

Perancangan Sistem Komunikasi Multi-Robot Menggunakan XBee

Andi Adriansyah

*Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana
Jl. Raya Meruya Selatan, Kembangan, Jakarta 11650, Indonesia, Tlp/Fax : 06221-5871335*

andi@mercubuana.ac.id

Abstract -- In this decade the study of multi-robot systems have been popular because it is able to reduce processing time, cost and complexity of the system. However, multi-robot system has a major problem is the reliability of communication between robots. Several methods are available to solve the existing problem. One is through the use of ZigBee-based communication media. This paper discusses the implementation of in simple multi-robot system. Some experiments were performed to determine the reliability and effectiveness of communication in some movement of the robot and its ability to keep a certain formation. Based on experiments conducted can be said that the inter-robot communication is effective and well run.

Keywords: Multi-robot system, Multi-robot Communication, ZigBee

Abstrak – Pada dekade ini kajian sistem multi-robot telah popular karena mampu mereduksi waktu proses, biaya dan kompleksitas sistem. Namun, sistem multi-robot memiliki masalah utama yaitu kehandalan komunikasi antar robot. Beberapa metode telah ditawarkan untuk menyelesaikan problem yang ada. Salah satunya adalah melalui pemanfaatan media komunikasi berbasis ZigBee. Tulisan ini membahas pengimplementasian ZigBee dalam sistem multi-robot sederhana. Beberapa percobaan dilakukan untuk mengetahui kehandalan dan efektifitas komunikasi dalam beberapa pergerakan robot dan kemampuannya menjaga formasi tertentu. Dari percobaan yang dilakukan dapat dikatakan bahwa komunikasi antar robot berjalan cukup efektif dan baik.

Kata kunci: Sistem Multi-robot, Komunikasi Multi-robot, ZigBee

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 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 multi-robot. Sistem multi-robot adalah suatu sistem dari suatu entitas robot yang bekerja bersama untuk menyelesaikan tugas tertentu. 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 mengenai multi-robot. Beberapa bidang yang termasuk dalam kajian sistem multi-robot, antara lain adalah: *distributed intelligence*, *distributed artificial intelligence*, *multi-agent sistem* dan *multi-robot system* [2].

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 [3].

Dalam sistem multi-robot terdapat tujuh topik riset utama yang menjadi bahan kajian para peneliti, yaitu: model inspirasi biologis, sistem komunikasi, sistem arsitektur, mekanisme lokalisasi, manipulasi/transportasi objek, koordinasi pergerakan dan rekonfigurasi robot [4], [5].

Sistem komunikasi multi-robot (*multi-robot*

communication) termasuk topik riset yang cukup berkembang dan menantang. Hal ini disebabkan karena problem besar sistem multi-robot adalah keperluannya terhadap komunikasi yang andal untuk mengkoordinasikan seluruh robot. Penambahan jumlah robot akan makin meningkatkan kompleksitas komunikasi yang ada [2].

Oleh karena itu, tulisan ini berupaya untuk membahas perancangan sistem komunikasi multi-robot demi mengatasi masalah yang disebutkan di atas. Perancangan sistem komunikasi diupayakan sesederhana mungkin dibandingkan dengan yang telah ada. Fokus perancangan ditujukan kepada kemampuan robot untuk bermanuver dengan pergerakan dan formasi tertentu. Pada tulisan ini, media transmisi yang digunakan antar robot adalah sistem nirkabel dengan frekuensi radio (Radio Frequency, RF) menggunakan Xbee. Beberapa eksperimen dilakukan untuk menguji efektifitas komunikasi dalam manuver dan pergerakan seluruh robot.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Komunikasi Multi-robot

Komunikasi multi-robot adalah teknologi yang memiliki kemampuan untuk memberikan jalur komunikasi terhadap dua atau lebih robot [6]. Dengan menggunakan teknologi wireless yang ada maka dapat dirancang semacam 'bahasa' antara robot untuk membentuk sebuah sistem multi-robot. Kemudian, sistem robot yang telah memiliki jalur komunikasi ini dapat saling bertukar informasi, seperti data pengukuran, lokasi atau posisi masing-masing robot, data lingkungan atau perintah pergerakan. Dengan demikian, komunikasi multi-robot dapat menjadi solusi untuk menyelesaikan permasalahan sistem multi-robot yang lebih luas dan kompleks.

