

## Implementasi Prilaku Berkelompok pada *Swarm Robots* Menggunakan Teknik Logika Fuzzy-Particle Swarm Optimization

Siti Nurmaini<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Robotic and Control Research Lab., Faculty of Computer Science, Sriwijaya  
Univeristy

Jl. Raya Palembang-Prabumulih, Km 32, Inderalaya-Ogan Ilir, Indonesia

<sup>1</sup>siti\_nurmaini@unsri.ac.id

### Abstrak

*Dalam paper ini dijelaskan teknik komunikasi swarm robot untuk mencapai suatu target yang telah ditentukan. Pada percobaan ini digunakan 3 robot sederhana yang identik dengan 3 sensor infra-red, sensor kompas dan X-Bee. Untuk mencapai target dan menentukan posisi dari masing-masing robot digunakan sebuah sensor kamera dengan metode deteksi perbedaan warna. Swarm robot dan sensor kamera terhubung dengan komputer yang berfungsi sebagai pusat informasi dan penyimpanan data. Untuk menghasilkan kinerja yang baik maka teknik Logika Fuzzy-Particle Swarm Optimization (PSO) digunakan dalam penelitian ini. Dari pengujian yang telah dilakukan diperoleh hasil yaitu ketiga robot dapat menemukan posisi terbaik, menghasilkan pergerakan yang halus dan mampu mencapai target yang telah ditentukan.*

**Kata kunci:** *swarm robot, prilaku berkumpul, fuzzy-PSO*

### Abstract

*This paper describes communication technique of swarm to achieve a predetermined target. In this experiment use 3 identical simple robots, with 3 infra-red sensors, compass sensors and X-Bee. For achieving the best position and target of each robot camera sensor is utilized with different color detection methods. Swarm robots and camera sensor connected to a computer which serves as an information center and data storage. To produce good performance the Fuzzy Logic-Particle Swarm Optimization (PSO) technique is used in this research. From the experiments shows that three robots can find the best position, produces mooth movement and is able to achieve the target.*

**Keywords:** *swarm robots, flocking behavior, fuzzy-PSO*

### 1. Pendahuluan

Sebuah perkembangan terbaru dalam penelitian bidang robotik adalah *swarm intelligence*. Teknik ini biasanya untuk penggunaan sekelompok besar robot dalam lingkungan yang dinamis. *Swarm intelligence* adalah suatu cabang kecerdasan artifisial atau buatan yang mencoba membuat komputer dan robot meniru perilaku yang sangat efisien dari kerumunan serangga seperti semut-semut atau lebah-lebah [1]. Semut-semut, misalnya, memakai jejak-jejak feromon, senyawa kimiawi yang dihasilkan dan

dikeluarkan semut, untuk menandai rute yang mereka pakai untuk menemukan makanan. Jejak yang mereka makin lewati membentuk suatu akumulasi feromon yang menarik semut-semut yang baru sementara feromon yang mereka lepaskan di lintasan yang kurang mereka lewati akhirnya menguap.

Keuntungan menggunakan *swarm intelligence* dalam penelitian bidang robotika meliputi peningkatan kemampuan pencarian dalam cakupan dinamis dan toleransi kesalahan yang lebih luas [2, 3]. Saat ini penggunaan dari *swarm robot* ini antara lain meliputi pencarian otonom dan operasi penyelamatan, sistem otonomi desentralisasi untuk perlindungan dan kerusakan kontrol [3, 4, 5].

Saat ini telah banyak penelitian yang dilakukan pada *swarm robot* dalam mencapai target [4-6]. Berdasarkan penelitian pada [4, 5] mengenai pencarian suatu target, paling tidak ada tiga tahap yang harus dilalui untuk menemukan suatu target. Tahap-tahap ini adalah mencari target, kemudian melakukan pelacakan menuju target, dan terakhir mendeklarasikan penemuan suatu target. Target yang dicapai oleh *swarm robot* adalah target yang tidak dapat dicapai oleh manusia. Untuk menemukan target robot harus dilengkapi oleh sensor yang dapat mendeteksi target tertentu.

