

# SISTEM MULTI-ROBOT DENGAN NXT MINDSTORMS ROBOT MENGGUNAKAN BLUETOOTH

Andi Adriansyah

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik,  
Universitas Mercu Buana Jakarta  
Jl. Raya Meruya Selatan, Kembangan, Jakarta, 11650  
E-mail: andi@mercubuana.ac.id

## Abstrak

*Teknologi dan aplikasi robot terus berkembang secara cepat. Pada dekade ini, telah terjadi pergeseran yang signifikan pada bidang fokus penyelidikan tentang robot dimana para peneliti mulai mengarahkan arah penelitiannya, dari investigasi sistem robot tunggal kepada koordinasi sistem multi-robot. Hal ini dikarenakan sistem multi-robot memiliki beberapa keuntungan. Dalam konteks sistem multi-robot, komunikasi sistem multi-robot menjadi bagian yang signifikan. Penelitian ini mengimplementasikan komunikasi pada sistem multi-robot menggunakan teknologi Bluetooth. Sistem multi robot NXT Mindstorms telah dirancang. Robot ini dilengkapi oleh dengan sistem komunikasi berbasis Bluetooth. Beberapa pergerakan telah diujikan. Dapat dikatakan bahwa robot NXT Mindstorms hasil rancangan mampu melakukan pergerakan dasar, yaitu: pergerakan lurus, belok kanan dan belok kiri. Pengujian performansi sistem multi robot dirancang dalam bentuk dua buah formasi, yaitu: berurutan dan berdampingan.*

**Kata Kunci:** Sistem Multi Robot, Bluetooth, NXT Mindstorms Robot

robot sederhana dan murah dibandingkan

## I. 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 tinggi bagi para peneliti (Nehmzow, 2001).

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 multi-robot. Hal ini dikarenakan sistem multi-robot memiliki beberapa keuntungan. Salah satu keuntungan sistem multi-robot dibanding sistem robot tunggal adalah penurunan total pembiayaan dengan cara mengimplementasikan beberapa

dengan robot tunggal yang mahal dan kompleks. Selain itu, terdapat banyak proses yang memerlukan sistem multi-robot dan tidak dapat dilakukan oleh robot tunggal. Secara umum, sistem multi-robot diklaim dapat meningkatkan efisiensi, keandalan, dan fleksibilitas system (Wawerla et al, 2002)

Penyelidikan terhadap sistem multi-robot telah dimulai sejak tahun 1992. Jenis penyelidikan bervariasi, dimulai dari penyelidikan terhadap pergerakan beberapa robot dalam mencari sebuah objek tertentu (*foraging*) sehingga penyelidikan terhadap pergerakan robot dalam permainan (*robot-soccer*) yang kompleks. Kekompleksan sistem multi-robot bertumpu pada beberapa hal, yaitu banyaknya robot yang terlibat, variasi pekerjaan yang harus dilakukan oleh robot dan mekanisme komunikasi dan interaksi antar robot. Dari hal-hal diatas, maka arah penyelidikan sistem multi-robot mengarah ke beberapa klasifikasi, yaitu: pengorganisasian (*multi-robot organization*), topologi komunikasi (*multi-robot communication topology*) dan formasi (*multi-robot formation*).

Dalam konteks sistem multi-robot,

definisi komunikasi sistem multi-robot memiliki spektrum yang luas. Komunikasi sistem multi-robot didefinisikan sebagai proses pemindahan informasi antara satu robot dengan robot lainnya, yang mencakupi segala hal yang berhubungan dengan bentuk komunikasi yang ada (Parker, 2007).

Oleh karena itu, penelitian ini berupaya untuk merancang bagaimana sebuah skema komunikasi pada sistem multi-robot. Perancangan ini difokuskan kepada kemampuan sistem multi-robot untuk bermanuver secara individu dan interaksi antar robot menggunakan media transmisi tertentu. Pada penelitian ini, media transmisi yang digunakan antar robot menggunakan sistem nir kabel menggunakan Bluetooth. Bluetooth adalah nama untuk teknologi komunikasi tanpa kabel dengan frekuensi radio jangkauan pendek (RF) yang bekerja pada kapasitas 2.4 GHz. Teknologi ini mampu mengirimkan suara dan data dengan jarak jangkauan layanan yang terbatas (sekitar 10 meter). (Liu, Y., et. al., 2006, dan Wang, Q., et al., 2010). Beberapa eksperimen akan dilakukan untuk menguji efektifitas manuver dari beberapa robot.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 1. Latar belakang Sistem Multi-robot

