

# SEBUAH MODEL BERBASIS PENGETAHUAN UNTUK PENGENDALIAN FORMASI SISTEM ROBOT MAJEMUK

**Andi Adriansyah**

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Mercu Buana  
Jl. Raya Meruya Selatan, Kembangan, Jakarta 1165, Tlp/Fax : 021-5871335  
e-mail: andi@mercubuana.ac.id

## **Abstract**

*Study of multi-robot system has been popular in recent years. This system is able to reduce processing time of some processes, the cost and complexity of the system. However, multi-robot system also has some problems. One of the problems faced by these systems is how to control robots in a certain formation when carrying out its functions. Several methods have been offered to resolve the existing problems. This study tries to offer a method to solve the problem, by modeling the multi-robot systems and implement a control system in order to maintain a specific formation. The study attempted to use a controller based on knowledge base system. Model is developed using MATLAB software and simulated to determine the performance. Several experiments are conducted to determine the movement of the robot and its ability to maintain a specific formation. From the experiments it can be said that the modeling of multiple-robot system has been reliable. In addition, formation control actions have also been running well, although there should be further development.*

**Keywords:** formation control, knowledge based, modeling system, multi-robot system

## **Abstrak**

*Kajian sistem robot-majemuk telah popular dalam beberapa tahun belakangan ini. Sistem ini mampu untuk mereduksi waktu pengerjaan beberapa proses, biaya dan kompleksitas sistem. Namun, sistem robot-majemuk juga memiliki beberapa masalah. Salah satu masalah yang dihadapi oleh sistem ini adalah bagaimana mengendalikan robot-robot tersebut dalam suatu formasi tertentu ketika menjalankan fungsinya. Beberapa metode telah ditawarkan untuk menyelesaikan problem yang ada. Penelitian ini mencoba menawarkan metoda menawarkan metoda untuk memecahkan masalah tersebut, dengan cara memodelkan sistem robot-majemuk dan menerapkan suatu sistem pengendalian agar dapat mempertahankan formasi tertentu. Pada penelitian ini diupayakan untuk menggunakan sistem pengendalian berdasarkan basis pengetahuan (knowledge base). Pemodelan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB dan disimulasikan untuk mengetahui performa yang dihasilkan. Beberapa percobaan dilakukan untuk mengetahui pergerakan robot dan kemampuannya menjaga formasi tertentu. Dari percobaan yang dilakukan dapat dikatakan bahwa pemodelan sistem robot-majemuk telah dapat diandalkan. Selain itu, aksi pengendalian formasi juga telah berjalan dengan baik, walaupun harus ada pengembangan lebih lanjut.*

**Kata kunci:** basis pengetahuan, pemodelan sistem, pengendali formasi, sistem robot-majemuk

## **1. PENDAHULUAN**

Teknologi dan aplikasi robot terus berkembang secara cepat, baik dari sisi kehandalan, jangkauan kemampuan dan bidang aplikasinya. Di dalam teknologi robot, tergabung beberapa tema-tema penelitian yang juga berkembang, seperti teknologi sensor, teknologi motor, teknologi suplai daya, teknologi telekomunikasi, teknologi pengendalian dan teknologi kecerdasan buatan. Perkembangan masing-masing teknologi tersebut saling menyempurnakan untuk mendukung kemajuan teknologi robot. Oleh karena itu, penyelidikan di bidang teknologi robot menjadi topik yang memiliki daya tarik yang cukup kuat bagi para peneliti [1].

Pada dekade ini, telah terjadi pergeseran yang signifikan pada bidang fokus penyelidikan tentang robot. Para peneliti mulai mengarahkan arah penelitiannya, dari

investigasi sistem robot tunggal kepada koordinasi sistem robot majemuk. Sistem robot majemuk adalah suatu sistem dari suatu entitas robot yang bekerja bersama untuk menyelesaikan tugas tertentu. Sebagai sebuah topik penelitian, kajian sistem robot majemuk telah meningkat popularitasnya selama tahun-tahun belakangan ini. Menurut data dari Web of Science, selama tahun 2006 saja terdapat hampir 1000 publikasi. Beberapa bidang yang termasuk dalam kajian sistem robot majemuk, antara lain adalah: *distributed intelligence*, *distributed artificial intelligence*, *multi-agent sistem* dan *multi-robot system* [2]. Perancangan sistem pengendalian robot majemuk ini menggunakan beberapa paradigma yang telah dirumuskan oleh peneliti-peneliti sebelumnya [3]-[7]. Setiap paradigma yang ada merupakan sudut pandang yang berbeda sebagai sebuah solusi strategis dari sistem yang akan dirancang. Paradigma yang biasa digunakan untuk membangun sebuah sistem robot majemuk, adalah: *bioinspired paradigm*, *organizational and social paradigm*, dan *knowledge base paradigm*.

