

Komunikasi Antar Robot Menggunakan RF Xbee dan Arduino Microcontroller

Yuliza

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana

Email: yuliza.baes@gmail.com

Abstrak

Komunikasi wireless sekarang berkembang sangat pesat karena sangat efisien penggunaannya. Salah satu penggunaan teknologi wireless jarak dekat yang banyak digunakan adalah perangkat yang bisa diintegrasikan dengan perangkat lain. Komunikasi antar robot adalah proses penyampaian informasi untuk melakukan sesuatu perintah. Komunikasi antar robot merupakan komponen penting dalam interaksi dalam robot majemuk dan lingkungannya. Dalam sistem robot majemuk, robot leader menyampaikan perintah kepada robot follower untuk menyelesaikan tugas sehingga terjadi koordinasi antar robot. Bentuk komunikasi antar robot secara wireless dengan menggunakan sinyal XBee. Bentuk komunikasi ini robot ini berupa perintah kepada robot follower untuk mengikuti gerakan robot leader. Keuntungan komunikasi antar robot ini adalah efisiensi dalam menyelesaikan tugas. Dengan waktu yang cepat perintah dapat disampaikan secara broadcast kepada follower sehingga dapat menyelesaikan pekerjaan secara bersamaan.

Kata Kunci : Robot, Pemimpin, Pengikut, komunikasi, Xbee, Mikrokontroler

Abstract - Wireless communications are now growing very rapidly because it is very efficient to use. Wireless technology that is widely used at close range is a device that can interface the other devices. Communication between robots is the process of delivering information to do something. Communication between robots is an important component in the interaction of the multiple robots and their environment. In multiple robot systems, robot leader delivering orders to the follower robot to complete a task that occurs coordination between the robot form of communication between the robot wirelessly using XBee signal. This form of communication is in the form of a command to the robot follower robot to follow the movement of the robot leader. Advantages of communication between the robot is efficient in completing the task. With time quickly orders can be delivered in a broadcast to the follower so that the job can be completed simultaneously.

Keywords: Robot, Leader, follower, communication, XBee, Microcontroller

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi komunikasi wireless akhir-akhir ini sangat pesat, disebabkan komunikasi wireless sangat efisien. Salah satu teknologi komunikasi wireless yang banyak diminati adalah WPANs. WPANs sangat diminati karena kehandalannya dalam efisiensi waktu dan biaya. WPANs yang banyak digunakan untuk sensor dan komunikasi antar perangkat elektronik. Salah satu teknologi WPAN yang banyak digunakan untuk komunikasi antar perangkat adalah ZigBee. ZigBee adalah spesifikasi dari IEEE 802.15.4 konsumsi daya rendah, untuk jarak dekat dan bekerja pada frekuensi 2,4 GHz.

Dari sisi lain teknologi robot juga berkembang dengan cepat. Robot adalah benda bergerak yang dibuat untuk membantu pekerjaan manusia. Robot biasanya digunakan untuk tugas yang berat, berbahaya, pekerjaan yang berulang dan kotor. Kebanyakan robot industri digunakan dalam bidang produksi. Paradigma penelitian tentang robot pun berkembang dari robot tunggal ke arah majemuk. Robot majemuk memiliki banyak keunggulan yaitu efisiensi kerja, waktu dan biaya. Robot majemuk dalam bekerja sama membutuhkan komunikasi. Robot merupakan benda bergerak maka komunikasi antar robot berupa komunikasi wireless.

Beberapa penelitian telah mempelajari pengaruh komunikasi terhadap kinerja team dari sistem robot majemuk untuk menyelesaikan berbagai tugas (Arkin, Balch & Nitz, 1993), (Parker, 1998), (Pagello, 1999), (Mataric & Gerkey, 2001) dan lain-lain. Komunikasi adalah sentral dari sistem robot majemuk yang menentukan kinerja robot dalam berinteraksi dengan robot lain.

Oleh karena itu, penelitian ini berupaya untuk membahas perancangan sistem komunikasi robot majemuk demi mengatasi masalah yang disebutkan di atas. Perancangan sistem komunikasi diupayakan sesederhana mungkin dibandingkan dengan yang telah ada. Fokus perancangan ditujukan kepada komunikasi antara leader dan follower sehingga follower mengikuti gerakan leader. Pada tesis ini, media transmisi yang digunakan antar robot adalah sistem nirkabel dengan frekuensi radio (Radio Frequency, RF) menggunakan XBee, Arduino microcontroller di mana mobile robot ini mampu melakukan komunikasi bi-directional dan mengenali ID controller.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Perkembangan teknologi wireless berkembang sangat cepat dalam jaringan telekomunikasi. Teknologi berbasis kabel mulai ditinggalkan karena membutuhkan biaya operasional yang cukup tinggi dan banyak keterbatasannya. Istilah yang sering digunakan untuk teknologi adalah *Wireless Local Area Network* (WLAN).

Sedangkan pengertian wireless itu sendiri dalam bahasa Indonesia yaitu nirkabel, merupakan salah satu teknologi komputer yang memungkinkan satu atau lebih peralatan untuk berkomunikasi tanpa koneksi fisik, yaitu tanpa membutuhkan jaringan atau peralatan kabel.

