

# Robot Swarm *Leader Follower* Menggunakan Algoritma Logika Fuzzy Interval Tipe 2

Gita Fadila Fitriana<sup>1</sup>, Husnawati<sup>2</sup>  
Magister Teknik Informatika  
Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Sriwijaya  
STMik GI MDP<sup>1Mn</sup>  
Sumatera Selatan, Indonesia  
{gitafadila.uthy.51291}@gmail.com

Siti Nurmaini  
Fakultas Ilmu Komputer  
Universitas Sriwijaya  
Jl. Raya Palembang-Prabumulih Km. 32 Indralaya, OI  
Sumatera Selatan, Indonesia  
sitinurmaini@gmail.com

**Abstrak**—Pergerakan kontrol formasi robot leader follower sulit dilakukan karena gerak robot yang sulit dikontrol sehingga dibutuhkan sistem navigasi gerak robot leader follower. Sistem navigasi pada penelitian ini menggunakan Algoritma Logika Fuzzy Interval Tipe (LFIT) 2. Robot bergerak dengan secara beriringan, dimana robot dibelakang disebut robot *follower* dan robot pemimpin disebut sebagai *leader*. Hasil dari penelitian ini bahwa metode-metode yang akan diimplementasikan pada robot swarm leader follower menggunakan algoritma LFIT 2 lebih baik daripada algoritma Logika Fuzzy Tipe (LFT) 1 yang ditunjukkan pada surface.

**Keywords:** *leader follower, robot swarm, algoritma logika fuzzy interval tipe 2, algoritma logika fuzzy tipe 1*

## I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi saat ini mengarah pada otomatisasi di berbagai bidang, salah satunya teknologi robotika. Robot saat ini menjadi solusi alternatif di tengah keterbatasan manusia dalam mengerjakan aktifitas secara kontinyu dan tidak mampu bekerja selama 24 jam penuh [1]. Aktifitas robot-robot tersebut dapat diimplementasikan pada bidang kesehatan, pertanian, permainan, dan penelitian [2].

Secara umum robot dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu robot manipulator dan robot *swarm*. Robot manipulator memiliki lengan (*arm robot*), robot jenis ini sering digunakan pada bidang industri [2]. Beberapa pendekatan untuk kontrol dan strategi pada formasi robot *swarm* dapat dirujuk pada literatur, seperti pendekatan berbasis perilaku [3][4][5], pendekatan struktur virtual [6][7] [8], pendekatan *leader follower* [9] [10] [11]. Robot *swarm* dengan metode *leader follower* menarik untuk menjadi topik penelitian. Secara umum metode *leader follower* merupakan konsep yang mengikuti pemimpin (*leader*) didasarkan pada kebutuhan suatu kelompok untuk mencapai keteraturan. Hal terpenting dalam konsep

*leader follower* adalah mengontrol formasi dari robot, sehingga robot dapat mencapai bentuk formasi yang diinginkan. Topik penelitian ini memiliki tantangan karena harus mengintegrasikan pengukuran, komunikasi, dan pengontrolan dalam waktu yang relatif singkat [12].

Sebuah sistem navigasi diperlukan untuk memandu pergerakan robot *swarm* di dalam lingkungan yang tidak terstruktur, agar robot tersebut tidak terganggu atau bertabrakan dengan objek lain. Dalam menghindari halangan, sistem navigasi harus menghadapi masalah-masalah ketidakpastian, yaitu ketidakpastian sensor, aktuator, dan lingkungan [13].

Algoritma Logika Fuzzy Interval Tipe (LFIT) 2 digunakan untuk control gerak robot *swarm*. Algoritma LFIT 2 merupakan perluasan dari algoritma LFT 1. Fungsi keanggotaan dalam algoritma LFIT 2 memiliki dua derajat keanggotaan, yaitu derajat keanggotaan primer dan sekunder. Hal tersebut diharapkan dapat menyelesaikan masalah ketidakpastian yang terdapat pada LFT 1 [14].