Terdapat beberapa keuntungan potensial dari pengaplikasian sistem robot majemuk. Secara umum, pengaplikasian sistem robot majemuk dibanding sistem robot tunggal adalah menghasilkan sistem yang lebih baik dalam rangka menyelesaikan permasalahan sistem. Jika sebuah sistem diselesaikan dengan cara membaginya dalam beberapa subsistem secara paralel, maka penggunaan sistem robot majemuk akan menghasilkan sistem yang dapat mengurangi waktu penyelesaian secara keseluruhan. Selain itu, sistem robot majemuk menawarkan kemungkinan untuk meningkatkan keandalan sistem. Sistem robot majemuk dapat menggantikan peran robot yang mengalami kegagalan fungsi. Hal ini tidak dimungkinkan pada sistem robot tunggal. Keuntungan lainnya, untuk menyelesaikan sistem yang ada menggunakan sistem robot tunggal membutuhkan pembiayaan yang besar dan sistem yang kompleks. Dengan sistem robot majemuk, sistem yang ada dapat dikerjakan secara bersama dengan menggunakan robot yang murah dan sederhana [3], [5].

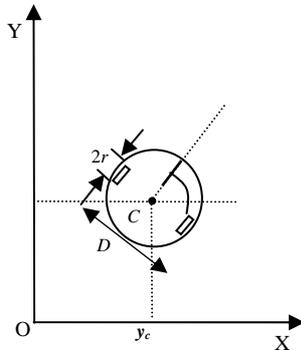
Akan tetapi, perancangan sistem robot majemuk memiliki beberapa permasalahan. Penentuan untuk memenej robot keseluruhan adalah sesuatu hal yang tidak mudah dan sederhana. Selain itu, sistem robot majemuk memerlukan komunikasi yang andal untuk mengkoordinasikan seluruh robot. Penambahan jumlah robot akan makin meningkatkan kompleksitas komunikasi yang ada. Terakhir, sebagaimana robot tunggal, sistem robot majemuk juga membutuhkan kemampuan untuk mempresepsikan keadaan dan situasi yang dihadapi [2], [7]. Oleh karena itu, penelitian ini berupaya untuk merancang sistem robot majemuk demi mengatasi masalah-masalah yang disebutkan di atas. Perancangan sistem pengendalian diupayakan sesederhana mungkin dibandingkan dengan pengendalian lain yang telah ada agar memudahkan proses perhitungan yang dilakukan oleh setiap robot. Perancangan ini difokuskan kepada kemampuan robot untuk bermanuver, berkomunikasi dan berinteraksi antar robot. Pada penelitian ini, telah dilakukan beberapa tahap pemodelan sehingga tercipta sistem robot-majemuk. Pertama adalah tahap perancangan sistem robot tunggal, yang meliputi sistem pelokasian dan sistem pergerakannya. Kemudian, dirancang model sistem formasi sebuah robot-majemuk. Setelah itu, dirancang pengendali agar masing-masing robot dapat menjaga formasi yang telah ditentukan selama pergerakan robot secara keseluruhan. Beberapa simulasi dan eksperimen dilakukan untuk menguji efektifitas manuver dan pergerakan seluruh robot.

## 2. METODE PENELITIAN

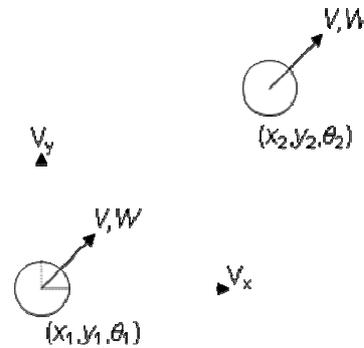
### 2.1. Perancangan Robot Tunggal

Masing-masing robot akan dirancangbangun dalam bentuk lingkaran silindris. Robot-robot ini akan digerakkan menggunakan dua buah motor DC untuk dapat melakukan gerakan tertentu. Robot dialokasikan pada sebuah ruang berkoordinat kartesisus XOY, sebagaimana terlihat pada Gambar 1. Prinsip pergerakan robot yang dimodelkan menggunakan metoda *differential drive model*. Sistem ini berasaskan 2 (dua) buah motor yang ditempatkan pada aksis bersama dan dikendalikan secara terpisah. Perbedaan kecepatan pada kedua motor tersebut akan menghasilkan resultan gaya dan resultan rotasi tertentu yang membuat robot bergerak secara translasi dan rotasi. Pergerakan ini akan mengakibatkan robot akan memiliki kecepatan translasi,  $v$ , dan kecepatan rotasi,  $\omega$ , yang beragam. Kemudian, pendistribusian kecepatan ke masing-masing sumbu XY untuk setiap pasangan kecepatan adalah sesuai persamaan (1).

