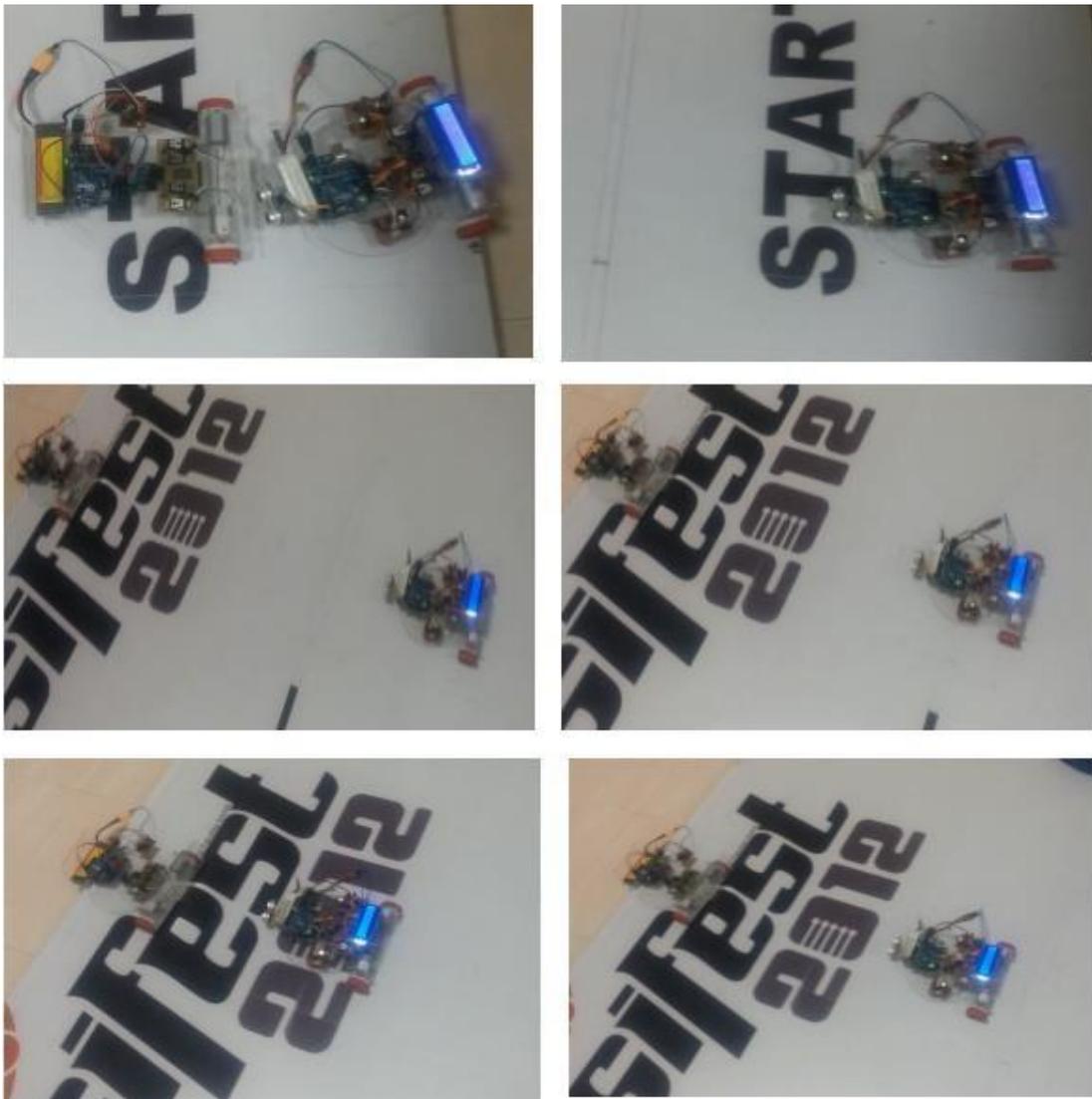
Pada gambar 3.2 (a) dapat dilihat bahwa *error* yang dihasilkan robot pada posisi awal lurus, menghadap ke kanan, dan menghadap ke kiri awalnya memiliki *error* yang cukup besar dan cenderung fluktuatif perubahan sudutnya. Namun ketika robot bergerak, *error* yang dihasilkan robot *follower* cenderung mengecil dan mendekati 0°. Hal tersebut diakibatkan karena adanya perubahan sensor kompas yang cenderung berubah-ubah di tiap titiknya karena diakibatkan adanya pengaruh medan magnet di sekitar area pengujian. Sehingga ketika sudut memiliki nilai simpangan yang lebih besar, maka robot *follower* membutuhkan waktu yang cukup lama untuk bergerak kembali pada acuan jarak dan sudut.