Setelah mencapai target, robot akan mendeklarasikan penemuannya dengan memberikan informasi berupa estimasi posisi dari target tersebut. Estimasi posisi target yang telah ditemukan dapat menghemat waktu dari pergerakan robot yang lainnya dalam proses mendekati suatu target yang telah ditemukan tersebut. Dan pergerakan robot yang lainnya harus dapat bernavigasi dengan baik dengan berbagai lingkungan yang tidak diketahui. Dalam paper ini akan dijelaskan implementasi *swarm robot* menggunakan sebuah pendekatan untuk menyelesaikan masalah perancangan perilaku pada robot bergerak dalam mencapai posisi target berdasarkan kombinasi teknik logika *fuzzy* dan *particle swarm optimization* (PSO).

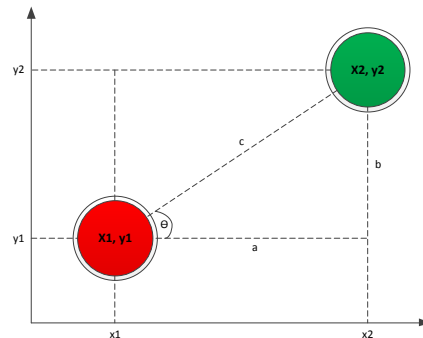
## 2. Metode Penelitian

Dalam perancangan *robot swarm* sistem navigasi dibuat untuk memandu pergerakan robot tersebut agar tidak terganggu atau bertabrakan dengan objek lain. Salah satu metode agar robot dapat bernavigasi dengan baik adalah logika *fuzzy*. Penggunaan logika *fuzzy* tersebut didasarkan pada kemampuannya menangani masalah-masalah ketidakpastian. Masalah-masalah ketidakpastian tersebut yaitu terdapat pada sensor, aktuator, dan lingkungan [7].

Agar dapat mencapai target yang telah ditentukan, robot membutuhkan sistem sensor yang dapat memandu robot menuju target tersebut. Akan tetapi dengan sensor yang murah maka akan terdapat ketidakpastian dalam proses deteksi diakibatkan keterbatasan sistem sensor dalam pendeteksian. Selain itu agar target dapat ditemukan dalam posisi yang akurat maka sistem sensor yang digunakan cenderung berharga mahal [8]. Salah satu metode yang dapat diterapkan adalah *particle swarm optimization* (PSO). Penggunaan metode PSO ini didasarkan pada penggunaan operasi matematika primitif dan secara komputasional tidak besar dalam hal pemanfaatan memori serta kecepatan pemrosesan, algoritma yang sangat sederhana, dan paradigma dapat diimplementasikan hanya dalam beberapa baris kode [9, 10]. Metode ini meniru kemampuan binatang yang mencari sumber makanan, setiap individu dalam PSO akan dianggap sebagai sebuah partikel [9]. Khususnya implementasi PSO pada kasus *swarm*

robot, maka setiap robot akan direpresentasikan sebagai partikel-partikel tersebut sedangkan posisi target merepresentasikan sumber makanan yang ada.

Pada penelitian ini digunakan 5 robot untuk pengujian, salah-satu robot akan menjadi pemimpin (*leader*) untuk robot lainnya, maka robot *follower* harus mengetahui jarak dan arah robot *leader*. Sedangkan data koordinat yang didapat dari masing-masing robot dan untuk mendapatkan jarak dan arah dari setiap robot digunakan rumus berikut ini.



**Gambar 1:** Trigonometric Formula

Dengan menggunakan Gambar 1 didapatkan rumus untuk menentukan jarak dan arah dari setiap robot. Untuk menentukan jarak antara robot *leader* dan *follower* digunakan rumus sebagai berikut,