$$\begin{aligned}
 v_x &= v \cos \theta \\
 v_y &= v \sin \theta
 \end{aligned}
 \tag{1}$$



Gambar 1. Model dan Alokasi Robot



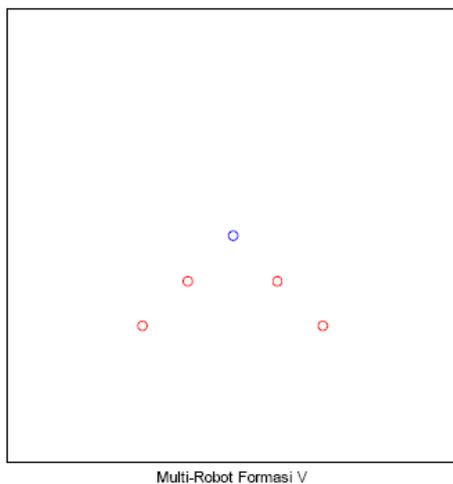
Gambar 2. Sistem Pergerakan Robot Tunggal

Dengan menganggap bahwa posisi robot adalah  $p_c = (x_c, y_c, \theta_c)$ , maka posisi robot berikutnya akan mengikuti persamaan (2). Proses pergerakan robot tunggal diilustrasikan pada Gambar 2.

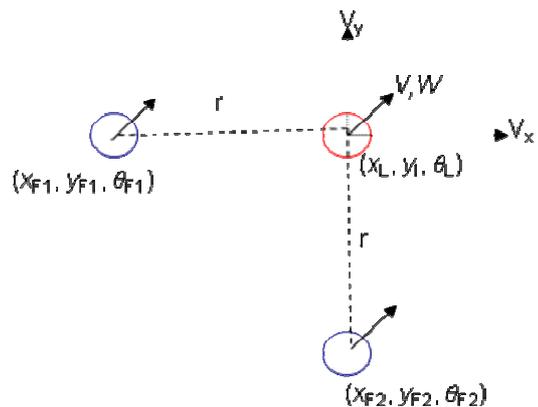
$$\begin{aligned}
 x_{c+1} &= x_c + v_x \\
 y_{c+1} &= y_c + v_y \\
 \theta_{c+1} &= \theta_c + \omega
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

**2.2. Perancangan Robot majemuk**

Setelah didapatkan model pergerakan robot secara individual, penelitian dilanjutkan dengan mengembangkan model untuk formasi robot dan posisinya. Sistem pemformasian yang digunakan adalah sistem *leader-follower*, dimana sebuah robot akan menjadi *leader* dan beberapa robot lainnya akan berperan sebagai *follower*. Robot *follower* akan menempati posisi tertentu relatif terhadap robot *leader*.



Gambar 3. Robot-Majemuk dalam Formasi V



Gambar 4. Model Formasi Robot-Majemuk

Beberapa formasi yang sederhana dicoba terlebih dahulu demi mengetahui tingkat kesulitan untuk mempertahankan robot pada posisinya masing-masing. Formasi yang telah dikaji pada penelitian ini adalah Formasi V, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 3. Secara grafis, formasi V tersebut akan dapat terbentuk, jika antara robot *follower* berada pada jarak sejauh  $r$  dan sudut  $\alpha$  dari robot *leader*, sebagaimana terlihat pada Gambar 4. Untuk formasi V, robot *follower* akan memiliki posisi sesuai persamaan (3), dimana  $(x_l, y_l, \theta_l)$  adalah posisi robot *leader* dan  $(x_f, y_f, \theta_f)$  posisi robot *follower*.