Pada gambar 3.2 (b) dapat dilihat bahwa pada posisi X pada posisi awal lurus, menghadap ke kanan, dan menghadap ke kiri menghasilkan *error* yang cenderung fluktuatif pada awal pergerakan dan akan mendekati 0 ketika robot terus berjalan. Hal ini menunjukkan bahwa pada posisi awal robot seperti apapun, robot *follower* tetap akan tetap berusaha menjaga formasi terhadap robot *leader*. Pada grafik yang ditunjukkan dari gambar 4.10 terlihat bahwa nilai *error* yang lebih besar dihasilkan oleh posisi awal robot menghadap ke kanan dan ke kiri. Hal ini diakibatkan oleh pembacaan sensor CMPS10 yang terkadang berubah-ubah meskipun berada pada satu titik dengan arah yang sama. Selain itu, pembacaan sensor CMPS10 yang cukup lama daripada pergerakan robot

mengakibatkan selisih sudut yang besar. Ketika posisi awal robot lurus, perubahan sudut yang terjadi tidak terlalu besar sehingga robot tidak terlalu menyimpang jauh dari sumbu X.

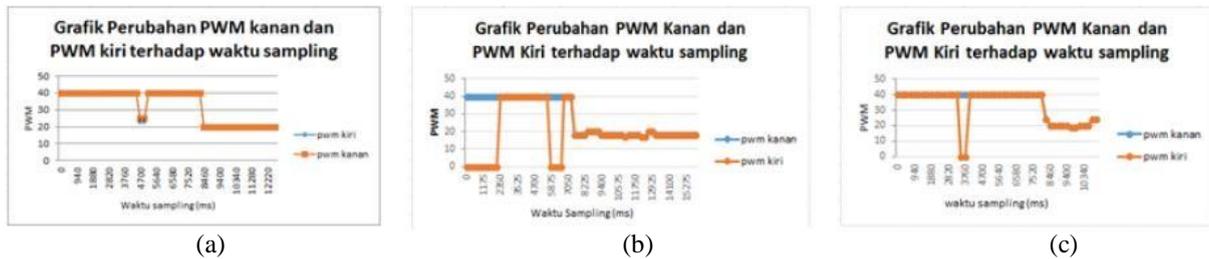
Sedangkan pada gambar 3.3 (b) dapat dilihat bahwa *error* posisi pada awal robot *follower* bergerak cenderung fluktuatif dan ketika robot *follower* mengikuti *leader* nilai *error* yang ditunjukkan mendekati 0. Hal ini diakibatkan oleh respon robot *follower* yang cukup lama sehingga menyebabkan robot *follower* tertinggal dibelakang robot *leader*. Hal ini diakibatkan oleh *delay* respon pada sistem. Sehingga robot *follower* harus menunggu cukup lama untuk mendapatkan respon yang sesuai, sedangkan robot *leader* tetap berjalan dan menyebabkan rentang *error* yang semakin jauh. Nilai *error* yang cukup besar dalam grafik diartikan bahwa robot *follower* telah melewati jarak acuan (>15 cm).