WLANs berdasarkan standar IEEE 802.11 sebagai sebuah solusi dari koneksi jaringan yang menawarkan mobility, flexibility, low cost dalam pengembangan dan penggunaannya. IEEE 802 committee dikenal sebagai lembaga otoritas dari LAN yang menentukan beberapa standar LAN dalam 20 tahun terakhir. IEEE 802 Committee membentuk sebuah group baru IEEE 802.11 dikhususkan untuk

WLANs sebagai dasar untuk membangun sebuah spesifikasi protokol lapisan physical dan MAC. IEEE meratifikasi spesifikasi 802.11 pada tahun 1997. WLAN adalah teknologi yang sangat menarik karena aplikasinya sangat luas, dengan beberapa karakteristik yang menguntungkan yaitu kapasitas tinggi, jangkauan jarak dekat, koneksi penuh dan dapat broadcast secara langsung (Labioud et al., 2007). Istilah untuk 802.11b untuk sertifikat produk adalah Wi-Fi. Sertifikasi Wi-Fi dibuat oleh Aliansi Wi-Fi. Aliansi Wi-Fi juga membuat prosedur sertifikasi untuk produk IEEE 802.11a yang disebut Wi-Fi5.

2.1 Keunggulan-keunggulan WLAN

Berikut ini adalah kelebihan dari WLANs (Labioud et al., 2007):

- Bebas lisensi untuk koneksi backbone LAN
- Standar dapat diikuti dunia
- Throughputs bisa melebihi standar 3G sebagai universal mobile telecommunication system (UMTS)
- Low-cost, harga yang berkompetisi untuk generasi ketiga
- Roaming/handoff support
- Mudah dikembangkan

Menurut (Stalling, 2005) Wireless LAN menyediakan alternatif yang efektif dan lebih menarik. Sedangkan menurut (Garg, 2007) beberapa keuntungan dari WLAN sebagai berikut :

- Meningkatkan mobilitas, produktivitas dengan akses real-time ke informasi, pekerja tidak di lokasi, lebih cepat dan lebih efisien.
- Biaya yang efektif untuk instalasi jaringan pada lokasi sulit kabel seperti bangunan tua dan struktur dinding masif.
- Mengurangi biaya kepemilikan, terutama di lingkungan yang dinamis yang sering dimodifikasi karena mengurangi kabel dan biaya instalasi per perangkat dan per pengguna.

Tiga katagori penggunaan system WLAN :

- Wireless personal area networks (WPANs)
- Wireless area networks
- Wireless metropolitan area networks

2.2 ZigBee dan XBee

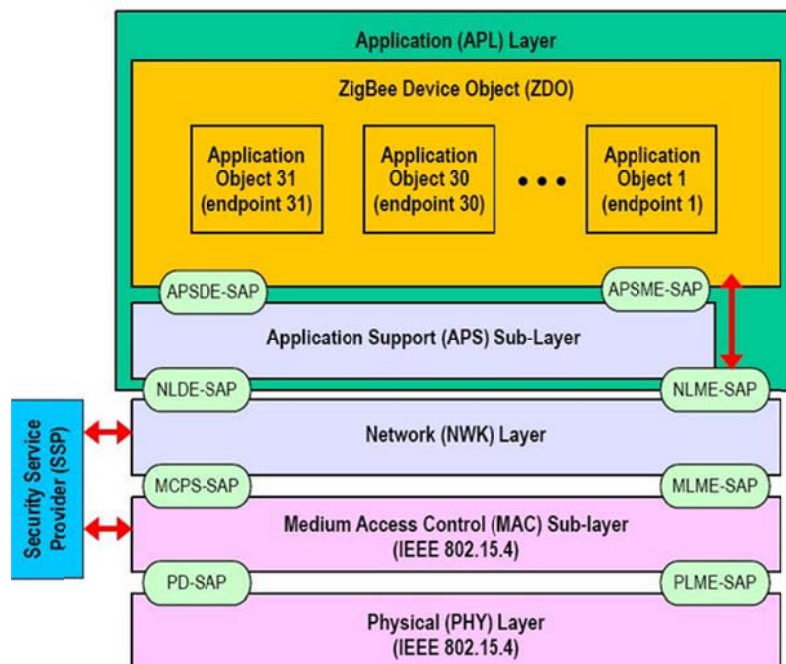
Zigbee adalah sebuah spesifikasi protokol komunikasi radio digital berdaya rendah berdasarkan spesifikasi IEEE 802.15.4 tahun 2003 dan Zigbee Alliance dengan jangkauan maksimal 100 meter. Spesifikasi IEEE 802.15.4 merupakan dasar dari ZigBee untuk lapisan bawah MAC dan PHY serta menentukan standar radio 2,4 GHz yang digunakan dunia.

XBee adalah brand yang mensupport dari berbagai protokol komunikasi termasuk ZigBee 802.15.4 dan WiFi. Gambar Xbee modul diperlihatkan pada gambar 1.



Gambar 1. XBee Module

Standar protokol ZigBee sama dengan standar Bluetooth. Manufaktur perangkat suatu pabrik sepenuhnya support dengan standar ZigBee yang dapat berkomunikasi dengan perangkat ZigBee buatan pabrik lainnya. Contohnya Bluetooth headset Motorola dapat berkomunikasi dengan Apple iPhone, saklar lampu Centalite ZigBee dapat berkomunikasi dengan kunci pintu Black & Decker (Faludy, 2010). Gambar 2 memperlihatkan arsitektur teknologi ZigBee.