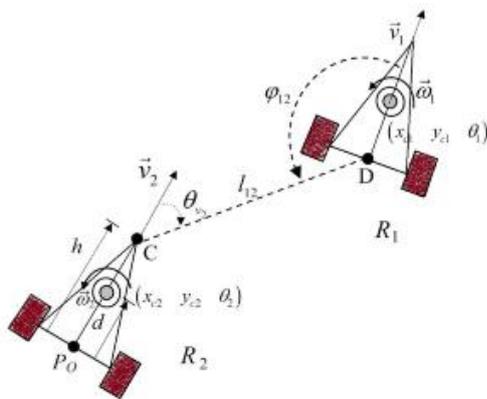
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, maka pada tesis ini menggunakan algoritma LFIT 2 untuk simulasi robot *swarm leader follower* dan pemodelan pengendalian formasi robot *swarm leader follower* menggunakan persamaan matematis untuk dua robot *swarm leader follower*.

## II. METODE PENELITIAN

### A. *Leader Follower* pada Robot Swarm

*Leader follower* merupakan salah satu perilaku dari robot *swarm*. *Leader follower* merupakan robot yang berperan sebagai robot pemimpin (*leader*) dan sebagian robot pengikut (*follower*). Gerak robot *follower* mengikuti trajektori robot

*leader* dengan jarak yang ditentukan dalam kecepatan yang stabil serta percepatan yang dinamis [15].



Gambar 1 Model formasi dua robot *leader follower* pada penelitian [16]

Bentuk persamaan *kinematic* robot *leader follower* [17] ditunjukkan pada Persamaan 2.1 sebagai berikut:

$$\dot{p}_i = \begin{bmatrix} \dot{x}_i \\ \dot{y}_i \\ \dot{\theta}_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -d\cos\theta_i \\ \sin\theta_i & d\cos\theta_i \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_i \\ \omega_i \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

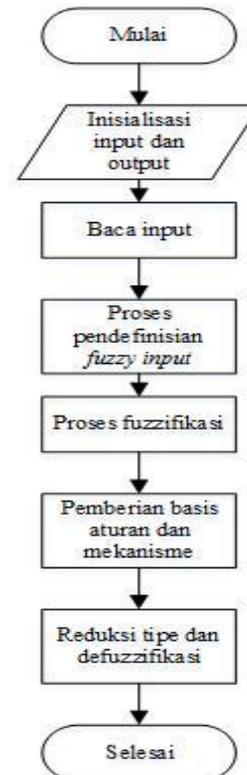
Dimana  $(x_{ci}, y_{ci})$  merupakan koordinat dari massa  $p_i$  dan  $\theta_i$  merupakan kepala sudut pada robot. Pada Gambar 2.1,  $\vec{v}$   $\vec{\omega}$  merupakan kecepatan sudut dan linier pada robot  $R_i$ .  $P_o$  merupakan perpotongan sumbu simetri dengan sumbu roda. Notasi  $d$  merupakan jarak dari titik pusat ke titik  $P_o$  dan  $h$  merupakan jarak dari titik referensi  $C$  ke  $P_o$ .

Menurut [18][9][19][17], bahwa persamaan kinematik robot pemimpin (*leader*) dan pengikut (*follower*) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} i_{12} &= v_2 \cos \gamma - v_1 \cos \psi_{12} + d \omega_2 \sin \gamma \\ \psi_{12} &= \frac{1}{l_{12}} \{v_1 \sin \psi_{12} - v_2 \sin \gamma + d \omega_2 \cos \gamma - l_{12} \omega_1\} \\ \gamma_{12} &= \omega_1 - \omega_2 \end{aligned} \quad (2.2)$$

**B. Algoritma Logika Fuzzy Interval Tipe (LFIT) 2**

Pada penelitian ini menggunakan algoritma LFIT 2, perancangan algoritma LFIT 2 dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Algoritma LFIT 2