Dari ketiga gambar tersebut (gambar 4.9, 4.10, dan 4.11) terlihat bahwa ketika posisi awal robot *follower* lurus adalah posisi paling cepat robot *follower* kembali ke formasi. Hal ini disebabkan oleh posisi awal robot yang tidak terlalu dipengaruhi oleh perubahan nilai sudut pada sensor CMPS10.



Gambar 3.3 Hasil implementasi *mobile robot*

Setelah *error* dari sistem diketahui, maka perlu diketahui respon keluaran yang dihasilkan pada sistem. Hal ini dikarenakan untuk melihat kesesuaian input yang diberikan pada sistem. Gambar 3.3 merupakan hasil keluaran terhadap waktu.



Gambar 3.4 Gambar respon keluaran terhadap waktu pada a) lurus, b) menghadap ke kanan, dan c) menghadap ke kiri

Dari gambar 3.3 (a),(b), dan (c) dapat dilihat bahwa nilai keluaran stabil di nilai tertentu. Dari gambar dapat dilihat bahwa perubahan *error* yang terjadi ketika robot bergerak cenderung stabil. Pada gambar 3.3 (a) terlihat bahwa nilai PWM kanan dan PWM kiri saling bertumpuk, namun pada waktu 4700 ms dan 4935 ms nilai PWM kanan dan PWM kiri yang dihasilkan tidak sama. Hal tersebut dikarenakan pada waktu sampling tersebut robot *follower* bergerak membelok untuk menyesuaikan formasi pada robot *leader*. Sedangkan pada gambar 4.13 dapat dilihat bahwa PWM kanan dan PWM kiri cenderung stabil, namun pada awal pergerakan robot *follower* terjadi perbedaan PWM kanan dan PWM kiri. Hal ini dikarenakan posisi awal robot *follower* yang menghadap ke kanan. Sehingga pada awal pergerakan robot *follower*, robot akan menyesuaikan formasi dengan bergerak membelok ke kanan.

Sama seperti pada posisi awal robot *follower* menghadap ke kanan, pada gambar 4.13 dapat dilihat bahwa pergerakan robot cenderung stabil. Namun ketika waktu sampling 3525 ms dan 3760 ms PWM kanan dan PWM kiri tidak sama dikarenakan robot *follower* bergerak membelok untuk menyesuaikan posisinya terhadap robot *leader*.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada penelitian ini, maka kesimpulan yang didapatkan sebagai berikut :

1. Dengan menggunakan *fuzzy logic* robot *follower* dapat menjaga formasi dengan *error* pada posisi awal lurus yaitu $X = 1\%$ dan $Y = 15\%$, pada posisi awal menghadap ke kiri yaitu $X = 3\%$ dan $Y = 32\%$, dan pada posisi awal menghadap ke kanan yaitu $X = 2\%$ dan $Y = 16\%$. Hal tersebut dikarenakan pada saat posisi awal robot *follower* lurus, posisi X cenderung konstan karena perubahan sudut yang terjadi selama pergerakan kecil, sehingga keterlambatan pembacaan kompas tidak terlalu berdampak pada gerak robot *follower*. Sedangkan ketika posisi awal robot *follower* menghadap ke kiri dan kanan, posisi X cenderung berubah-ubah, sehingga keterlambatan pembacaan kompas berpengaruh pada gerak robot dan menyebabkan respon kontrol yang diterima lambat dan membutuhkan waktu yang cukup lama untuk kembali ke posisi X yang diinginkan.
2. Pada saat kondisi awal robot *follower* lurus respon kontrol yang diterima robot baik dan cenderung dapat mempertahankan formasi. Namun ketika kondisi awal robot *follower* menghadap ke kanan dan ke kiri respon yang diterima robot kadang terlambat, sehingga terkadang menyebabkan error yang cukup besar dalam pemosisian. Hal tersebut terjadi karena rentang waktu perubahan arah robot *follower* lebih cepat dibandingkan perubahan nilai pengukuran sensor kompas.
3. Nilai RSSI yang dihasilkan Xbee series1 memiliki *error* yang cukup besar sehingga mengakibatkan terjadinya *error* dalam pemosisian robot *leader* dan *follower* karena semakin jauh jarak antara *receiver* dan *transmitter* maka jarak yang dihasilkan dari metode trilaterasi akan *error*.
4. Pengukuran sudut pada CMPS10 antara satu titik dengan titik lain berubah-ubah walaupun menghadap ke arah yang sama. Hal ini dikarenakan adanya pengaruh medan magnet di sekitar area pengujian.