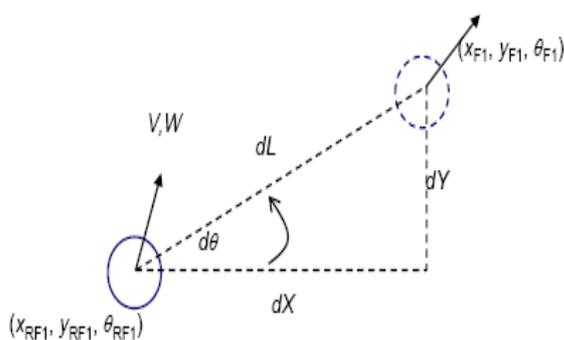
$$\begin{aligned}x_f &= x_l + r * \cos(\alpha + \theta_l) \\y_f &= y_l + r * \sin(\alpha + \theta_l)\end{aligned}\tag{3}$$

### 2.3. Perancangan Pengendali Formasi

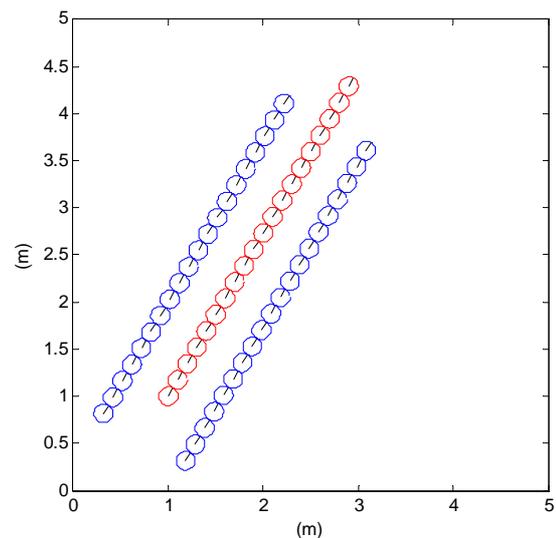
Kemudian, berdasarkan pergerakan robot, baik robot *leader* maupun robot *follower*, akan terjadi perbedaan antara posisi robot *follower* yang seharusnya dengan robot *follower* yang sebenarnya. Perbedaan yang terjadi meliputi perbedaan jarak,  $dL$ , dan perbedaan sudut,  $d\theta$ , sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 5. Akhirnya, berdasarkan harga-harga perbedaan tersebut,  $dL$ , dan  $d\theta$ , dirancanglah aturan pengendalian agar formasi robot-majemuk dapat dipertahankan sebaik mungkin.

Sebagaimana dijelaskan pada bagian awal tulisan ini, aturan pengendalian yang dirancang adalah aturan pengendalian berasaskan basis pengetahuan (*knowledge base*). Basis pengetahuan adalah suatu sistem penyelesaian masalah yang berbasiskan kumpulan pengetahuan (*knowledge*) spesifik melalui beberapa kaidah-kaidah dan aturan-aturan tertentu. Informasi kumpulan pengetahuan dan kaidah-kaidah tersebut dikodekan dalam bahasa pemrograman tertentu untuk dapat diproses secara digital. Salah satu aplikasi basis pengetahuan adalah digunakannya sebagai pengendali, dimana masukannya adalah data-data pengendalian dan keluarannya adalah aksi pengendalian.

Pada sistem ini, masukan pengendalian basis pengetahuan adalah harga-harga  $dL$ , dan  $d\theta$ , sedangkan keluarannya adalah harga-harga kecepatan masing-masing robot *follower*, yaitu kecepatan linier,  $v_f$ , dan kecepatan angular,  $w_f$ . Kaidah pengendalian dirancang menggunakan sekumpulan *IF-THEN-ELSE* dengan kombinasi harga-harga masukan tertentu sehingga didapat keluaran yang optimal.



Gambar 5. Perbedaan Posisi Robot *Follower*

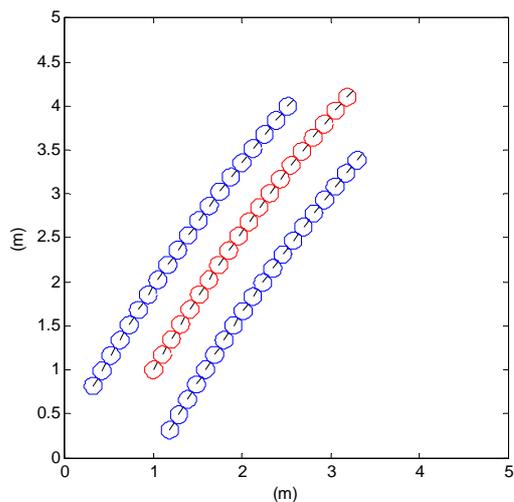


Gambar 6. Pergerakan Robot-Majemuk: Robot *Leader* berkecepatan tetap dengan  $w = 0$