Gambar 2. Arsitektur ZigBee

ZigBee banyak digunakan di pasaran karena ZigBee mempunyai banyak keunggulan yaitu (Gislason, 2008) :

- Jangkauan 1 meter - 100 meter.

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

Tabel 1 Spesifikasi XBee

Specification	XBee
Indoor/Urban Range	(30 m)
Outdoor RF line-of-sight Range	(100 m)
Transmit Power Output	1mW (0 dBm)
RF Data Rate	250,000 bps
Serial Interface Data Rate	1200 - 115200 bps
Receiver Sensitivity	-92 dBm (1% packet error rate)
Power Requirements	
Supply Voltage	2.8 – 3.4 V
Transmit Current (typical)	45mA (@ 3.3 V)
Idle / Receive Current (typical)	50mA (@ 3.3 V)
Power-down Current	< 10 μ A
General	
Operating Frequency	ISM 2.4 GHz
Dimensions	0.960" x 1.087" (2.438cm x 2.761cm)
Operating Temperature	40 to 85° C (industrial)
Antenna Options	Integrated Whip, Chip or U.FL Connector
Networking & Security	
Supported Network Topologies	Point-to-point, Point-to-multipoint & Peer-to-peer
Number of Channels (software selectable)	16 Direct Sequence Channels
Addressing Options	PAN ID, Channel and Addresses

Proses Pengiriman dan penerimaan data pada ZigBee.

ZigBee Menggunakan standar network untuk transmisi data yang ditentukan oleh IEEE 802.15.4 :

- Data Request artinya pengiriman data

- Data Confirm artinya pengetahuan dari data request
- Data Indication artinya penerimaan data

2.3 Komunikasi Antar Robot

Penelitian tentang perilaku robot majemuk terinspirasi dari alam yang dikenal dengan swarm robot. Salah satu perilaku robot swarm adalah mengikuti pemimpin (leader-follower) contohnya perilaku semut, lebah dan hewan lainnya yang diaplikasikan dalam perancangan sistem robot majemuk. Sistem robot majemuk memiliki beberapa keuntungan lebih efisien waktu, lebih handal, dapat menyelesaikan masalah yang lebih rumit yang tidak dapat dikerjakan robot tunggal. Robot Leader bergerak bebas bergerak sesuai dengan sensor sedangkan robot follower mengikuti kemanapun gerakan leader (following) dan tetap di formasi diberikan input sesuai dengan pesan yang dikirim leader menurut Naixue Xiong & Yingshu Li (2008). Bentuk umum interaksi antar robot pada robot sistem robot majemuk (Parker, 2008) :

- Kolektif
- Kerja sama
- Kolaborasi
- Koordinasi

Penelitian tentang paradigma robot majemuk telah banyak dipublikasikan. Ada delapan topik utama yang berkembang dalam sistem robot majemuk yang terinspirasi dari alam yaitu, komunikasi, arsitektur, lokalisasi/pemetaan/ekplorasi, transportasi objek dan manipulasi, koordinasi mosi, rekonfigurasi robot dan pembelajaran (Parker, 2003).

Untuk berinteraksi dengan robot lain dalam robot majemuk dibutuhkan komunikasi. Komunikasi adalah sentral dari sistem robot majemuk karena menentukan bagaimana robot dapat berinteraksi dengan robot lain (Rui Rocha et.al, 2005). Bentuk interaksi komunikasi dibedakan menjadi tiga yaitu:

1. Melalui lingkungan, penggunaan lingkungan sendiri sebagai media komunikasi
2. Melalui sensor penggunaan sensor untuk observasi dan persepsi aksi dari kelompok
3. Melalui penggunaan sinyal komunikasi untuk pertukaran pesan antara agen.

Menurut (Parker, 2002) perbedaan implisit dan eksplisit tentang pengertian komunikasi selalu dibuat:

- Implisit komunikasi terjadi sebagai akibat efek samping dari aksi yang lain.
- Ekplisit komunikasi adalah aksi yang khusus dirancang untuk menyampaikan informasi ke robot yang lain dalam satu team.