Sistem multi-robot adalah suatu sistem dari suatu entitas robot yang bekerja bersama untuk menyelesaikan tugas tertentu. Sebagaimana manusia, kita telah terbiasa dengan sistem bekerja bersama dalam suatu tim. Misalnya, tim manajemen suatu korporasi terdiri dari beberapa spesialis, seperti Chief Executive Officer (CEO), Chief Operating Officer (COO) dan lain-lain. Demikian juga yang diharapkan oleh para peneliti, mencoba untuk menerapkan sistem kerjasama ini pada suatu entitas robot.

Sebagai sebuah topik penelitian, kajian sistem multi-robot 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 multi-robot, antara lain adalah: *distributed intelligence*, *distributed artificial intelligence*, *multi-agent system* dan *multi-robot system* (Parker, 2007).

Terdapat beberapa keuntungan potensial dari pengaplikasian sistem multi-robot. Secara umum, pengaplikasian sistem

multi-robot 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 parallel, maka penggunaan sistem multi-robot akan menghasilkan sistem yang dapat mengurangi waktu penyelesaian secara keseluruhan. Selain itu, sistem multi-robot menawarkan kemungkinan untuk meningkatkan keandalan sistem. Sistem multi-robot 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 multi-robot, sistem yang ada dapat dikerjakan secara bersama dengan menggunakan robot yang murah dan sederhana (Wawerla et al, 2002).

### 2. Klasifikasi Sistem Multi-robot

Untuk lebih memahami sistem multi-robot, terdapat beberapa jenis interaksi antar robot yang dapat terjadi dalam suatu sistem (Gerkey and Mataric, 2003). Jenis interaksi tersebut dipandang dari tiga aspek, yaitu (Parker, 2007):

- tujuan tiap robot,
- pengetahuan masing-masing robot terhadap robot lainnya, dan
- kemampuan tiap robot untuk membantu robot yang lain.

Dipandang dari tujuan tiap robot, jenis interaksi multi-robot diklasifikasikan ke dalam 2 (dua) golongan, yaitu jenis interaksi robot yang tiap robotnya memiliki tujuan individu dan interaksi robot yang tiap robotnya memiliki tujuan bersama. Jika dipandang dari pengetahuan masing-masing robot terhadap robot lainnya, terdapat 2 (dua) golongan pula, yaitu jenis interaksi robot yang setiap robot mengetahui keadaan robot lainnya dan interaksi robot yang semuanya tidak saling mengetahui. Terakhir, terdapat 2 (dua) klasifikasi interaksi robot dipandang dari kemampuan robot untuk membantu robot lainnya, yaitu interaksi robot yang tiap robotnya mampu mengerjakan pekerjaan robot lainnya dan yang tidak mampu.

Dari jenis-jenis interaksi robot diatas, akan terbentuk beberapa bentuk interaksi, yaitu:

- *collective*,
- *cooperative*,
- *collaborative* dan
- *coordinative*.

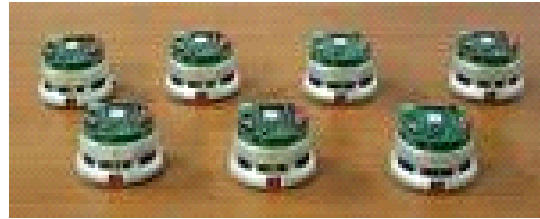
Penjelasan masing-masing bentuk interaksi dijelaskan pada bagian berikut ini.

Bentuk interaksi *collective* adalah bentuk interaksi yang paling sederhana. Pada bentuk interaksi ini, robot tidak saling mengetahui keadaan robot lainnya, walaupun mereka memiliki tujuan bersama dan aksi tiap robot membantu robot lainnya. Contoh bentuk interaksi ini adalah robot-robot *swarm*, yang banyak dijadikan bahan kajian para peneliti. Robot-robot *swarm* ini mencoba untuk menirukan sistem yang diinspirasi dari kerja-kerja yang dilakukan oleh makhluk-makhluk hidup yang kecil, seperti bergerak berduyun-duyun (*foraging*), mencari makan, membentuk formasi untuk pertahanan dan lain-lain.

