

Pengujian Jarak dan Waktu Gabung Protokol IEEE 802.15.4 / ZigBee di Lingkungan Indoor

Koko Joni¹, Risanuri Hidayat², Sujoko Sumaryono³

Abstract— Protocol IEEE 802.15.4/ZigBee is a standard for low power personal network. This paper discusses about router, end device and coordinator using ZigBee protocol in term of distance and time to join. Testing carried out by pairing and On/Off method that constitute communication model from router or end device to coordinator. The result showed that with pairing methods could far distance until outside building with further distance about 65 meters, while the distance using On/Off method can reach few room in indoor area. Longest time to join need about 1 minute 15 seconds. Compare with pairing method that always connected, On/Off method need more time to connect in ZigBee Network.

Intisari— Protokol IEEE 802.15.4 / ZigBee merupakan standar untuk jaringan terbatas dengan konsumsi daya rendah. Paper ini membahas perangkat *router, end device* dan koordinator dengan protokol ZigBee terhadap jarak dan waktu gabung. Pengujian dilakukan dengan metode *pairing* dan *On/Off*, yang merupakan model komunikasi dari *router* atau *end device* ke koordinator. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode *pairing* dapat menjangkau jarak yang jauh hingga ke luar gedung dengan jarak terjauh lebih kurang 65 meter, sedangkan jarak jangkauan dengan metode *On/Off* hanya mencapai beberapa ruang di lingkungan *indoor*. Waktu gabung paling lama di butuhkan waktu 1 menit 15 detik. Dibanding dengan metode *pairing* yang selalu terhubung, metode *On/Off* membutuhkan selang waktu gabung untuk tersambung dalam jaringan ZigBee.

Kata Kunci— IEEE 802.15.4, ZigBee, indoor, pairing method, On/Off method.

I. PENDAHULUAN

Teknologi jaringan sensor nirkabel mengalami perkembangan yang cukup pesat baik dari segi teknologi maupun penggunaannya. Mulai dari teknologi elektromekanik, sensor hingga Protokol komunikasinya [1]. Standar komunikasi untuk teknologi sensor nirkabel sekarang banyak mengacu pada standar IEEE 802.15.4 yang merupakan standar jaringan nirkabel baru untuk *low-rate wireless personal area network* (LR-WPAN) [2]. Zigbee merupakan Protokol komunikasi hasil pengembangan lanjut dari standar IEEE 802.15.4. Zigbee dibentuk dari aliansi beberapa perusahaan yang mengembangkan *low-rate wireless personal area network* untuk melakukan standarisasi dari perangkat yang dibuat untuk menggunakan standar yang sama yaitu Zigbee[3].

¹ Dosen Jurusan Manajemen Informatika Fakultas Teknik Universitas Trunojoyo, Jl. Raya Telang PO BOX 2 Kamal-Madura INDONESIA (telp: 08563000767; e-mail: kojoex@yahoo.com)

^{2,3} Dosen Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Jln. Grafika 2 Yogyakarta 55281 INDONESIA (telp: 0274-5555; fax: 0274-4321; e-mail: risanuri@jtetu.gadjahmada.edu; sujoko.s@gmail.com)

Penggunaan jaringan sensor nirkabel banyak diterapkan dalam banyak bidang seperti pertanian [4], pengamatan lingkungan [5], otomatisasi gedung [6], kesehatan [7] dan bidang-bidang lainnya. Dari berbagai penerapan diatas belum dibahas tentang jarak maksimal yang bisa dijangkau oleh alat yang menggunakan standar IEEE 802.15.4/Zigbee maupun lama waktu yang diperlukan bergabungnya perangkat router atau end device ke jaringan Zigbee. Paper yang sudah dilakukan adalah mengukur kekuatan sinyal Xbee dengan jaringan mesh [8]. Paper ini menguji perangkat Xbee dan Xbee Pro S2 yang menggunakan Protokol Zigbee di lingkungan indoor. Tujuan penelitian untuk mengukur jarak jangkauan dan waktu yang di perlukan untuk bergabung dalam jaringan Zigbee menggunakan metode pairing dan on/off. Metode pairing dan On/Off merupakan model komunikasi dari router dan end device ke koordinator. Hasil pengujian ini bisa digunakan untuk menunjukkan seberapa handal perangkat Xbee dengan Protokol Zigbee jika diterapkan untuk monitoring ataupun controlling dalam lingkungan indoor, sehingga perlu dipertimbangkan apakah nanti memakai mode sleep (dengan perangkat end device) atau menyala terus menerus di titik akhirnya (dengan router).