Proses fuzzifikasi merupakan suatu tahapan untuk mengubah suatu nilai masukan dari bentuk nilai pasti menjadi *fuzzy input* (variabel linguistik). Bentuk variable linguistic disediakan dalam bentuk himpunan-himpunan *fuzzy* dengan fungsi keanggotaannya masing-masing. Fungsi keanggotaan dalam algoritma LFIT 2 memiliki dua derajat keanggotaan, yaitu derajat keanggotaan primer dan sekunder (yang merupakan derajat keanggotaan dari derajat keanggotaan primer). Sedangkan derajat keanggotaan sekunder dalam algoritma LFT 2 *interval* adalah bernilai 1, yang disebut FOU (*Footprint Of Uncertainty*) [20], garis yang berada pada nilai-nilai tertinggi disebut sebagai *Upper Membership Function* (UMF), dan yang berada pada nilai-nilai terendah disebut

*Prosiding*  
**ANNUAL RESEARCH SEMINAR 2016**  
 6 Desember 2016, Vol 2 No. 1

ISBN : 979-587-626-0 | UNSRI

<http://ars.ilkom.unsri.ac.id>

sebagai *Lower Membership Function (LMF)*. Fungsi keanggotaan dapat dinyatakan dalam fungsi keanggotaan segitiga, trapesium, sigmoid atau fungsi keanggotaan lainnya. Selanjutnya, tahapan basis kaidah merupakan aturan-aturan berupa pernyataan logika fuzzy yang berbentuk "Jika-Maka" (*If-Then*) yang merupakan inti dari relasi fuzzy.

Setelah menentukan basis kaidah pada sistem ini, lalu masuk ke tahapan tipe reduksi. Tipe reduksi merupakan *output processing* terdiri dari dua langkah. Langkah pertama adalah reduksi tipe (*type reduction*) dan kedua adalah defuzzifikasi. Hal ini dikarenakan keluaran dari *inference* merupakan himpunan LFIT 2. Metode reduksi tipe bertujuan untuk mengubah himpunan fuzzy tipe 2 yang dihasilkan pada proses sebelumnya menjadi himpunan fuzzy tipe 1. Himpunan yang telah direduksi tipe kemudian difuzzifikasi menjadi nilai tegas (*crisp*) untuk keluaran dari fuzzy proses [21]. Tahapan terakhir pada algoritma LFIT 2 yaitu defuzzifikasi. Defuzzifikasi merupakan Nilai tegas dari suatu himpunan tereduksi dapat dihitung dengan merata-rata nilai paling kanan dan paling kiri dari himpunan tereduksi, atau dapat dinyatakan sebagai:

$$y = \frac{y_{kiri} + y_{kanan}}{2} \quad (2.3)$$

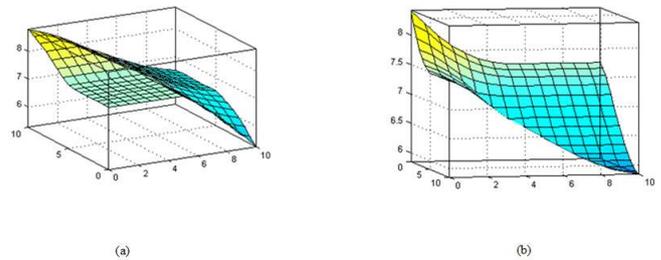
### III. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pengujian sistem navigasi pada *leader follower* dengan algoritma LFIT 2 menggunakan inferensi Mamdani. menggunakan 2 variabel linguistik pada masing-masing algoritma LFT 1 dan algoritma LFIT 2. Sehingga perbandingan hasil sementara pada penelitian ini berupa *surface* untuk melihat hasil yang dicapai pada pergerakan robot yang dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.