Selain terdapat klasifikasi berdasarkan jenis interaksinya, terdapat juga beberapa paradigma untuk merancang sebuah sistem multi-robot. 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 multi-robot, adalah:

- *Bioinspired paradigm*
- *Organizational and social paradigm*, dan
- *Knowledge base paradigm*.

*Bioinspired paradigm* adalah cara memandang sistem multi-robot seperti kumpulan binatang-binatang kecil yang berinteraksi secara kolektif. Pada paradigma ini, kebutuhan tiap robot untuk berkomunikasi sangat rendah, dengan asumsi bahwa mereka memiliki kemampuan untuk mengetahui keadaan sekelilingnya dengan baik. Dari asumsi ini menyimpulkan bahwa aplikasi yang dibutuhkannya cukup sederhana, aturan pengendalian yang serupa untuk setiap robot, tidak membutuhkan interaksi yang kompleks dan masing-masing mampu untuk saling dipertukarkan. Paradigma ini sesuai untuk aplikasi multi-robot yang mengutamakan ruangan yang tersebar, seperti proses pencarian, pembentukan formasi dan pencakupan area.



Gambar 1. Implementasi Sistem Multi-Robot berbasis *Bioinspired Paradigm*

*Organizational and social paradigm* didasari oleh teori organisasi yang diturunkan dari sistem manusia. Pengetahuan dari berbagai bidang kemanusiaan, seperti sosiologi, ekonomi atau psikologi telah terbukti mampu untuk memahami bagaimana menciptakan sistem yang dapat bekerjasama untuk menyelesaikan problematika yang kompleks. Pada pendekatan ini, interaksi robot dirancang menggunakan model individual dan dinamika grup sebagai bagian dari organisasi sehingga dapat mengurangi kebutuhan komunikasi antara robot. Aplikasi umum dari pendekatan ini adalah *robo-soccer*, yaitu pembagian tugas masing-masing robot sesuai dengan fungsinya, seperti sebuah organisasi.

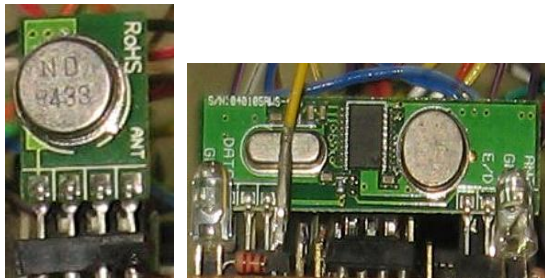


Gambar 2. Implementasi Sistem Multi-Robot berbasis *Organizational and Social Paradigm*

Paradigma ketiga yang biasanya digunakan untuk membangun sebuah sistem multi-robot adalah *knowledge base paradigm*. Fokus dari pendekatan ini adalah pada proses saling berbagi pengetahuan diantara robot-robot yang heterogen, yang tujuannya adalah terciptanya sistem yang memiliki pengetahuan yang sama walaupun posisinya tersebar. Paradigma ini jarang digunakan, karena harus dapat mengatasi berbagai macam keterbatasan, seperti keterbatasan komunikasi, daya dan komputasi.

### 3. Komunikasi pada Sistem Multi-Robot

Dalam konteks sistem multi-robot, definisi komunikasi sangat luas karena fakta bahwa banyak robot yang diintegrasikan dalam sistem multi-robot adalah robot-robot yang sederhana. Komunikasi sistem multi-robot didefinisikan sebagai pemindahan informasi antara satu robot dengan robot lainnya. Beberapa contoh pasangan system komunikasi yang dapat digunakan pada system multi-robot diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pasangan Sistem Komunikasi:  
(a) Radio Frekuensi (b) XBee

### 4. Sistem Komunikasi Bluetooth

Bluetooth adalah teknologi komunikasi tanpa kabel yang beroperasi dalam pita frekuensi 2,4 GHz *unlicensed ISM (Industrial, Scientific and Medical)* dengan menggunakan sebuah *frequency hopping tranceiver* yang mampu menyediakan layanan komunikasi data dan suara secara *real-time*. Jarak jangkauan layanan antara host-host Bluetooth adalah terbatas sehingga sekitar 10 meter dengan kecepatan dan 1 Mbps. Bluetooth berupa card yang menggunakan frekuensi radio standar IEEE 802.11 dengan jarak layanan yang terbatas dan kemampuan data transfer lebih rendah dari card untuk Wireless Local Area Network (WLAN) (Liu, Y., et al., 2006), (Wang, Q., et al., 2010).