Paper ini di susun sebagai berikut. Bab I mengenai pendahuluan yang berisi latar belakang pengujian Protokol IEEE 802.15.4/Zigbee. Bab II membahas tentang Protokol IEEE 802.15.4 dengan sub bab mengenai Zigbee dan perangkat Xbee. Bab III mengenai rancangan sistem yang digunakan dalam pengujian ini. Bab IV merupakan hasil dari pengujian ini dan Bab V berisi kesimpulan.

II. PROTOKOL IEEE 802.15.4

Setiap penyampaian suatu informasi membutuhkan Protokol. Protokol merupakan sekumpulan aturan yang disepakati untuk berjalannya suatu komunikasi. Seperti halnya manusia, komputer juga memerlukan suatu bahasa standar atau Protokol agar bisa berkomunikasi satu dengan lainnya. Protokol IEEE 802.15.4 merupakan standar yang menentukan *physical layer* dan *media access control* (MAC) untuk *low-rate wireless sensor networks* (LR-WPANs) [9]. Zigbee merupakan pengembangan lanjut dari IEEE 802.15.4 yang dikembangkan oleh Zigbee Alliance.

A. ZigBee

Protokol Zigbee mendefinisikan hanya pada lapisan *networking, application* dan *security*. Sedangkan lapisan bawahnya *physical* dan MAC mengadopsi pada IEEE 802.15.4. Zigbee memiliki kecepatan maksimal 250 kbps, Zigbee juga memiliki kelebihan pada pengoperasiannya yang sangat mudah, bentuknya kecil, murah dan membutuhkan daya yang sangat rendah (*low power consumption*) dibandingkan dengan keluarganya yang lain seperti Bluetooth dan UWB. Zigbee menggunakan tiga buah band frekuensi yang digunakan secara berbeda-beda. Untuk saat ini frekuensi

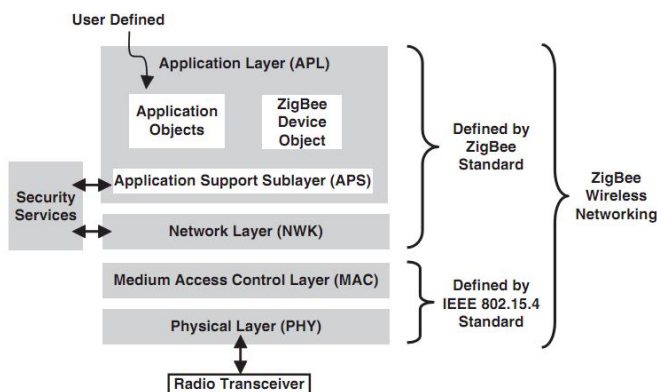
915MHz digunakan di Amerika, 868MHz di Eropa, dan 2.4GHz di Jepang dan lainnya. Karakteristik secara umum dari Zigbee dapat dilihat dari Tabel I [10]. Untuk physical dan MAC layer nya sendiri menggunakan standar IEEE 802.15.4, yang digunakan untuk mendefinisikan pengaturan daya, pengalamatan, kesalahan, format pesan, dan *point to point* komunikasi radio. Sedang untuk lapisan diatasnya (*data link, network, dan application interface*) ditentukan oleh Zigbee Alliance. Hubungan antara IEEE 802.15.4 dan Zigbee dapat dilihat pada Gambar 1[11].