Komunikasi multi-robot biasa diklasifikasikan dalam beberapa kategori, yaitu: komunikasi implisit, komunikasi eksplisit, komunikasi keadaan dan komunikasi tujuan [2]. Pembahasan mengenai jenis-jenis komunikasi tersebut adalah sebagai berikut.

1. Komunikasi Implisit

Komunikasi implisit adalah sistem komunikasi melalui perubahan di lingkungan. Robot dapat meninggalkan bekas dan jejak yang dapat menyampaikan informasi kepada robot lainnya yang akan mengenali perubahan lingkungan. Tindakan tersebut dapat dibandingkan dengan perbuatan manusia seperti menuliskan tanda anak panah di jalan atau semut meninggalkan jejak aroma tertentu di permukaan yang dilewatinya.

2. Komunikasi Eksplisit

Jenis komunikasi ini terbentuk dalam sistem pengiriman dan penerimaan data melalui jenis protokol atau bahasa sebagai media. Komunikasi eksplisit harus terjadi secara real pada setiap robot. Sebuah perangkat komunikasi diperlukan untuk komunikasi seperti untuk melayani sebagai media, misalnya untuk radio atau wireless Ethernet.

3. Komunikasi Keadaan

Dalam komunikasi keadaan, robot harus dapat mengamati perilaku robot lainnya. Komunikasi dapat diterapkan dalam bentuk beberapa robot bergerak berdasarkan keberadaan cahaya. Untuk dapat menerapkan komunikasi ini robot harus mampu mengenali dan mengerti pergerakan robot lainnya.

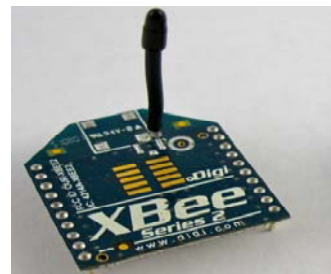
4. Komunikasi Tujuan

Jenis komunikasi melibatkan transmisi dan penerimaan informasi yang berorientasi pada tujuan tertentu. Pelaksanaan pada mobile robot membutuhkan data yang akan dikodekan, dikirim, diterima dan diterjemahkan. Komunikasi tujuan berbeda dari komunikasi negara dalam bahwa pengirim sengaja mengirim atau menyiarkan informasi. Sebuah contoh alam dari jenis komunikasi ditemukan dalam perilaku lebah madu.

B. ZigBee dan XBee

Zigbee adalah sebuah spesifikasi protokol komunikasi radio digital berdaya rendah berdasarkan standar IEEE 802.15.4 tahun 2003 [7]. Sedangkan XBee adalah *brand* yang mensupport dari berbagai protokol komunikasi termasuk ZigBee 802.15.4 dan WiFi.

Secara umum, standar protokol ZigBee sama dengan standar Bluetooth. Manufaktur device standar ZigBee suatu pabrik sepenuhnya mendukung dan bersesuaian dengan ZigBee device buatan pabrik lainnya. Gambar XBee module ditunjukkan pada Gambar 1.



Gbr 1. ZigBee Modul

ZigBee banyak digunakan dipasaran karena ZigBee mempunyai banyak keunggulan yaitu :

- a. Jangkauan 1 meter - 100 meter.

- b. ISM (Industrial, Scientific & Medical) radio bands : 2.4 GHz, 868 MHz dan 915 MHz
- c. Konsumsi daya rendah
- d. CSMA-CA channel access.
- e. Jaringan besar (65.000 node).
- f. Sangat aman (AES enkripsi).
- g. Jaringan topologi star, mesh dan saling mendukung berbagai aplikasi
- h. Interoperabilitas di seluruh dunia dengan produk-produk lainnya
- i. Co-eksistensi dengan media nirkabel lainnya (misalnya,WLAN, Bluetooth, selular)

Keunggulan dari ZigBee tersebut membuat teknologi ZigBee banyak diaplikasikan di berbagai kebutuhan masyarakat antara lain sebagai remote control, pemantau jarak jauh, pengirim data dan wireless sensor. Gambar 2 memperlihatkan arsitektur jaringan yang terdapat dalam ZigBee [7].

Gbr 2. Arsitektur Jaringan ZigBee

C. Penelitian Sejenis

Sistem komunikasi memainkan peranan yang amat penting dalam implementasi sistem multi-robot. Oleh karena itu, sistem komunikasi yang efisien dan handal menjadi sebuah harapan yang ingin dicapai dalam seluruh riset mengenai komunikasi multi-robot ini. Berbagai media komunikasi telah diupayakan oleh para peneliti untuk mendapatkan sistem yang ideal tersebut.