4.2 Saran

Hasil penelitian ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, ada beberapa hal yang dapat dikembangkan lebih lanjut, yaitu:

1. Komunikasi dengan menggunakan Xbee membutuhkan delay yang tepat agar respon kontrol yang dikirim dan diterima oleh robot *follower* melalui *station ground* tidak berbenturan. Sehingga diperlukan pengaturan

delay yang lebih baik agar tidak ada data yang berbenturan ketika robot *follower* mengirim dan menerima data, sehingga respon yang dikeluarkan oleh sistem akan semakin baik.

2. Permukaan roda harus kasar dan tidak licin.
3. Penggunaan Xbee dalam penentuan posisi untuk skala area pengujian yang kecil tidak disarankan karena nilai RSSI yang diterima oleh *receiver* tidak stabil sehingga konversi jarak yang didapat fluktuatif dan terkadang tidak stabil.
4. Penambahan sensor HC SR04 yang lebih banyak dapat menyempurnakan sistem kontrol *leader follower* karena dapat mengukur sisi dari berbagai arah.

Daftar Pustaka:

- [1] Malik Ibnu. (2010). "*Membuat Robot Mobil Pengikut Garis (Line Follower)*". Naufal micro and robotics, vol 1, pp 3, Indonesia.
- [2] N. Lechevin, C.A. Rabbath, dan P. Sicard. (2006). "*Trajectory tracking of leader-follower formations characterized by constant line-of-sight angles*". *Automatica*, 42:2131 – 2141.
- [3] R. Shaha, S.Ozcelik, dkk.(2012)."*Design of a highly maneuverable mobile robot*". *Procedia Computer Science*, vol 12, pp 170-175, Washington D.C.
- [4] Niam, Choirun, (Maret, 2011) "*Perancangan dan Pembuatan Prototipe Robot Inspeksi Rel Kereta Api*", Universitas Diponegoro, pp. 29
- [5] Nofriyani, dkk. (oktober, 2011)."*Rancang Bangun Robot Leader dan Robot Follower dengan Sistem Navigasi Sensor Infra Merah*". Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.
- [6] Sparkfun. Datasheet Zigbee Wireleess [online]. Tersedia : <https://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/Zigbee/XBee-Datasheet>. Diakses pada November 18, 2014.
- [7] Pristovani, Dimas. Ardiansyah, dkk. *Deviation-Direction Compensation of Magnetic Field Effect Using Circle Equation Method on Robot Eros (Epic Robosoccer)*. Jurnal Politeknik Elektronik Negeri Surabaya.
- [8] Sa'adi, Hakim.(2010). *Prototipe Robot Pengikut pada Implementasi Robot Swarm untuk Membentuk Formasi Mengikuti Pemimpin*. Buku Tugas Akhir Teknik Elektronika, Politeknik Negeri Surabaya.
- [9] Budi Made,Fithra. (Februari, 2011). *Rancang Bangun Robot Mobil menggunakan Logika Fuzzy untuk bernavigasi berdasarkan Mikrokontroler AVR ATmega 8535*. Universitas Mataram. vol2.
- [10] Hisyam, Moh. Endah Suryawati, dkk. *Implementasi Metode Fuzzy Logic untuk Kontrol Pergerakan Autonomous Mobile Robot pada Aplikasi Soccer Robot*. Paper Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.