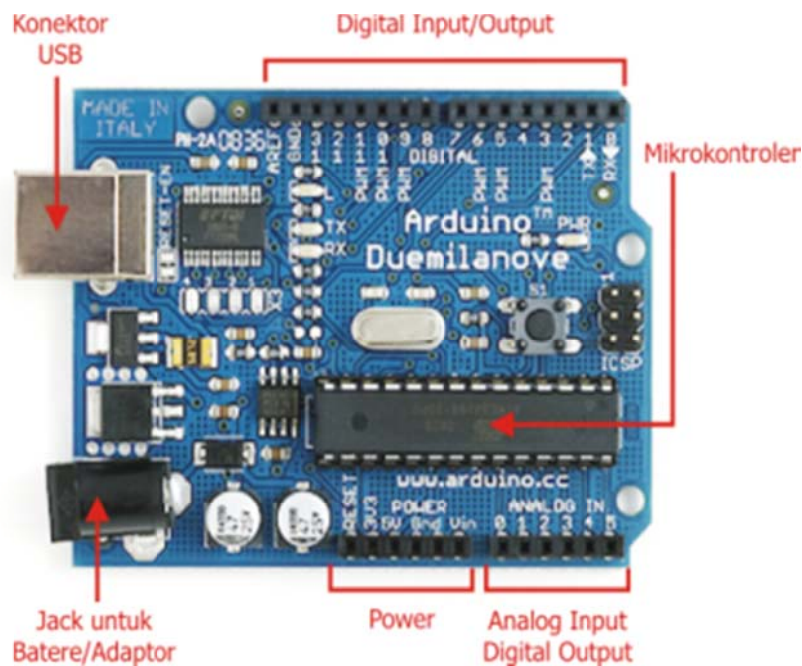
Memimpin untuk menambah persepsi melalui distribusi wilayah tanpa sensor dengan kata lain untuk kerja ataupun memberhentikan kerja dalam berbagai tugas robot membutuhkan komunikasi. Komunikasi dapat dilakukan oleh robot untuk berinteraksi dan negosiasi yang efektif. Komunikasi antar robot tersebut harus didukung oleh hardware, yang tidak banyak menghabiskan daya, murah, protokol

yang mudah dipakai (Sarker & S.Dahl, 2010). Dalam komunikasi robot majemuk penggunaan wireless sangat mempengaruhi kinerja sistem.

Ribuan research aplikasi teknologi wireless untuk komunikasi antar robot majemuk telah dikembangkan. Beberapa di antaranya adalah komunikasi secara broadcast dalam team Robot Alliance dengan sensor feedback berupa infra red (Parker, 1998), IR untuk komunikasi Swarms Microbotic (Kornienko, 2011), 802.1b bridge (Wifi) untuk komunikasi antar robot majemuk (Ulam & Arkin, 2004), Komunikasi antar robot yang secara integrasi antara WLAN, Bluetooth dan ZigBee (Witkowski et al., Guardians Project). UWB untuk perangkat komunikasi dan navigasi antar robot (Dougherty, R., 2003).

2.4 Arduino Microcontroller

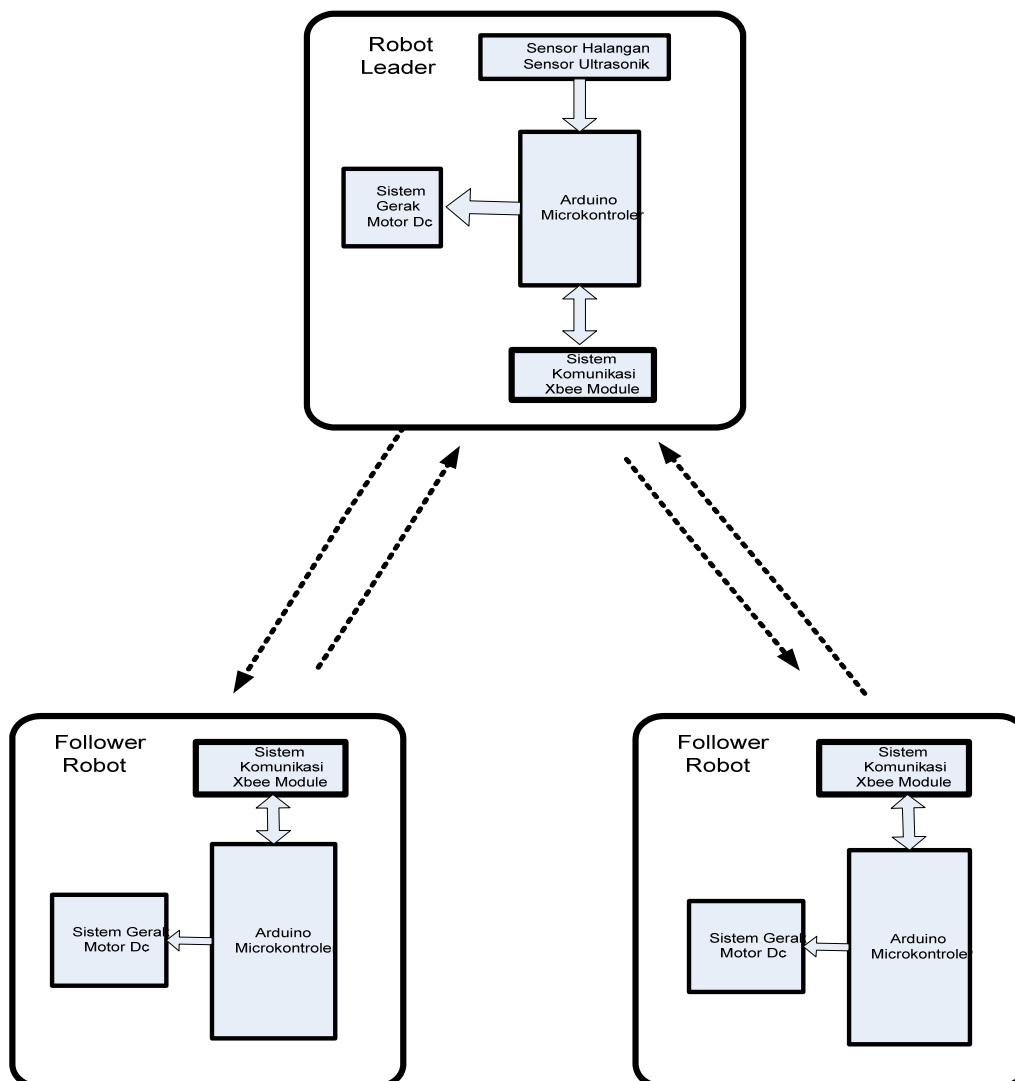
Arduino adalah kit elektronik atau papan rangkaian elektronik open source yang di dalamnya terdapat komponen utama yaitu sebuah chip mikrokontroler dengan jenis AVR dari perusahaan Atmel. Mikrokontroler itu sendiri adalah chip atau IC (integrated circuit) yang bisa diprogram menggunakan komputer. Tujuan menanamkan program pada mikrokontroler adalah agar rangkaian elektronik dapat membaca input, memproses input tersebut dan kemudian menghasilkan output sesuai yang diinginkan. Jadi mikrokontroler bertugas sebagai 'otak' yang mengendalikan input, proses dan output sebuah rangkaian elektronik.