Pada tahapan awal, Radio Frekuensi (RF) menjadi media komunikasi yang banyak digunakan [8], [9]. Kemudian, setelah dikenalnya media *Wireless Fidelity* (WiFi), maka media ini juga menjadi alternative. Gill Pinto dan kawan-kawan [10] mencoba untuk mengembangkan media WiFi, bukan sekedar sebagai media komunikasi multi-robot, bahkan juga menjadi alat pengukur posisi antara robot dengan mengkalkulasi kekuatan sinyalnya. Selanjutnya, pengembangan WiFi menjadi bahan riset peneliti selanjutnya, seperti WLAN [11] dan TCP/IP [12], [13], yang mengimplementasikannya pada sistem multi-robot rekaanya. Menurutnya, Xiao-Lin [11]

sistem WLAN memiliki performansi yang relative baik, murah dan praktis penggunaannya.

Pengembangan lainnya adalah penggunaan RFID sebagai media komunikasi multi-robot yang dipelopori oleh Kang [14]. Namun, karena RFID memiliki keterbatasan jarak untuk dapat berkomunikasi, maka belum banyak dikembangkan.

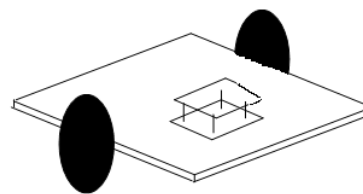
Terakhir, yang mulai populer dijadikan sebagai media komunikasi multi-robot adalah ZigBee [15]. Sejak dikenalkannya, penggunaan ZigBee dengan salah satu brandnya, yaitu XBee, pengkajian media ini mulai berkembang. Tulisan ini mencoba mengimplementasikan XBee dalam sistem multi-robot sederhana.

III. PERANCANGAN

Terdapat beberapa tahap perancangan yang dilakukan, yaitu: perancangan robot, perancangan pergerakan robot dan perancangan komunikasi multi-robot. Tiga buah robot sederhana dan sejenis dirancang berbentuk persegi pipih terbuat dari bahan multipleks. Robot memiliki dimensi sebagai berikut:

- Sisi = 20 cm
- Tinggi = 12 cm (tanpa roda)
- Tinggi = 16 cm (dengan roda)

Pada masing-masing robot dirancang terdapat sebuah sistem minimum mikrokontroler sebagai pengendali, sebuah penggerak motor (*motor driver*), sepasang motor dengan rodanya dan seperangkat sistem komunikasi. Sistem minimum yang digunakan adalah Arduino Duemilanove yang berbasis mikrokontroler ATmega 328. Sementara penggerak motor yang dipakai berbasis IC L293D yang mampu mengendalikan arah dan kecepatan dua buah motor sekaligus. Motor yang dikendalikan adalah motor DC yang memiliki sistem gear sederhana. Bentuk robot yang dirancang diilustrasikan pada Gambar 3.



Gbr 3. Bentuk Robot yang akan dirancang

Robot-robot tersebut digerakkan menggunakan dua buah motor DC yang diletakan di sisi kiri dan kanan robot untuk dapat melakukan berbagai gerakan tertentu. Pergerakan robot menggunakan prinsip *differential drive motor* [16], [17]. Prinsip ini mengkombinasikan perbedaan kecepatan antara motor

roda kanan dengan motor roda kiri, sehingga didapatkan pergerakan robot yang melingkar dengan jarak dan sudut tertentu dari titik pusatnya. Kemampuan ini membuat robot dapat dapat bergerak dengan arah yang berbeda-beda. Gambar 4 memperlihatkan prinsip pergerakan ini, dimana v_l dan v_r adalah kecepatan translasi motor kiri dan kanan, ω_c adalah kecepatan rotasi motor keseluruhan, W adalah jarak antara roda, R adalah jari-jari lingkaran dan ICC adalah titik pusat gerakan melingkarnya

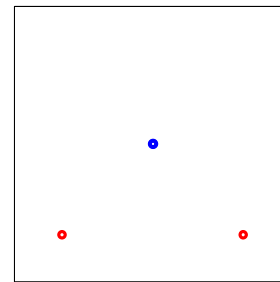
Gbr 4. Prinsip Pergerakan *differential drive motor*