Beberapa aplikasi Bluetooth diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Aplikasi Bluetooth

Kelebihan yang dimiliki oleh sistem Bluetooth adalah:

- Bluetooth dapat menembus dinding, kotak, dan berbagai rintangan lain walaupun jarak transmisinya hanya sekitar 30 kaki atau 10 meter
  - Bluetooth tidak memerlukan kabel ataupun kawat
  - Bluetooth dapat mensinkronisasi basis data dari telepon genggam ke komputer
  - Dapat digunakan sebagai perantara modem
- Sementara kekurangan dari sistem Bluetooth adalah:
- Sistem ini menggunakan frekuensi yang sama dengan gelombang LAN standar
  - Apabila dalam suatu ruangan terlalu banyak koneksi Bluetooth yang digunakan, akan menyulitkan pengguna untuk menemukan penerima yang diharapkan
  - Banyak mekanisme keamanan Bluetooth yang harus diperhatikan untuk mencegah kegagalan pengiriman atau penerimaan informasi.
  - Di Indonesia, sudah banyak beredar virus-virus yang disebarkan melalui Bluetooth dari handphone

### 5. Simulasi Robot dan Percobaan dengan Robot Sebenarnya

Tujuan klasik dari perancangan sistem multi-robot adalah agar robot tersebut dapat melakukan manuver di area tertentu dengan baik serta memiliki komunikasi dan interaksi antar mereka. Beberapa tes biasanya dilakukan untuk menginvestigasi performa dari robot tersebut, seperti kemampuan robot untuk mempresepsikan keadaan dan lingkungannya berdasarkan data yang diterima dari sensor atau

kemampuan untuk memutuskan aksi yang harus dilakukan berdasarkan persepsi robot tersebut. Setelah itu, diujikan kemampuan robot untuk berkomunikasi dan berinteraksi dengan robot yang lain. Oleh karena itu, beberapa peneliti bekerja untuk membangun model matematika pergerakan robot dan lingkungannya serta model untuk menghubungkan antar robot. Kemudian mereka menganalisa performa robot dan interaksinya tersebut melalui simulasi komputer dari model yang telah ada (Mondada and Floreano, 1996).

Simulasi komputer robot dapat digunakan sebagai pendekatan awal sebuah perancangan robot sebenarnya dan dapat dimanfaatkan sebagai sebuah gambaran bagi proses pengumpulan dan penganalisaan data pergerakan robot. Akan tetapi, verifikasi performa robot yang efektif hanya dapat dicapai dengan menggunakan robot yang sebenarnya. Adalah sebuah keniscayaan untuk merealisasikan percobaan teknologi pengembangan robot dengan robot yang sebenarnya.

Oleh karena itu, penelitian akan menggunakan robot sebenarnya yaitu robot NXT Mindstorms. NXT Mindstorms adalah robot penelitian yang dapat digunakan untuk pengujian performansi sistem dengan berbagai algoritma pengujian. Robot ini juga dilengkapi oleh beberapa jenis sensor yang dapat digunakan pada masa percobaan. Selain itu, robot ini juga dilengkapi dengan sistem komunikasi berbasis Bluetooth. Dengan memanfaatkan fasilitas sistem komunikasi tersebut, akan diujikan algoritma komunikasi untuk dapat menciptakan sistem multi-robot (Brigandi, 2010), (Casini, et al., 2011). Gambar 5 menunjukkan robot NXT Mindstorms dan fasilitas yang dimilikinya.



Gambar 5. Robot dari NXT Mindstorms

### III. HASIL PERCOBAAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian menggunakan robot sebenarnya yaitu robot NXT Mindstorms. NXT Mindstorms adalah robot penelitian yang dapat digunakan untuk pengujian performansi sistem dengan berbagai algoritma pengujian. Robot ini juga dilengkapi oleh beberapa jenis sensor yang dapat digunakan pada masa percobaan. Selain itu, robot ini juga dilengkapi dengan sistem komunikasi berbasis Bluetooth. Dengan memanfaatkan fasilitas sistem komunikasi tersebut, akan diujikan algoritma komunikasi untuk dapat menciptakan sistem multi-robot (Brigandi, 2010), (Casini, et al., 2011). Gambar 6 menunjukkan robot NXT Mindstorms yang telah dirancang.