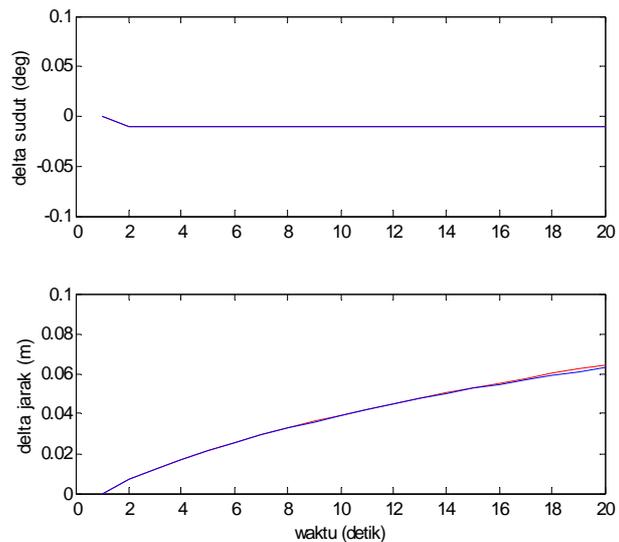
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Beberapa percobaan telah dilakukan untuk menguji performa sistem robot-majemuk dengan formasi V. Percobaan dilakukan dengan mensimulasikan hasil perancangan menggunakan perangkat lunak MATLAB Versi 7.6 R2008a.

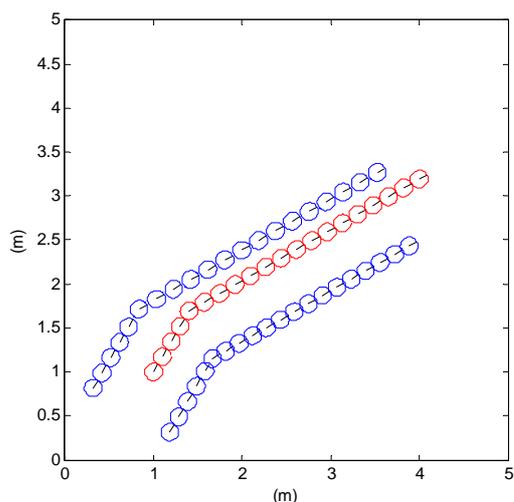
Percobaan pertama adalah memperlihatkan sistem robot majemuk bergerak ke arah tertentu dengan kecepatan liner,  $v$ , tetap dan kecepatan anguler,  $w$ , robot *leader* sama dengan nol. Pada sisi lain, robot *follower* ditempatkan pada tempat yang sama dengan formasi yang telah ditentukan. Pergerakan robot diperlihatkan pada Gambar 6. Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa kedua robot *follower* berhasil menempatkan posisinya tepat pada lokasi yang ditentukan, tanpa ada pergeseran sedikitpun. Percobaan berikutnya adalah dengan cara memberikan perubahan kecepatan anguler pada robot *leader* dimana  $w$  tidak sama dengan nol.



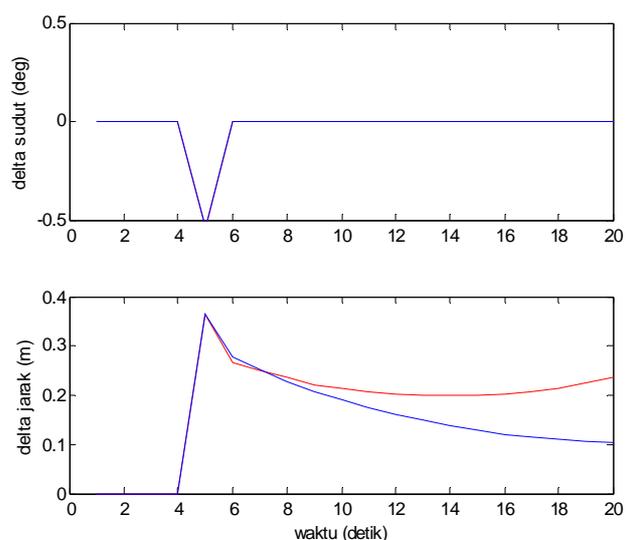
Gambar 7. Pergerakan Robot-Majemuk: Robot *Leader* berkecepatan tetap dengan  $w$  tidak sama dengan nol



Gambar 8. Performa Pergerakan Robot-Majemuk: Robot *Leader* berkecepatan tetap dengan  $w$  tidak sama dengan nol