Gambar 3. Arduino Mikrokontroler

3. PERANCANGAN SISTIM

Gambar blok sistem secara keseluruhan diperlihatkan pada gambar 4.

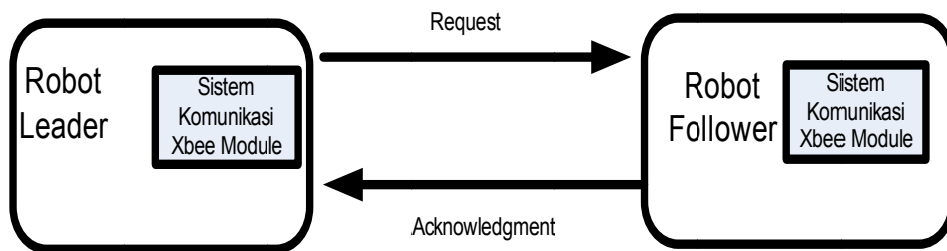


Gambar 4. Blok diagram sistem.

Dari diagram blok sistem di atas dapat dijelaskan cara kerja sistem secara umum. Pada robot leader terdiri dari Mikrokontroler Arduino sebagai pusat dari semua sistem, dan mengatur semua kegiatan input/output sistem. Sistem sensor yang menggunakan sensor ultrasonik yang berfungsi sebagai sensor halangan agar robot dapat bergerak dengan baik. Sistem gerak menggunakan motor DC dengan digerakkan dengan Shield L298 dengan arus maksimum 2A. Sistem komunikasi menggunakan Xbee Module dengan DFduino Shield sebagai penghubung antara Xbee dan Arduino mikrokontroler. Komunikasi ini berfungsi untuk komunikasi antar robot leader dan robot follower. Sedangkan untuk Robot follower tidak mempunyai sistem sensor. Gerakan dari robot follower hanya mengikuti robot leader dengan menerima perintah melalui Xbee modul.

3.1 Bentuk Komunikasi Robot Leader dan Follower

Robot leader mengirimkan sinyal request ke robot follower dan robot follower mengirimkan sinyal acknowledgment dan terjadi handshaking, kemudian robot leader mengirimkan perintah sehingga robot follower mengikuti perintah robot leader. Sehingga robot follower akan mengikuti semua gerakan robot leader. Bentuk komunikasi robot leader dan robot follower diperlihatkan pada gambar 5.

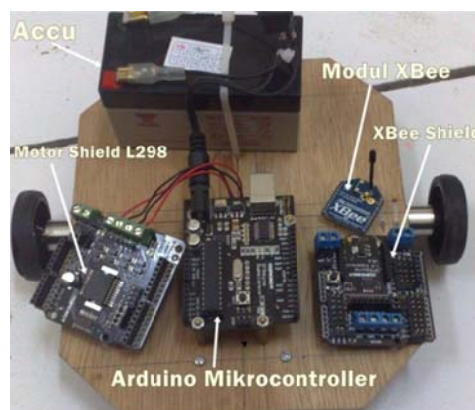


Gambar 5. Bentuk komunikasi antara robot leader dan follower

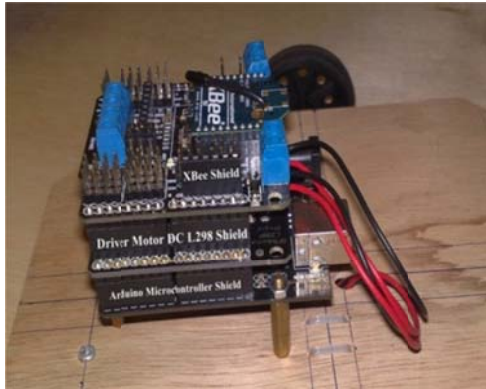
4. HASIL PERANCANGAN SISTEM DAN ANALISA PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan Sistem

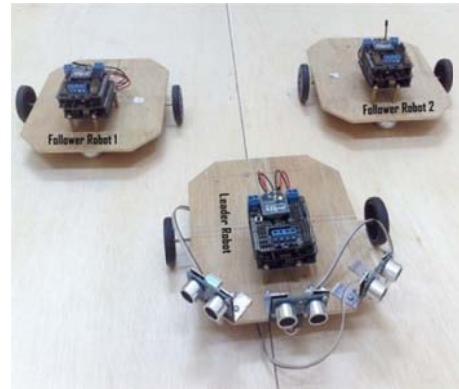
Sistem secara keseluruhan dibuat dengan memasang shield-shield sesuai dengan fungsinya. Dengan Arduino terletak pada bagian paling bawah kemudian di atasnya motor shield L 298 setelah itu XBee shield dan modul XBee pada bagian paling atas tepat pada XBee Shield maka di peroleh rangkaian penyusun robot yang diperlihatkan pada gambar 6, gambar 7 bentuk rangkaian bila dilepaskan dari susunan robot dan gambar 8 adalah gambar keseluruhan dari sistem.