Kemudian, sistem komunikasi antara robot dirancang berbasis sistem komunikasi implisit. Pada sistem ini digunakan media tanpa kabel (*wireless*). Setiap robot difasilitasi dengan sebuah Xbee yang berperan sebagai Pemancar dan Penerima, sehingga dapat terjadi komunikasi antar seluruh robot. Model komunikasi berupa sistem pemancar (*Transmitter*, Tx) dan sistem penerima (*Receiver*, Rx) diletakan pada setiap robot. Dengan demikian, setiap robot dapat saling berkomunikasi dengan mekanisme *full duplex*. Ilustrasi mekanisme komunikasi multi-robot diperlihatkan pada Gambar 5.

Gbr 5. Sistem Komunikasi Multi-robot

Secara umum direncanakan robot diatur dalam sistem pengendalian khusus. Sistem pengendalian yang digunakan adalah sistem *leader - follower*, dimana sebuah robot akan menjadi *leader* dan beberapa robot lainnya akan berperan sebagai *follower* [18], [19]. Robot *follower* akan menempati posisi tertentu relatif terhadap robot *leader*. Robot leader akan memberikan perintah pergerakan sesuai dengan pergerakan dirinya ke semua robot follower. Dalam tulisan ini robot diformasikan dalam bentuk segitiga,

dimana sebuah robot leader di depan dan dua buah robot follower di sebelah kiri dan kanan robot leader. Formulasi ini ditampilkan pada Gambar 6.



Gbr 6. Robot-Majemuk dalam Formasi V

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan perancangan yang telah disampaikan pada bagian sebelumnya, maka telah dirancang tiga buah robot sederhana yang sejenis sebagai suatu sistem multi-robot. Ketiga robot tersebut diklasifikasikan sebagai berikut: terdapat sebuah robot sebagai leader dan dua buah robot sebagai follower. Untuk membedakannya, robot leader memiliki tiga buah sensor ultrasonik yang memiliki kemampuan mengukur jarak dengan benda di hadapannya.

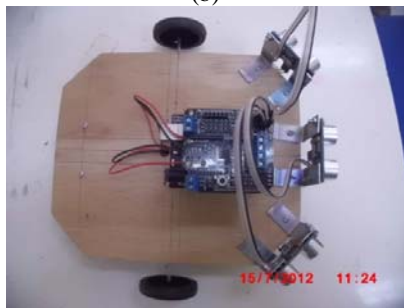
Setiap robot memiliki bentuk dan dimensi yang sama, yaitu berbentuk persegi berukuran 20 X 20 cm dengan masing-masing sudutnya telah dirapihkan. Sebuah sistem minimum mikrokontroler sebagai pengendali sistem secara keseluruhan ditempatkan pada masing-masing robot. Disamping itu, sebuah penggerak motor (*motor driver*), sepasang motor dengan rodanya dan seperangkat sistem komunikasi diletakan pada sebagai sistem pelengkap untuk bekerjanya robot dengan baik. Sistem minimum yang digunakan adalah Arduino Duemilanove yang berbasis mikrokontroler ATmega 328. Sementara penggerak motor yang dipakai berbasis IC L293D yang mampu mengendalikan arah dan kecepatan dua buah motor sekaligus. Motor yang dikendalikan adalah motor DC yang memiliki sistem gear sederhana. Terakhir, sistem komunikasi yang diaplikasikan berbasis sistem telekomunikasi ZigBee dengan merek Xbee yang memiliki kemampuan mengirimkan dan menerima data secara duplex. Gambar 7 memperlihatkan robot hasil perancangan untuk menjadi sebuah sistem multi-robot.



(a)



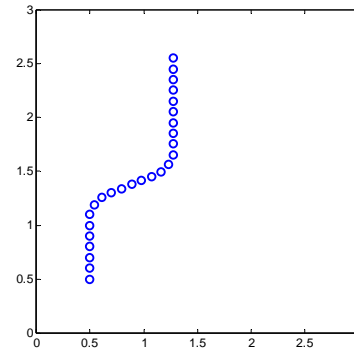
(b)



(c)

Gambar 7. Robot hasil perancangan: (a) Tampak Depan, (b) Tampak Samping dan (c) Tampak Atas

Kemudian, masing-masing robot diuji kemampuannya untuk bermanuver dalam ruangan. Beberapa pergerakan telah diujicoba. Gambar 8 memperlihatkan kemampuan robot tunggal bermanuver dalam beberapa jenis pergerakan, yaitu pergerakan maju, berbelok ke kanan, berbelok ke kiri dan maju kembali.