Gambar 9. Pergerakan Robot-Majemuk: Robot *Leader* berkecepatan berubah pada waktu tertentu



Gambar 10. Performa Pergerakan Robot-Majemuk: Robot *Leader* berkecepatan berubah pada waktu tertentu

Hasil pergerakan robot dan performanya diperlihatkan pada Gambar 7 dan Gambar 8. Pada Gambar 7 tampak bahwa sistem mampu mempertahankan formasi, walaupun terjadi perubahan kecepatan anguler pada robot *leader*. Namun, ketika dilihat performanya pada Gambar 8, tampak bahwa terjadi pergeseran posisi. Perubahan arah sudut terjadi walaupun sangat kecil sekali, terutama pada bagian awal. Demikian juga terjadi perubahan jarak terhadap posisi formasi, terutama setelah robot berjalan cukup lama. Perubahan jarak ini mencapai 0.06 meter.

Percobaan ketiga mencoba menganalisa sistem robot majemuk bergerak ke arah tertentu dengan kecepatan liner,  $v$ , tetap dan kecepatan anguler,  $w$ , robot *leader* berubah signifikan pada suatu waktu tertentu. Hasil pergerakan robot dan performanya diperlihatkan pada Gambar 9 dan Gambar 10. Dari Gambar 9 tampak bahwa terjadi pergeseran posisi pada robot *follower* secara signifikan, terutama setelah terjadi perubahan kecepatan anguler pada robot *leader*. Hal ini lebih tampak jelas pada Gambar 10, dimana terjadi perubahan arah pergerakan pada detik ke lima, walaupun setelah itu robot mampu mengembalikan kembali arahnya. Namun, jarak robot dari formasi cukup jauh, terutama setelah terjadi perubahan kecepatan pada robot *leader*. Walaupun robot *follower* berupaya menyesuaikan kembali ke posisinya, tetap terjadi pergeseran antara 0.1 hingga 0.25 meter. Keadaan ini menunjukkan bahwa perancangan pengendali belum bekerja dengan optimal. Diperlukan peningkatan aksi pengendalian lebih lanjut untuk memperbaiki keadaannya.

## 5. SIMPULAN

Perancangan sistem pengendalian formasi sistem robot majemuk telah dilakukan. Beberapa percobaan terhadap hasil perancangan telah diujikan. Model robot tunggal, robot majemuk dan aksi pengendalian telah dihasilkan. Dari simulasi yang dilakukan, tampak bahwa pemodelan terhadap pergerakan robot, baik robot tunggal maupun robot majemuk bekerja secara baik. Aksi pengendalian berdasarkan basis pengetahuan, secara umum, telah berfungsi untuk menjaga formasi robot majemuk dengan formasi V. Namun, diketahui bahwa performa aksi pengendalian untuk pergerakan yang lebih kompleks, belum bekerja secara optimal. Terjadi pergeseran, baik pergeseran sudut maupun pergeseran jarak antara robot dengan posisi formasinya. Masih diperlukan perancangan aksi pengendalian yang lebih baik untuk memperbaiki performanya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Nehmzow U. *Mobile Robotics: Research, Applications and Challenges*. Proceeding of Future Trends in Robotics. Institution of Mechanical Engineer. London. UK. 2001: 1-4.
- [2]. Parker LE. *Distributed Intelligence: Overview of the Field and its Application in Multi-Robot Systems*. AAAI Fall Symposium. California. 2007: 1-6.
- [3]. Wawerla J, Sukhatme GS, Mataric MJ. *Collective Construction with Multiple Robots*. Proceeding of the International Conference on Intelligence Robots and Systems. Switzerland. 2002. 3: 2696-2701.
- [4]. Gerkey BP and Mataric MJ. A Formal Analysis and Taxonomy of Task Allocation in Multi-robot Systems. *International Journal of Robotics Research*. 2004. 23(9):939-954.
- [5]. Vig L and Adams JA. Multi-robot coalition formation. *IEEE Transactions on Robotics*. 2006. 22(4): 637-649.
- [6]. Zhang T, Hasanuzzaman Md, Ampornaramveth V, Ueno H. *Construction of heterogeneous multi-robot system based on knowledge model*. IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO) 2005: 274-279.
- [7]. Meiping S, Guochang G, Rubo Z. *Behavior control of multi-robot using the prior-knowledge based reinforcement learning*. Fifth World Congress on Intelligent Control and Automation 2004. 6: 5027-5030.