Gambar 6. Rangkaian robot yang belum terpasang



Gambar 7. Rangkaian Robot

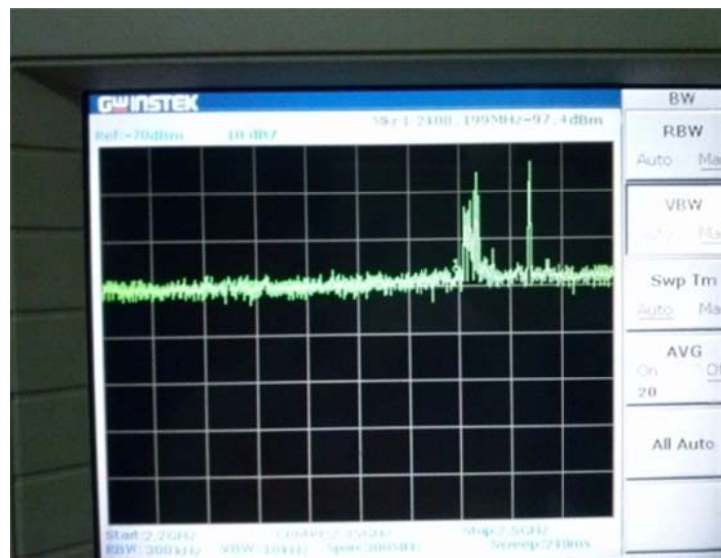


Gambar 8. Keseluruhan sistem

4.2 Analisa dan Pembahasan

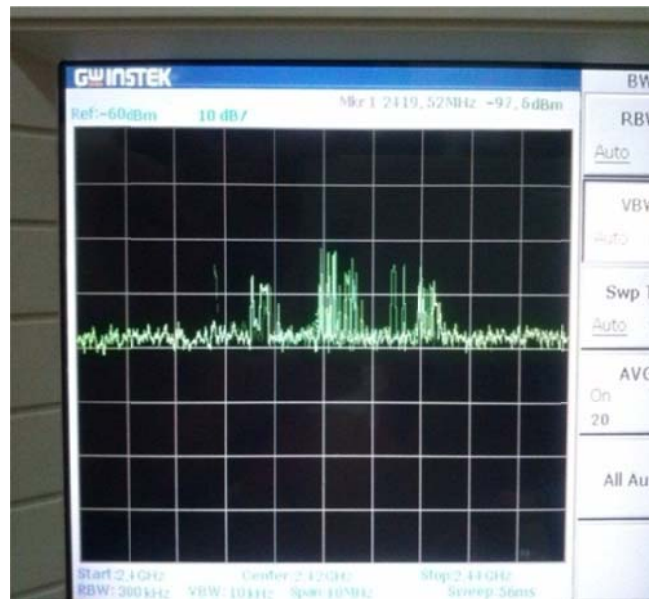
4.2.1 Pengujian yang di dalam ruangan Lab Teknik Elektro

Pada pengukuran sinyal ini spektrum analyzer diatur sesuai dengan spesifikasi sinyal XBee yaitu berkisar 2,4 GHz dengan frekuensi markernya sekitar 2419.25 GHz dan range frekuensi di antara 2400 dan 2440 MHz dan level spektrum -100 dBm. Bentuk sinyal transmitter pada leader diperlihatkan pada gambar 9.



Gambar 9. Bentuk sinyal transmitter pada leader

Dari hasil pengukuran spektrum analyzer tersebut terlihat power level sinyal transmitter leader yaitu maximum -81 dBm dan minimum -97.4 dBm. Sedangkan pada saat terjadi interaksi antara leader dan follower diperlihatkan pada gambar 10.



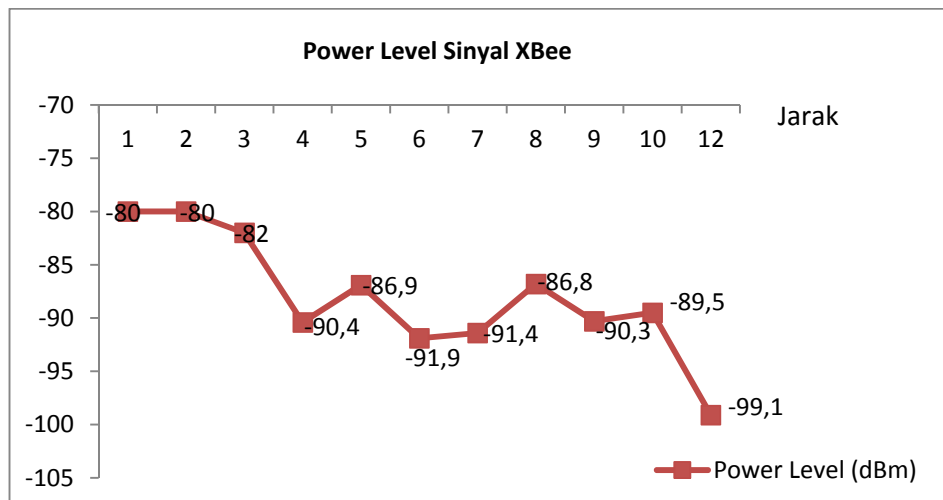
Gambar 10. Bentuk sinyal interaksi antara leader dan follower