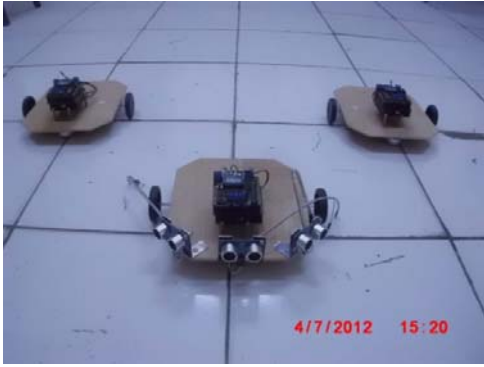
Gbr 8. Pergerakan robot tunggal dengan kombinasi pergerakan

Berdasarkan pergerakan robot tunggal yang ditampilkan pada Gambar 8, dapat dikatakan bahwa pergerakan robot tunggal tersebut sudah baik, karena mampu bergerak dengan pergerakan maju, belok kanan dan belok kiri dengan sempurna.

Kemudian, untuk menguji kemampuan komunikasi dalam sistem multi-robot, ketiga robot disusun dalam formasi segitiga. Dalam formasi segitiga itu, sebuah robot dijadikan sebagai robot leader dan dua robot lainnya sebagai robot follower. Robot leader bergerak dengan pergerakan yang telah diprogram terlebih dahulu, sementara robot follower tidak diberikan program pergerakan. Robot follower bergerak sesuai dengan pergerakan yang diperintahkan oleh robot leader. Posisi robot leader dan robot follower diperlihatkan pada Gambar 9.



(a)

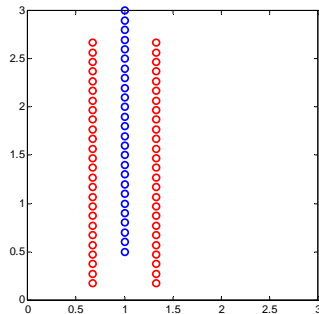


(b)

Gbr 9. Formasi Sistem Multi-robot: (a) Tampak Atas dan (b) Tampak Depan

Terdapat tiga pengujian sistem komunikasi pada multi-robot ini, yaitu: pergerakan lurus, pergerakan melingkar dan pergerakan kombinasi. Untuk mempermudah analisa, pergerakan dan data pergerakan ditampilkan dalam bentuk gambar dan tabel. Dalam gambar, robot leader diperlihatkan dengan warna biru, sedangkan robot follower ditampilkan dengan warna merah.

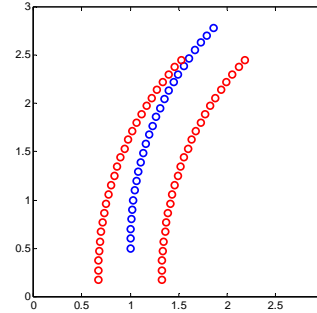
Hasil pergerakan multirobot dalam gerakan lurus diperlihatkan pada Gambar 10.



Gbr 10. Pergerakan Lurus pada Sistem Multi-robot

Pada Gambar 10 tampak bahwa multi-robot dapat bergerak dengan baik dengan formasi segitiga yang dapat dipertahankan. Hal ini menunjukkan bahwa komunikasi antara robot leader dengan dua buah robot follower telah berlangsung dengan efektif, dimana robot-robot bergerak dengan kecepatan yang sama sesuai dengan perintah yang dikirimkan oleh robot leader melalui Xbee.

Hasil pergerakan dan data pergerakan multirobot dalam gerakan berbelok ke kanan diperlihatkan pada Gambar 11 dan Tabel 1.



Gbr 11. Pergerakan Melingkar pada Sistem Multi-robot

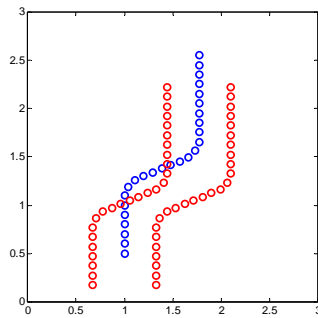
Pada Gambar 11 tampak bahwa robot bergerak dengan kecepatan dan arah yang sama, namun mengakibatkan terjadi perubahan formasi segitiga. Tabel 1 memperlihatkan bahwa terjadi perubahan posisi robot dari posisi formasi segitiga yang seharusnya. Hal ini terjadi karena robot leader melakukan gerakan berbelok ke kanan yang ternyata diikuti langsung oleh robot follower sehingga terjadi perubahan formasi yang berakumulasi.