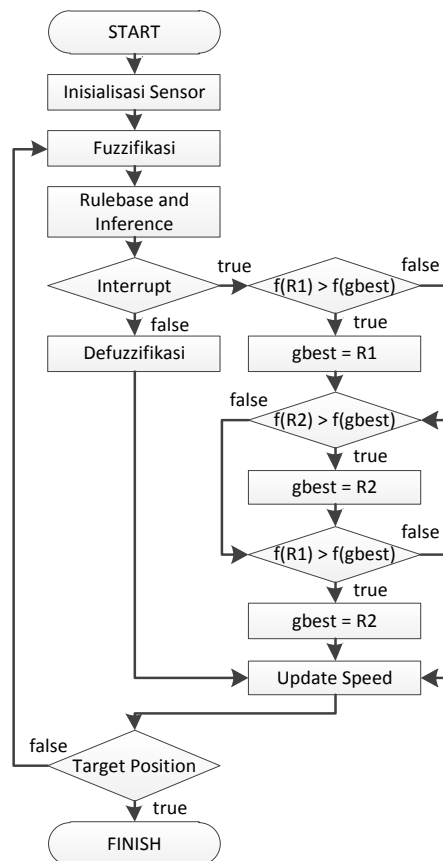
$$\begin{aligned} c &= \sqrt{a^2 + b^2}, \\ a &= x_2 - x_1, \\ b &= y_2 - y_1; \\ \theta &= \tan^{-1} b/a \end{aligned} \quad (1)$$

dimana

- $c$  = jarak robot *follower* dan *leader*
- $\Theta$  = arah robot *leader* dari robot *follower*
- $a$  = selisih koordinat x robot *follower* dan *leader*
- $x_1$  = koordinat x robot *follower*
- $x_2$  = koordinat x robot *leader*
- $b$  = selisih koordinat y robot *follower* dan *leader*
- $y_1$  = koordinat y robot *follower*
- $y_2$  = koordinat y robot *leader*

Tetapi arah yang didapat dari persamaan tersebut maksimal  $90^\circ$ , maka untuk mendapatkan  $360^\circ$  dari arah robot diperlukanlah pengkondisian yaitu dengan membaginya menjadi 4 posisi. Dimana 4 posisi ini didapat dari hasil pembagian  $360/90$ , sehingga masing-masing posisi berada pada rentang  $1^\circ-90^\circ$ ,  $91^\circ-180^\circ$ ,  $181^\circ-270^\circ$ ,  $271^\circ-360^\circ$ .

Pada penelitian ini *swarm robot* dapat bergerak secara individual dan berkelompok. Pada awal pergerakan setiap robot akan mencari posisi terbaik yang dapat dicapai dengan hambatan dan situasi yang berbeda. Sehingga dalam kondisi ini, masing-masing robot harus mampu bergerak secara individual. Apabila salah satu robot memiliki posisi terbaik, selanjutnya robot akan bergerak dalam kelompok. Saat robot bergerak secara individual, algoritma logika *fuzzy* yang akan aktif dan ketika robot bergerak dalam kelompok robot akan bergerak dengan memanfaatkan algoritma *fuzzy-PSO*. Mekanisme yang dilakukan saat proses pergerakan dan pendeteksian target adalah seperti bagan alir pada Gambar 2. Setiap terjadi perubahan kecepatan dalam setiap metode iterasi maka dilakukan berdasarkan rumus kecepatan *fuzzy* dan PSO.



**Gambar 2:** Bagan alir Fuzzy-PSO

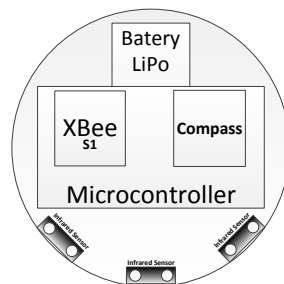
### 3. Hasil dan Analisis

Pada bagian ini akan dilakukan implementasi dari metode yang diusulkan dengan melakukan percobaan secara *real* pada 3 robot sederhana.

#### 3.1 Set-up Eksperimen

*Swarm robot* memiliki kemampuan untuk bergerak di lingkungan nyata. Dalam penelitian ini robot dirancang berbentuk lingkaran dengan diameter 15cm dengan ketinggian 17cm. Robot menggunakan 3 roda dengan fungsi 2 roda di belakang robot sebagai pengendali dan 1 roda yang dapat bergerak bebas. Kedua roda robot

dihubungkan dengan motor dc yang terhubung dengan driver motor yang dapat dikendalikan melalui penganturan *pulse width modulation* (PWM).