Berikut adalah hasil pengukuran daya pancar (power level) sinyal XBee transmitter leader berdasarkan jarak yang ditempuh yang diperlihatkan pada tabel 2.

Tabel 2 Hasil pengukuran power level sinyal Xbee

Jarak (meter)	Power Level (dBm)
1	-80
2	-80
3	-82
4	-90,4
5	-86,9
6	-91,9
7	-91,4
8	-86,8
9	-90,3
10	-89,5
12	-99,1
Rata-rata	-88,02

Dari tabel 2 dapat dijelaskan bahwa semakin jauh jarak yang ditempuh sinyal maka semakin kecil power levelnya. Dari hasil pengukuran power level tersebut dapat ditampilkan dalam bentuk grafik yang diperlihatkan pada gambar 11. Pengukuran ini dilakukan di ruang VII di dalam Lab.Tehnik Elektro.



Gambar 11. Grafik power level sinyal XBee transmitter

Berdasarkan hasil grafik dapat dibuat kesimpulan bahwa semakin jauh jarak yang ditempuh maka semakin kecil power levelnya. Berarti jarak juga mempengaruhi komunikasi antar robot sehingga akan mempengaruhi kinerja sistem.

Tabel 3 Hasil pengujian robot leader dan follower

Percobaan	Jarak antara Robot Leader dan Follower (Meter)	Status
1	1	Terkoneksi
2	2	Terkoneksi
3	3	Terkoneksi
4	4	Terkoneksi
5	5	Terkoneksi
6	6	Terkoneksi
7	7	Terkoneksi
8	8	Terkoneksi
9	9	Terkoneksi
10	10	Terkoneksi
11	11	Terkoneksi
12	12	Tidak Terkoneksi
13	13	Tidak terkoneksi

Berdasarkan hasil tabel 3 tersebut robot leader dan follower dapat melakukan komunikasi dengan jarak maksimum 11 meter dan pada jarak 12 meter robot-robot tersebut tidak terjadi koneksi ini disebabkan power level yang rendah yaitu -99,1 dBm. Berdasarkan spesifikasi XBee yang digunakan bahwa sensitivitas receiver minimum -92 dBm sehingga jika harganya lebih kecil dari -92 dBm maka sinyal tersebut tidak dapat ditangkap oleh XBee receiver pada follower.

Tabel 4 Hasil pengujian komunikasi leader (ruang I) dengan posisi follower yang dipindahkan

Percobaan	Posisi Follower Ruang	Jarak (meter)	Status
1	2	3	Terkoneksi
2	3	3	Terkoneksi
3	4	4	Terkoneksi
4	5	5	Terkoneksi
5	6	7	Terkoneksi
6	7	10	Terkoneksi
7	8	>12	Tidak Terkoneksi

Dari hasil tabel 4 dapat ditarik kesimpulan bahwa sinyal XBee dapat menembus penghalang di dalam suatu ruangan sesuai dengan hasil pengukuran sebelumnya bahwa untuk jarak kurang dari 12 meter power levelnya masih lebih dari -92 dBm untuk pada ruangan Lab.Tehnik Elektro, XBee transceiver masih terkoneksi kurang jarak 12 meter.

4.2.2 Pengukuran waktu terjadinya komunikasi antara leader dan follower

Mengukur waktu yang dibutuhkan komunikasi antara leader dan follower sehingga semuanya mulai bergerak. Ini bertujuan untuk mengetahui kecepatan kinerja robot dalam menerima perintah dan melaksanakannya.

Tabel 5 Hasil pengukuran waktu komunikasi leader dan follower

Percobaan	Terkoneksinya komunikasi antara follower dan leader (detik)
1	11
2	10
3	11
4	11
5	12
6	13
7	15
8	13
9	15
10	15
Rata-rata	12,5

Dari hasil pengukuran pada tabel 5 bahwa komunikasi antara robot leader dan follower membutuhkan waktu 12,5 detik. Pengukuran ini tidak memperhatikan posisi antara robot leader dan follower.

4.2.3 Pengujian yang di luar ruangan Lab Teknik Elektro

Percobaan dilakukan untuk mengetahui performan sinyal XBee di luar ruangan dan juga pengaruh lingkungan terhadap sinyal XBee pada robot. Percobaan ini dilakukan di depan Lab Teknik Elektro Universitas Mercu Buana. Berikut hasil pengujian di luar ruangan diperlihatkan pada tabel 6.

Tabel 6 Hasil pengujian komunikasi XBee di luar ruangan.