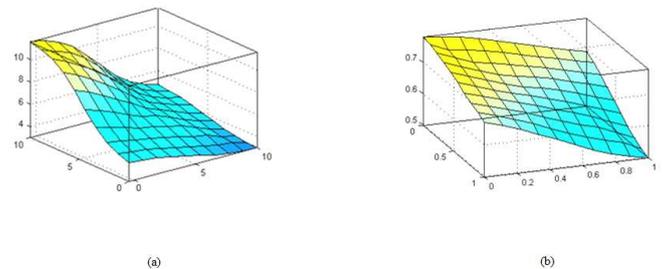
TABLE 1. BASIS KAIDAH 2 VAIABEL LINGUISTIK

Sensor0	Sensor1	Sensor2	Kecepatan	Perubahan Sudut
Dekat	Dekat	Dekat	Lambat	Lurus
Dekat	Dekat	Jauh	Lambat	Kanan
Dekat	Jauh	Dekat	Lambat	Lurus
Dekat	Jauh	Jauh	Sedang	Kanan
Jauh	Dekat	Dekat	Lambat	Kiri
Jauh	Dekat	Jauh	Sedang	Kiri

Jauh	Jauh	Dekat	Sedang	Kiri
Jauh	Jauh	Jauh	Cepat	Lurus



Gambar 3 Hasil LFT 1 (a) keluaran perubahan sudut (b) keluaran kecepatan



Gambar 4 Hasil LFIT 2 (a) keluaran perubahan sudut (b) keluaran kecepatan

Terlihat pada Gambar 3 menggunakan algoritma LFT 1, masukan sensor 0 sebesar 2, sensor 1 sebesar 0.5 dan sensor 2 sebesar 0.6. Hasil pada algoritma LFT 1 menunjukkan keluaran arah sebesar 5.11 dengan keluaran variable linguistik lurus dan kecepatan sebesar 8.55 dengan keluaran lambat. Pada gambar 3 menunjukkan bahwa besarnya keluaran berupa perubahan sudut berubah-ubah dengan curam dan perubahan kecepatan yang sangat meningkat tajam. Sedangkan Gambar 4 masukan sensor 0 sebesar 0.05, sensor 1 sebesar 0.4 dan sensor 2 sebesar 0.3. Hasil pada algoritma LFIT 2 menunjukkan keluaran arah sebesar 0.5912 dengan keluaran

*Prosiding*  
**ANNUAL RESEARCH SEMINAR 2016**

6 Desember 2016, Vol 2 No. 1

ISBN : 979-587-626-0 | UNSRI

http://ars.ilkom.unsri.ac.id

variable linguistik kanan dan kecepatan sebesar 0.5912 dengan keluaran sedang. Surface pada Gambar 4, bahwa pengendali dengan algoritma LFIT 2 memiliki permukaan yang *smooth* hal ini ditandai dengan bentuk lereng pada *surface*, dimana lereng menggambarkan penurunan besar perubahan sudut yang bertahap dan hal yang sama pada perubahan kecepatan.

#### IV. KESIMPULAN

Penelitian robot *leader follower* pada robot *swarm* dengan kontrol algoritma LFIT 2 mendapatkan hasil berupa surface yang baik dapat dilihat pada bab hasil dan pembahasan, untuk kontrol gerak robot *leader* maupun *follower*. Penelitian ini dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya dengan menambahkan lebih dari dua robot disertai dengan bentuk trajektori yang dinamis dengan dua algoritma yang di hybrid untuk kontrol gerak robot. Sehingga, dapat dicapai hasil yang lebih baik untuk penelitian selanjutnya.

#### V. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada seluruh dosen dan jurusan Magister Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.