(a) Posisi sensor



(b) Swarm robot

**Gambar 3:** Swarm robot platform

Gambar 3 (a) menunjukkan bahwa robot menggunakan 3 sensor infra merah dan 1 sensor kompas yang digunakan untuk system navigasi selain itu swarm robot juga menggunakan X-Bee sebagai system komunikasi. Untuk dapat mengendalikan semua sistem yang ada pada robot digunakanlah microcontroller Atmega16 sebagai *embedded system* dari algoritma yang digunakan pada percobaan ini dan sebagai sumberdaya untuk robot digunakan baterai li-podengan kapasitas 12V 1300mA. Pada Gambar 3 (b) menunjukkan 3 robot sederhana dengan perbedaan warna pada permukaan. Hal tersebut dilakukan untuk mengarahkan pergerakan robot dalam penentuan siapa yang menjadi *leader* dan *follower* untuk pengujian perilaku berkelompok.

### 3.2 Sistem Komunikasi

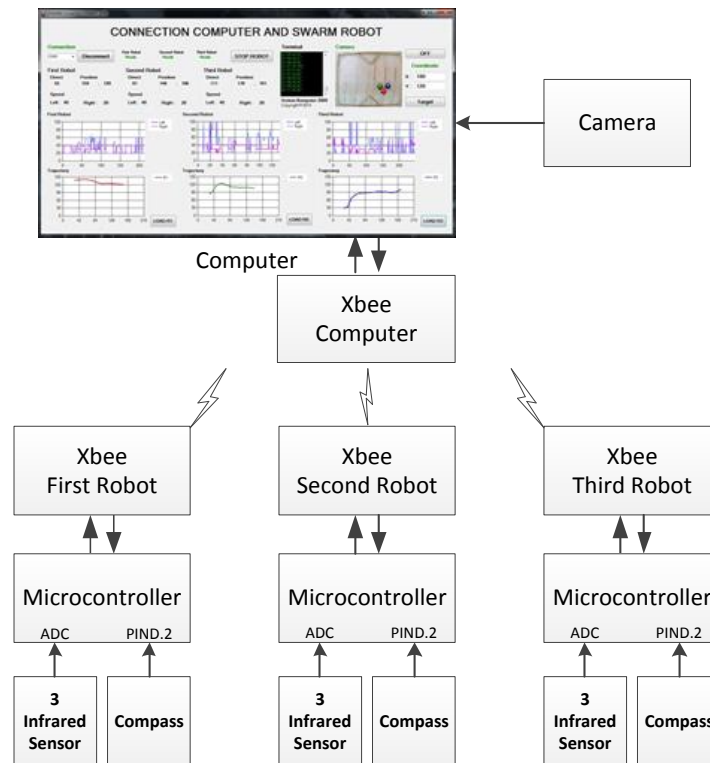
Pada percobaan ini digunakan 4 buah perangkat komunikasi X-Bee untuk proses komunikasi, dimana 3 buah perangkat X-Bee pada masing-masing robot dan 1 buah perangkat X-Bee terhubung langsung dengan komputer yang digunakan sebagai penerima data dan sebagai penghubung dari 3 robot. Dalam penelitian ini, secara umum sistem komunikasi yang digunakan oleh setiap robot seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Komputer PC merupakan pusat informasi dari sistem yang telah dirancang dan merupakan tempat penyimpanan data dari setiap proses pendeteksian.

Paket data yang dikirimkan dan data yang diterima pada sistem komunikasi dibagi menjadi dua bagian yaitu jika data adalah MSB ditandai dengan “\$” dan jika data adalah LSB ditandai dengan “\*”. Sebuah computer PC menjadi penghubung saat dua robot berkomunikasi. Dalam penelitian ini setiap robot hanya berkomunikasi dengan komputer dalam hal menerima ataupun mengirim data.