Gambar 6. Robot NXT Mindstorms Hasil Perancangan

Pengujian dilakukan dengan membuat formasi bagi dua buah robot NXT Mindstorms. Kedua robot tersebut berkomunikasi dengan menggunakan teknologi Bluetooth. Sebelum terjadi komunikasi, harus dipastikan terlebih dahulu, bahwa peralatan teknologi Bluetooth keduanya telah terpasang dan terhubung secara *pair*.

Selain itu pola hubungan kedua robot telah disiapkan, dimana terdapat robot leader dan robot follower. Robot leader akan memberikan perintah kepada robot follower, sedangkan robot follower hanya melaksanakan perintah tersebut.

Pengujian dilakukan dengan dua formasi, yaitu formasi berurutan (depan dan belakang) serta formasi berdampingan (sisi kiri dan kanan). Formasi awal robot diperlihatkan pada Gambar 7.



(a)

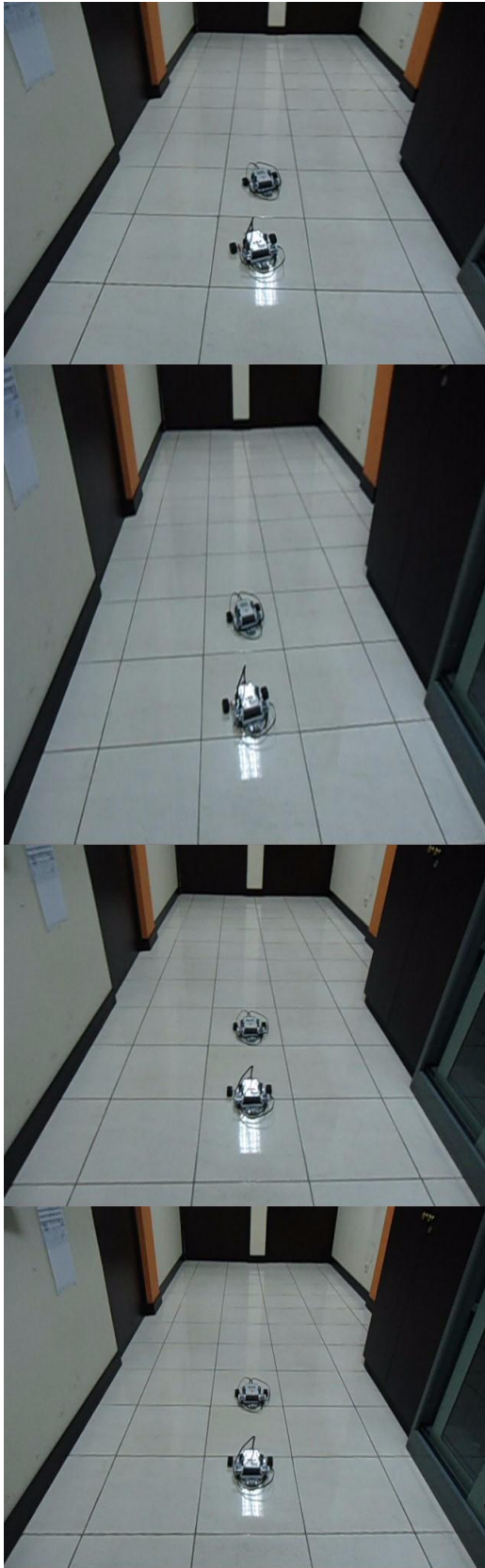


(b)

Gambar 7. Formasi Dua Robot NXT Mindstorms: (a) Berurutan dan (b) Berdampingan

Hasil pengujian pergerakan sistem multi robot terhadap kedua formasi diperlihatkan pada Gambar 8 dan Gambar 9, secara berurutan.