#### REFERENSI

- [1] Pitowarno and Endra, *Robotika - Desain, Kontrol dan Kecerdasan Buatan*. Yogyakarta: Andi, 2006.
- [2] M. S. Gitakarma, K. U. Ariawan, and N. A. Wigrha, "Alat Bantu Survey Bawah Air menggunakan Amoba, Robot berbasis ROV," *J. Sains dan Teknol.*, vol. 3, no. 2, 2014.
- [3] T. Balch and R. C. Arkin, "Behavior-Based Formation Control for Multirobot Teams," *IEEE Trans. Robot. Autom.*, vol. 14, no. 6, pp. 926–939, 1998.
- [4] J. R. T. Lawton, R. W. Beard, and B. J. Young, "A Decentralized Approach to Formation Maneuvers," *IEEE Trans. Robot. Autom.*, vol. 19, no. 6, pp. 933–941, 2003.
- [5] A. Brunete, M. Hernando, E. Gambao, and J. E. Torres, "A behaviour-based control architecture for heterogeneous modular," *Rob. Auton. Syst.*, vol. 60, pp. 1607–1624, 2012.
- [6] K. Tan and M. A. Lewis, "Virtual Structures for High-Precision Cooperative Mobile Robotic Control \*," *Proc IROS 96*, pp. 132–139, 1996.
- [7] M. Egerstedt and X. Hu, "Formation Constrained Multi-Agent Control," *IEEE Trans. Robot. Autom.*, vol. 17, no. 6, pp. 947–951, 2001.
- [8] M. A. Lewis and K. Tan, "High Precision Formation Control of Mobile Robots Using Virtual Structures," *Auton. Robot. 4*, vol. 403, pp. 387–403, 1997.
- [9] J. P. Desai, J. P. Ostrowski, and V. Kumar, "Modeling and Control of Formations of Nonholonomic Mobile Robots," *IEEE Trans. Robot. Autom.*, vol. 17, no. 6, pp. 905–908, 2001.
- [10] G. L. Mariottini, F. Morbidi, D. Prattichizzo, G. J. Pappas, and K. Daniilidis, "Leader-Follower Formations: Uncalibrated Vision-Based Localization and Control," *IEEE Int. Conf. Robot. Autom.*, no. April, pp. 10–14, 2007.
- [11] J.-L. Wang and H.-N. Wu, "Leader-following formation control of multi-agent systems under fixed and switching topologies," *Int. J. Control*, no. March 2015, pp. 37–41, 2012.
- [12] J. D. McLurkin, "Analysis and Implementation of Distributed Algorithms for Multi-Robot Systems," 2008.
- [13] S. Nurmaini and A. Primanita, "Modeling of Mobile Robot System with Control Strategy Based on Type-2 Fuzzy Logic," *Int. J. Inf. Comun. Tehnol. Res.*, vol. 2, no. 3, pp. 235–242, 2012.
- [14] B. Riyanto and W. Dwiono, "Sistem Kendali Fuzzy Bertipe-2 Interval dengan Struktur Adaptif Beracuan Model," *Proc. ITB Sains dan Tek*, vol. 38, no. 2, pp. 181–200, 2006.
- [15] P. Chandak, "Study and Implementation of 'Follow the Leader,'" 2002.
- [16] M. N. Soorki, H. . Talebi, and S. K. . Nikraves, "Robust Leader-following Formation Control of Multiple Mobile Robots using Lyapunov Redesign," *IEEE*, pp. 277–282, 2011.
- [17] Z. Peng, G. Wen, A. Rahmani, and Y. Yu, "Leader – follower formation control of nonholonomic mobile robots based on a bioinspired neurodynamic based approach," *Rob. Auton. Syst.*, vol. 61, no. 9, pp. 988–996, 2013.
- [18] J. P. Desai, J. Ostrowski, and V. Kumar, "Controlling formations of multiple mobile robots," *IEEE Trans. Robot. Autom.*, pp. 2863 – 2869, 1998.
- [19] A. K. Das, R. Fierro, V. Kumar, J. P. Ostrowski, J. Spletzer, and C. J. Taylor, "A Vision-Based Formation Control Framework," *IEEE Trans. Robot. Autom.*, vol. 18, no. 5, pp. 813–825, 2002.
- [20] Q. Liang and J. M. Mendel, "Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems : Theory and Design," *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, vol. 8, no. 5 october, pp. 535–550, 2000.
- [21] N. H. Seng, "Implementation of Various Types of Fuzzy Controls on a Mobile Robot Using Sonar Sensors," 2008.