### 3.3 Penentuan Target

Robot bergerak berdasarkan posisi terbaik yang dihasilkan dari masing-masing robot. Pada percobaan ini digunakanlah kamera untuk dapat mengetahui posisi dari masing-masing robot dengan sistem deteksi warna. Sistem ini digunakan agar terdapat perbedaan dari masing-masing robot dan dapat melihat robot mana yang akan menjadi

*leader* dan *follower*. Setiap robot diberi tanda untuk membedakan satu sama lain, robot 1 menggunakan warna merah, robot 2 menggunakan warna hijau dan robot 3 mengguna-



**Gambar 4:** Sistem komunikasi swarm robot

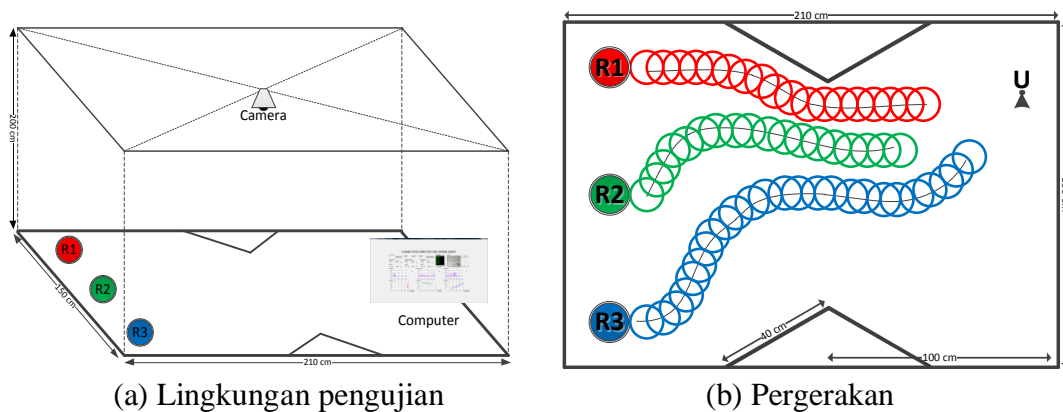
kan warna biru. Pada Gambar 5 ditunjukkan hasil dari proses deteksi warna, dengan menggunakan ukuran pixel 480x360. Ukuran yang sebenarnya dari arena adalah 210x150cm, sehingga perlu dilakukanlah kalibrasi untuk menunjukkan posisi yang sebenarnya dari *swarm robot*.



**Gambar 5:** Pengujian menggunakan deteksi warna

### 3.4 Analisis Pengujian

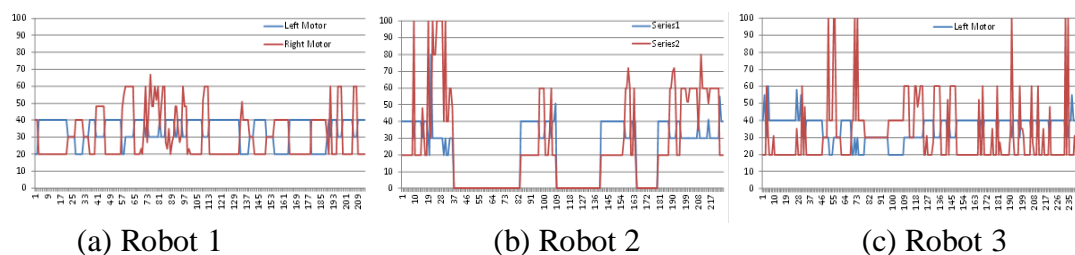
Berbagai percobaan dilakukan bertempat di Laboratorium Sistem Kendali dan Robotik, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Sriwijaya dengan arena robot berukuran 1.5 x 2.5 m. Berbagai pengujian telah dilakukan untuk melihat kinerja dari hasil perancangan *swarm robot*. Salah satu pengujian yang dilakukan adalah pada lingkungan yang tidak teratur yaitu dengan memberikan halangan dalam arena, yang ditunjukkan pada Gambar 6 (a). Gambar 6 (a) memperlihatkan suasana lingkungan pengujian, dimana sensor kamera berada di atas atap untuk mendeteksi warna setiap robot. Dalam percobaan ini ketiga robot bergerak bersama-sama untuk menuju posisi target yang telah ditentukan.



**Gambar 6:** Contoh pengujian perilaku berkelompok

Dari percobaan yang dilakukan ditunjukkan pada Gambar 6(b) ketiga robot bergerak mendekati posisi target yang telah ditentukan sebelumnya, robot kedua dan robot ketiga mendekati robot pertama dikarenakan robot pertama memiliki jarak yang lebih dekat dari posisi target yang menjadikan robot pertama sebagai *leader* dari robot yang lainnya. Dan hal tersebut menyebabkan robot pertama mencapai target lebih dahulu dibandingkan dengan dua robot lainnya.