TABEL I
KARAKTERISTIK UMUM IEEE 802.15.4

PHY (MHz)	Band Frekuensi (MHz)	Parameter Penyebaran		Paramater data		
		Chip rate (kchip/s)	Modulation	Bit rate (kb/s)	Symbol rate (ksymbol/s)	Symbols
868 & 915	868-868.6	300	BPSK	20	20	Binary
	902-928	600	BPSK	40	40	Binary
2400	2400-2483	2000	O-QPSK	250	62.5	16 – array orthogonal

Zigbee merupakan kumpulan layer yang dibangun diatas IEEE 802.15.4 layer ini mempunyai 3 komponen penting, yaitu [11]:

- 1) *Routing*: Tabel routing mendefinisikan bagaimana sebuah radio dapat menyampaikan pesannya melalui serangkain radio lain menuju ke tujuan akhirnya.
- 2) *Jaringan ad hoc*: Ini merupakan *Proses* yang terjadi dalam seluruh jaringan radio, tanpa campur tangan manusia.
- 3) *Self healing mesh*: *Proses self healing* yaitu *Proses* menyembuhkan dirinya sendiri, dimana dalam jaringan mesh ini jika ada penambahan atau ada node yang hilang, maka secara otomatis jaringan akan terbentuk kembali dan memperbaiki rute yang rusak.



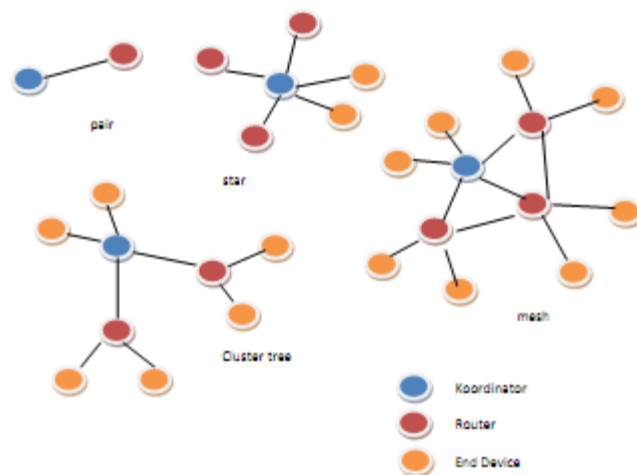
Gbr. 1 Hubungan antara Zigbee dan IEEE 802.15.4 [1]

Setiap jaringan Zigbee sedikitnya mempunyai satu alat sebagai koordinator dan satu perangkat lain sebagai *router* atau perangkat akhir (*end device*). Koordinator bertugas membangun suatu jaringan, mengirimkan sinyal penanda, mengatur titik-titik jaringan, menyimpan informasi titik jaringan, menyampaikan pesan diantara titik yang terhubung.

Koordinator memerlukan memori yang cukup untuk menangani konfigurasi jaringan, data dan *Proses* pengaturan mandiri jaringannya. Koordinator membutuhkan daya lebih besar dari lainnya dan biasanya membutuhkan daya yang terus menerus. Router dapat bergabung dalam jaringan yang ada, meneruskan data dari router lain atau *end device*. Perangkat akhir (*end device*) mengirim data dan bergabung pada jaringan tetapi tidak bisa meneruskan data dari perangkat lainnya, di perangkat akhir fungsi tidur (*sleep*) difungsikan sehingga menghemat energinya.

Zigbee mempunyai 64 bit nomor serial, sehingga Zigbee di dunia tidak mempunyai alamat yang sama. Untuk pengalamatan yang lebih pendek Zigbee menggunakan 16 bit pengalamatan yang secara dinamis dialamatkan ke setiap radio oleh koordinator ketika membangun jaringan, hal ini disebut juga pengalamatan *Personal Area Network (PAN)*. PAN diibaratkan seperti sebuah jalan utama pada sebuah kota dimana ribuan orang tinggal, misal kota Sleman mempunyai jalan Let Jen A Yani, begitu juga kota-kota lainnya. Kita bisa mengatakan mereka terpisah meskipun memiliki jalan yang sama tetapi kotanya berbeda. Begitu juga dengan jaringan Zigbee, membentuk kota virtual, bukan dengan nama tetapi dengan nomor, yaitu pengalamatan PAN. Ada 65.536 alamat PAN tersedia, di mana tiap PAN di bawahnya membentuk 65.536 alamat lainnya.