Percobaan	Jarak antara Robot Leader dan Follower (meter)	Status
1	1	Terkoneksi
2	2	Terkoneksi
3	3	Terkoneksi
4	4	Terkoneksi
5	5	Terkoneksi
6	6	tidak
7	7	tidak
8	8	Tidak
9	9	Tidak
10	10	Tidak

Dari hasil tabel 6 disimpulkan bahwa kemampuan transceiver menangkap sinyal dari transmitter hanya sampai 5 meter dan lebih dari nilai tersebut transceiver sudah tidak dapat menangkap sinyal.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Sistem komunikasi robot dapat bekerja dengan baik di dalam dan luar ruangan berdasarkan hasil pengujian.
2. Dari hasil percobaan dan pengukuran sinyal dapat disimpulkan bahwa percobaan di dalam ruangan sinyal dapat terkoneksi dengan baik sampai jarak 12 meter.
3. Rata-rata power level sinyal sampai jarak 12 meter adalah -88,02 dBm.
4. Sinyal dapat terkoneksi bila power level sinyal XBee lebih dari -92 dBm.
5. Sinyal XBee dapat menembus penghalang bila jaraknya kurang dari 12 meter.
6. Rata-rata waktu terjadinya komunikasi leader dan follower selama 12,5 detik.
7. Percobaan di luar ruangan receiver dapat menangkap sinyal transmitter dengan baik hanya sampai 5 meter.

5.2 Saran

Guna perbaikan dan memberikan hasil yang lebih baik, maka dapat disampaikan saran-saran ataupun rekomendasi sebagai berikut :

1. Penggunaan spesifikasi XBee yang power levelnya lebih tinggi dan tidak terpengaruh interferensi frekuensi lain untuk pengembangan selanjutnya.
2. Pengembangan selanjutnya dapat diintegrasikan dengan sensor-sensor yang lain dan lebih luas penggunaannya.

REFERENCES

- [1] Dougherty, Robert et al. (2003). A Behavior Control Approach to Formation-Keeping Through an Obstacle Field, 0-7803-8155-6, 2004 IEEE.
- [2] Dudek, G. And Jenkin, M. (2000). Computational Principles of Mobile Robotics. UK: Cambridge University Press.
- [3] Garg, Vijay K. (2007), Wireless Communications And Networking, USA: Elsevier Inc. Gislason, Drew (2008). Zigbee Wireless Networking, USA: Elsevier Inc
- [4] Goldsmith, Andrea (2005). Wireless Communications, UK: Cambridge Cambridge University Press.
- [5] Haykin, Simon (2001). Communication System 4th Edition, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- [6] Kornienko S.(2011), IR-based Communication and Perception in Microbotic Swarms, arXiv:1109.3617v1 [cs.RO] 16 Sep 2011, Institute of Parallel and Distributed Systems, University of Stuttgart, Germani.
- [7] Labiod, H, Afifi, H. And De Santis, C. (2007). WiFi™, Bluetooth™, ZigBee™, And Wimax™, Netherlands, Springer.
- [8] Mataric Gerkey, And Brian P. (2001). Principled Communication fo Dynamic Multi-Robot Task Allocation, In Experimental Robotics VII, LNCIS 271D. Rus and S. Singh, editors, pages 353-362. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [9] Sarker, Md. Omar Faraque & Dahl, Torbjørn S. (2010). Bio-Inspired Communication for Self-Regulated Multi-Robot Systems. Journal of Multi-Robot Systems, Trends and Development, Edited by Toshiyuki Yasuda and Kazuhiro Ohkura. p. cm. ISBN 978-953-307-425-2.
- [10] Parker, Lynne E. (2002). Current Research in Multi Robot System. Paper presented at The Seventh International Symposium on Artificial Life and Robotics, Oita, Japan.
- [11] Parker, Lynne E. (1998), Adaptive Heterogeneous Multi-Robot Teams, Elsevier Preprint, 17 November 1998.
- [12] Parker, Lynne E.(2008), Distributed Intelligence: Overview of the Field and its Application in Multi-Robot Systems, Journal Of Physical Agents, Vol. 2, No. 1, March 2008.
- [13] Robert Faludi (2010). Building Wireless Sensor Network. United State of America : O'Reilly Media.
- [14] Rui Rocha, Jorge Dias, Adriano Carvalho (2005). CMRS: A Study of vision Based 3-D mapping using information theory. Robotics and Autonomous System 53, 282-311.
- [15] Simon, Monk (2010). 30 Arduino Projects for the Evil Genius. United States of America: Mc Graw-Hill.
- [16] Stallng, W. (2003). Data And Computer Communications Fifth Edition, USA.

- [17] Stalling, W. (2005). *Wireless Communications And Network*, 2nd Ed., USA: Pearson Education, Inc.
- [18] Ulam, Patrick & Arkin Ronald C, *Communications Recovery For Multi-Robot Teams*, Defense Advanced Research Projects Agency, 3701 North Fairfax Drive, Arlington, VA, 22203-1714.
- [19] Witkowski, U. et al., *Ad-hoc network communication infrastructure for multi robot systems in disaster scenarios*. GUARDIANS project no. 045269.
- [20] Xiaohai, Li And Xiao, J. (2005). *International Journal Of Intelligent Control And Systems* vol. 10, No. 3, September 2005, 244-250.