TABEL 1
DATA PERGERAKAN MULTI-ROBOT GERAKAN
BERBELOK KE KANAN

Kecepatan		Jarak Deviasi Formasi			
Robot Leader		Robot Follower1		Robot Follower2	
Kanan (m/s)	Kiri (m/s)	dx (m)	dy (m)	dx (m)	dy (m)
0.12	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00
0.12	0.08	0.01	-0.01	0.01	0.01
0.12	0.08	0.02	-0.02	0.02	0.02
0.12	0.08	0.03	-0.03	0.03	0.03
0.12	0.08	0.04	-0.04	0.04	0.04
0.12	0.08	0.05	-0.05	0.05	0.05
0.12	0.08	0.05	-0.06	0.06	0.05
0.12	0.08	0.06	-0.08	0.08	0.06
0.12	0.08	0.07	-0.09	0.09	0.07
0.12	0.08	0.08	-0.10	0.10	0.08
0.12	0.08	0.08	-0.11	0.11	0.08
0.12	0.08	0.09	-0.12	0.12	0.09
0.12	0.08	0.10	-0.14	0.14	0.10
0.12	0.08	0.10	-0.15	0.15	0.10
0.12	0.08	0.11	-0.16	0.16	0.11
0.12	0.08	0.11	-0.18	0.18	0.11
0.12	0.08	0.12	-0.19	0.19	0.12
0.12	0.08	0.12	-0.20	0.20	0.12
0.12	0.08	0.12	-0.22	0.22	0.12
0.12	0.08	0.13	-0.23	0.23	0.13
0.12	0.08	0.13	-0.24	0.24	0.13
0.12	0.08	0.13	-0.26	0.26	0.13
0.12	0.08	0.13	-0.27	0.27	0.13
0.12	0.08	0.13	-0.29	0.29	0.13
0.12	0.08	0.14	-0.30	0.30	0.14

0.12	0.08	0.14	-0.31	0.31	0.14
------	------	------	-------	------	------

Pengujian terakhir adalah pergerakan multi-robot yang bergerak secara kombinasional, dengan pergerakan maju, berbelok ke kanan, berbelok ke kiri dan maju kembali. Besar sudut gerakan berbelok dirancang simetris antara belok kanan dengan belok kiri. Hasil pengujian dan data pergerakan diperlihatkan pada Gambar 12 dan Tabel 3.



Gbr 12. Pergerakan Kombinasi pada Sistem Multi-robot

Berdasarkan Gambar 12 dapat dikatakan bahwa secara umum komunikasi antar robot bekerja dengan efektif. Robot follower bergerak dengan kecepatan yang sama dengan robot leader sesuai dengan perintah yang dikirimkan. Namun terjadi perubahan formasi segitiga yang unik. Pada saat gerakan lurus, formasi segitiga dapat dipertahankan dengan baik dan tidak terjadi deviasi posisi, seperti diperlihatkan pada Tabel 3 baris pertama hingga baris ke enam. Tapi, setelah terjadi gerakan belok kanan yang diikuti dengan gerakan berbelok ke kiri terjadi perubahan formasi. Karena pergerakan berbelok simetris maka, formasi dapat terbentuk kembali pada saat multi-robot bergerak lurus kembali.

TABEL 2
DATA PERGERAKAN MULTI-ROBOT GERAKAN
KOMBINASI

Kecepatan		Jarak Deviasi Formasi			
Robot Leader		Robot Follower1		Robot Follower2	
Kanan (m/s)	Kiri (m/s)	dx (m)	dy (m)	dx (m)	dy (m)
0.1	0.1	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.1	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.1	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.1	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.1	0.00	0.00	0.00	0.00
0.12	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00
0.12	0.08	0.10	0.15	0.15	0.10
0.12	0.08	0.14	0.33	0.33	0.14
0.12	0.08	0.10	0.51	0.51	0.10