Protokol Zigbee mendukung beberapa topologi jaringan. Di dalam Zigbee terdapat empat jenis topologi [12], yaitu *pair, star, mesh* dan *cluster tree*, seperti pada Gbr. 2. Jenis *pair* merupakan yang paling sederhana karena hanya membutuhkan dua radio, dimana satu sebagai koordinator sedang yang lain sebagai router atau *end device*. Topologi *star* juga relatif mudah, karena satu koordinator di tengah sedang lainnya mengirim data ke koordinator, hampir sama dengan *pair* tetapi ini memiliki lebih dari satu *router* atau *end device*. Topologi *Mesh* memiliki beberapa *router* dan *end device*, dimana *router* selain mengirim data dari dirinya juga meneruskan data dari *end device*, serta mempunyai kemampuan menyembuhkan rutenya jika terjadi masalah. *Cluster tree* hampir sama dengan *mesh*, tetapi untuk peruteannya tidak sama, *end device* memilih *router* tertentu untuk meneruskan datanya ke koordinator.



Gbr. 2 Topologi jaringan Zigbee

B. Xbee

Xbee merupakan salah satu merek dagang yang mendukung beberapa Protokol komunikasi seperti *Zigbee* dan 802.15.4. *Xbee* merupakan salah satu Produk dari Digi International. *Xbee* memiliki dua versi yaitu seri 1 dan seri 2. Seri 1 hanya mendukung Protokol IEEE 802.15.4 dan komunikasi *point to point* dan *point to multipoint*. Seri 2 melengkapi seri 1 mendukung Protokol yang ditentukan *Zigbee Alliance* dan komunikasi *mesh*. Perbedaan dari *Xbee* dan *Xbee Pro* bisa dilihat dari Tabel II [13]. *Xbee* mempunyai 4 tipe antena yang digunakan pada yaitu *Wire*, *U.FI*, *RPSMA* dan *Chip*.

Xbee mempunyai 7 masukan maupun keluaran yang dapat diatur sebagai *I/O digital* maupun *analog*. Untuk masukan *analog* hanya 4 *pin* yang bisa digunakan. Untuk tegangan masukan tegangan masukan maksimal 1,2 V. Untuk itu diperlukan pembagi tegangan jika masukan dari alat memiliki lebih dari 1,2 V. Di dalam mengatur konfigurasi *Xbee* digunakan aplikasi X-CTU maupun melalui *hyperterminal*, dimana dapat dilakukan melalui perintah *AT command* maupun secara visual yang sudah ada pada menu X-CTU.

TABEL II
PERBEDAAN *XBEE S2* DAN *XBEE PRO S2*

	<i>Xbee S2</i>	<i>Xbee Pro s2</i>
Daya	1 -2 mW	50 -63 mW
Jangkauan <i>indoor</i>	40 m	60-90 m
Jangkauan LOS	120 m	1,5 – 3,2 km
Sensivitas penerima	-96 dBm	-102 dBm
TX peak current	40 mA @3,3 V	170-295 mA
RX current	40 mA @3,3 V	45 mA @3,3 V
Power down current	< 1 uA	3,5 uA

III. PERANCANGAN SISTEM

Pengujian dilakukan di dalam gedung Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JTETI) Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Dalam makalah ini digunakan lima buah *Xbee* Seri 2, yang terdiri dari 3 buah *Xbee Pro* dan 2 buah *Xbee*. Selain itu juga digunakan *Xbee adapter* atau *Xbee shield* dan board Arduino yang digunakan untuk komunikasi serial dengan komputer, perangkat yang digunakan dalam penelitian ada di Tabel III.