Dari Gambar 7 (a), (b) dan (c) berturut-turut, memperlihatkan perubahan kecepatan masing-masing robot yang berupa persentase dari perubahan nilai PWM. Kecepatan yang dihasilkan dari masing-masing robot menunjukkan bahwa robot dapat bergerak dengan baik di lingkungan yang tidak teratur. Dari data grafik respon kecepatan yang dihasilkan menunjukkan bahwa robot pertama mencapai target terlebih dahulu dengan jumlah data 214 dibandingkan kedua robot lainnya dimana robot kedua dengan jumlah data 226 dan robot ketiga dengan jumlah data 248. Perubahan kecepatan robot untuk mengikuti *leader* terlihat pada grafik robot 2 dan robot 3, yaitu tingginya PWM yang dikeluarkan oleh aktuator. Selanjutnya perubahan kecepatan akan cenderung stabil setelah semua robot dalam kelompok.



**Gambar 7:** Pengendalian kecepatan *swarm robot*

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini telah mempresentasikan proses perancangan *swarm robot* untuk melihat perilaku berkelompok. Hasil percobaan menunjukkan algoritma Fuzzy-PSO yang diusulkan pada perancangan *swarm robot* mampu menghasilkan mengarahkan robot pemimpin untuk mendekati posisi target yang telah ditentukan sebelumnya. Pengendalian kecepatan dengan logika *fuzzy* menghasilkan perubahan pergerakan secara halus dan dinamis. Dalam proses pencarian target *swarm robot* berhasil melakukan perilaku berkelompok yang stabil tanpa terjadi tabrakan antara robot. Selanjutnya untuk menghasilkan analisis yang lebih baik penelitian akan dilanjutkan dengan sistem menggunakan sistem multi target.

#### Penghargaan

Terima kasih kepada Aulia Rahman Thoharsin, laboran lab. kontrol dan robotika. Fakultas Ilmu Komputer, UNSRI yang telah banyak membantu dalam pengambilan data dan pengujian perangkat.

#### Referensi

- [1] E. Bonabeau, M. Dorigo, G. Theraulaz, *Swarm Intelligent*, Oxford University Press, New York, 1999.
- [2] J. Pugh, A. Martinoli, and Y. Zhang, "Particle swarm optimization for unsupervised robotic learning", In *Proceedings of IEEE swarm intelligence symposium*, pp. 92-99, 2005.
- [3] G. Beni, "From swarm intelligence to swarm robotics", *Swarm Robotics*, Springer Berlin Heidelberg, pp. 1-9, 2005.
- [4] Pugh, Jim, and Alcherio Martinoli. 2008. "Distributed adaptation in multi-robot search using particle swarm optimization." *From Animals to Animats 10*. Springer Berlin Heidelberg, 393-402.
- [5] A.T. Hayes, A. Martinoli, and R.M. Goodman, "Swarm robotic odor localization: Off-line optimization and validation with real robots", *Robotica* 21(4), 427-441, 2003.
- [6] Sheetal, G.K. Venayagamoorthy, and V.G. Gudise, "Optimal PSO for collective robotic search applications", *Congress on Evolutionary Computation (CEC2004)*, Vol. 2, 2004.
- [7] L. Zadeh, "Fuzzy Sets", *Information and Control*, vol. 8, pp. 338-353, 1965.



- 
- [8] S. Nurmaini, and B. Tutuko, "Intelligent Mobile Olfaction of Swarm Robots", International Journal Robotic and Automation Vol. 2, No. 4, December 2013, pp. 189-198. ISSN: 2089-4856
- [9] J. J. Kennedy, and R. Eberhart, "Particle Swarm Optimization", IEEE, 1995.
- [10] W. Jatmiko, "Swarm Robot Dalam Pencarian Sumber Asap", Fakultas Ilmu Komputer Universitas Indonesia. Jakarta, Indonesia, 2010.