Gambar 8. Pergerakan Dua Robot NXT Mindstorms Formasi Berurutan



Gambar 9. Pergerakan Dua Robot NXT Mindstorms Formasi Berdampingan

Pergerakan robot dirancang memiliki pergerakan dasar, yaitu: pergerakan lurus, pergerakan belok ke kanan 30 derajat dan pergerakan belok ke kiri juga 30 derajat. Dari Gambar 8 dan Gambar 9 dapat dilihat bahwa secara umum kedua robot mampu melakukan pergerakan dasar, baik pergerakan lurus, belok ke kanan maupun belok ke kiri. Selain itu dapat dikatakan bahwa telah terjadi pula hubungan komunikasi yang baik antara robot leader dengan robot follower, dimana robot follower dapat bergerak sesuai dengan perintah yang diberikan oleh robot leader melalui teknologi Bluetooth.

Sedangkan pada sisi formasi sistem multi robot, dapat dilihat bahwa kedua robot berusaha untuk mempertahankan formasinya, baik formasi berurutan maupun formasi berdampingan. Namun, formasi ini tidak dapat bertahan dengan baik. Hal ini dikarenakan terdapat perbedaan persiapan daya dari masing-masing robot yang menyebabkan kecepatan tiap-tiap robot tidak sama. Ketidaksamaan kecepatan ini mengakibatkan sulitnya mempertahankan formasi robot sebagaimana yang telah direncanakan.

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Sistem multi robot NXT Mindstorms telah dirancang. Robot ini dilengkapi oleh dengan sistem komunikasi berbasis Bluetooth. Beberapa pergerakan telah diujikan. Dapat dikatakan bahwa robot NXT Mindstorms hasil rancangan mampu melakukan pergerakan dasar, yaitu: pergerakan lurus, belok kanan dan belok kiri. Pengujian performansi sistem multi robot dirancang dalam bentuk dua buah formasi, yaitu: berurutan dan berdampingan. Dari hasil pengujian dapat dikatakan bahwa sistem multi robot bekerja dengan baik, terjadi komunikasi berbasis Bluetooth antar robot, robot follower mampu melaksanakan perintah robot leader dan berusaha untuk mempertahankan formasi yang dirancang.

#### Daftar Pustaka

- Balch, T., dan R.C.Arkin (1998), *Behavior-based formation control for multi-robot teams*, IEEE Transaction on Robotics and Automation, 14 (6), pp. 926-939.
- Brigandi, S. (2010), A LEGO Mindstorms NXT based multirobot system, International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM) 2010, July 2010, pp. 135 – 139.



- Casini, M., et al., (2011), A LEGO Mindstorms multi-robot setup in the Automatic Control Telelab, IFAC 2011, Milano, Italy, September 2nd, pp 9812-9817.
- Gerkey, B.P. dan Mataric, M.J. (2003), *A Formal Analysis and Taxonomy of Task Allocation in Multi-robot Systems*, International Journal of Robotics Research, USA, 2003.
- Liu, Y., et. Al., (2006), Wireless Communication Technology Based on Bluetooth and Its Application to a Manipulator, IEEE International Conference on Industrial Informatics 2006, Aug. 2006, pp. 1251 – 1256.
- Miglino, O., Lund. H. And Nolfi, S. (1995). Evolving mobile robots in simulated and real environments. Technical Report NSAL-95007, Roma. 1995.
- Mondada, F., Franzi, E., and lenne, P. (1996). Mobile robot miniaturization: A tool for investigation in control algorithms. In Yoshikawa, T. and Miyazaki, F. (Eds.) *Proceeding of the Third International Symposium on Experimental Robotics*. Kyoto, Japan: Springer Verlag. 501-513.
- Nehmzow, U. (2001). *Mobile Robotics: Research, Applications and Challenges*, Proceeding of Future Trends in Robotics, Institution of Mechanical Engineer, London, UK. 2001.
- Parker, L. E., (2007). *Distributed Intelligence: Overview of the Field and its Application in Multi-Robot Systems*, 2007 AAAI Fall Symposium, pp. 1-6, The AAAI Press, California, 2007
- Roth, M., et al (2003), *A world model for multi-robot teams with communication*, Proceeding of the International Conference of Robotics and Automation, Taiwan, 2003
- Wang, Q., et al., (2010), Wireless communication educational lab construction based on Bluetooth, International Conference on Computer Science and Education (ICCSE) 2010, Aug. 2010, pp. 1574 – 1577.
- Wawerla, J. et al (2002), Collective Construction with Multiplier Robots, Proceeding of the International Conference on Intelligence Robots and Systems, Switzerland, 2002.