0.1	0.1	0.10	0.51	0.51	0.10
0.1	0.1	0.10	0.51	0.51	0.10
0.1	0.1	0.10	0.51	0.51	0.10
0.1	0.1	0.10	0.51	0.51	0.10
0.08	0.12	0.10	0.51	0.51	0.10
0.08	0.12	0.14	0.33	0.33	0.14
0.08	0.12	0.10	0.15	0.15	0.10
0.08	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.1	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.1	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.1	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.1	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.1	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.1	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.1	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.1	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.1	0.00	0.00	0.00	0.00

V. PENUTUP

Tulisan ini telah membahas proses perancangan sebuah sistem komunikasi pada sistem multi-robot dengan media komunikasi berbasis Xbee. Tiga buah robot telah dirancang berbentuk persegi dengan sistem mikrokontroler, sistem penggerak motor dan sistem komunikasi sendiri-sendiri. Pergerakan robot tunggal telah diuji dengan hasil yang baik. Sistem multi-robot telah pula diujikan. Secara keseluruhan komunikasi perintah pergerakan dari robot leader ke masing-masing robot follower bekerja dengan baik. Hanya perlu difikirkan metoda lebih lanjut agar formasi sistem multi-robot dapat dipertahankan bagi pergerakan yang lebih kompleks.

REFERENSI

- [1] Nehmzow, U., “Mobile Robotics: Research, Applications and Challenges, Proceeding of Future Trends in Robotics”, Institution of Mechanical Engineer, London, UK. 2001.
- [2] Parker, L. E., “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
- [3] Wawerla, J. et al., “Collective Construction with Multipler Robots”, Proceeding of the International Conference on Intelligence Robots and Systems, Switzerland, 2002
- [4] Arai, T., et al., Editorial: Advances in Multi-robot System, Int. J. of Computers, Communications & Control, ISSN 1841-9836, E-ISSN 1841-9844, Vol. III (2008), Suppl. issue: Proceedings of ICCCC 2008, pp. 92-107
- [5] Lefrance, G., Colony of robots: New Challenge, IEEE Trans. Robotics and Automation, Vol. 18, No. 5, October 2002, pp 655-661

- [6] Xiao-Lin, L., Jing-Ping, J., and Kui, X., , Proc. International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2004), 2004, pp. 307-312
- [7] Faludi, R., Buidling Wireless Sensor Networks, O'Reilly Media, Inc, USA, 2011
- [8] Pan, Q.W., Lowe, D., Search and Rescue Robot Team RF Communication via Power Cable Transmission Line - A Proposal, International Symposium on Signals, Systems and Electronics (ISSSE 2007), pp. 287-290
- [9] Rivard, F, et al., .Ultrasonic relative positioning for multi-robot systems, International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2008), pp. 323-328
- [10] Gil-Pinto, A. Fraisse, P. Zapata, R., Wireless communication for secure positioning in multi robot formations of non holonomic ground vehicles , International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2008), pp. 4198
- [11] Xiao-Lin, L., Jing-Ping, J., Kui, X., , International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2004), pp. 307-212
- [12] Hui-ping, L., et al., Communication of multi-robot system on the TCP/IP, International Conference on Mechatronics Science (MEC 2011), pp. 1432-1435
- [13] Hui, et al., A common wireless remote control system for mobile robots in laboratory, IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC 2012), pp. 688-693
- [14] Kang, S.H., et al., Implementation of Smart Floor for multi-robot system, International Conference on Automation, Robotics and Applications (ICARA 2011), pp. 46-51
- [15] Wan, J., et al., Multi-robots' communication system based on ZigBee network, International Conference on Electronic Measurement, (ICEMI 2009), pp. 3-14 – 3-19
- [16] Lucas, G.W. (2000) *A Tutorial and Elementary Trajectory Model for the Differential Steering System of Robot Wheel Actuators*. The Rossum Project. <http://rossum.sourceforge.net/papers/DiffSteer>. (10 December 2006)
- [17] Dudek, G. and Jenkin, M. (2000). *Computational Principles of Mobile Robotics*. 1st ed. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- [18] Zhang, Y., Zeng, L., Li, Y., and Liu, Q., Multi robot formation control using leader-follower for MANET, Proc. International Conference on Robotics and Biometrics (ROBIO 2009), pp. 337-342.
- [19] Ghommam, J., Mehrjerdi, H., and Saad, M., Leader-follower formation control of nonholonomics with fuzzy logic based approach for obstacle avoidance, Proc. International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2011), 2011, pp. 2340-2345