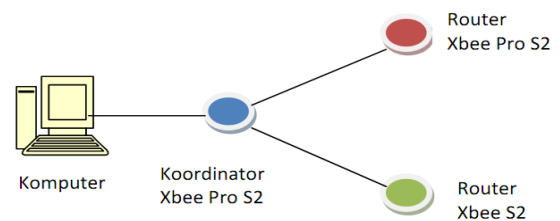
TABEL III
PERALATAN YANG DIGUNAKAN

Nama	Jumlah	Keterangan
<i>Xbee s2</i>	2	Sebagai <i>router</i> dan <i>end device</i>
<i>Xbee Pro S2</i>	3	Sebagai koordinator, <i>router</i> dan <i>end device</i>
<i>Xbee adapter</i>	1	Mengatur <i>Xbee</i>
<i>Xbee Shield</i>	1	Dipasang pada <i>bar arduino</i>
Board <i>arduino</i>	1	Komunikasi serial dengan komputer
Baterai	4	Catu daya 9 Volt
X-CTU		Perangkat lunak untuk mengatur <i>Xbee</i>
<i>Processing</i>		Perangkat lunak untuk pengujian sistem

Langkah pengujian, pertama dilakukan pembuatan alat untuk mengirim data dari *router* atau *end device* ke koordinator. Dalam hal ini dicoba mengirim data suhu yang dihubungkan ke *router* maupun *end device*. Sensor suhu yang digunakan yaitu LM 335. Sensor suhu LM 335 digunakan untuk mengukur suhu dari -40 °C - 100 °C. Dengan keluaran linier +10 mV per derajat Kelvin. *Xbee* maksimal bisa membaca tegangan input sampai 1,2 V maka diperlukan

pembagi tegangan, karena tegangan keluaran dari sensor LM335 2,92-3,04 V. Sehingga diperlukan *R1* 100 kΩ dan *R2* 200 kΩ untuk membuat tegangan keluaran dari LM 335 menjadi 1/3 nya. Sensor suhu dipasang pada *router* maupun *end device*. Koordinator menggunakan *Xbee Pro s2*. Koordinator dipasang pada *Xbee shield* yang terhubung dengan *board arduino* untuk komunikasi serial dengan komputer. Konfigurasi diatas ditunjukkan pada Gbr. 3.

Alur pengujian sebagai berikut. Pertama pembuatan sensor suhu, kemudian pengaturan terhadap *Xbee* dengan perangkat lunak X-CTU. Pengaturan ini untuk menentukan *Xbee* sebagai koordinator, *router* ataupun *end device*. Rangkaian sensor dipasang pada *router* dan *end device*. Kemudian *Xbee* sebagai koordinator dipasang pada komputer untuk menerima data dari *router* maupun *end device*.



Gbr. 3 Konfigurasi pengujian.

Perangkat lunak *Processing* (<http://Processing.org>) digunakan untuk pembuatan aplikasi antarmuka dengan pengguna sehingga mudah dilakukan pemantauan suhu dan komunikasi yang terjadi. Setelah semua terpasang dilakukan pengujian di laboratorium untuk memastikan sistem berjalan dengan baik. Pengujian skala laboratorium tidak memperhitungkan jarak dan waktu gabung ke jaringan mesh. Setelah itu dilakukan pengujian dalam lingkungan *indoor* dengan penempatan di beberapa titik. Titik koordinator berada laboratorium Sistem Elektronis (3M).

Pengujian secara *indoor* dilakukan dengan metode topologi *pair* terlebih dahulu, dimana *router* di bawa ke beberapa titik sampai *router* tidak bisa berkomunikasi dengan koordinator. Kemudian dengan metode *On/Off* *router* di tempatkan pada ruang tertentu kemudian dinyalakan dan dimatikan, kemudian diukur waktu gabung dengan jaringan.

IV. PENGUJIAN DAN HASIL

Pengujian jarak dan waktu gabung ke jaringan *Zigbee* yaitu pertama dilakukan konfigurasi *Xbee* dengan mengatur sebagai koordinator, kemudian *router* dan *end device*. Sensor suhu dipasang pada *router* dan *end device*, seperti pada Gbr. 4 dan koordinator pada pada Gambar 5. Penempatan koordinator, *router* dan *end device* pada denah di Gambar 6. Lokasi gedung di tunjukkan di Gbr. 7.

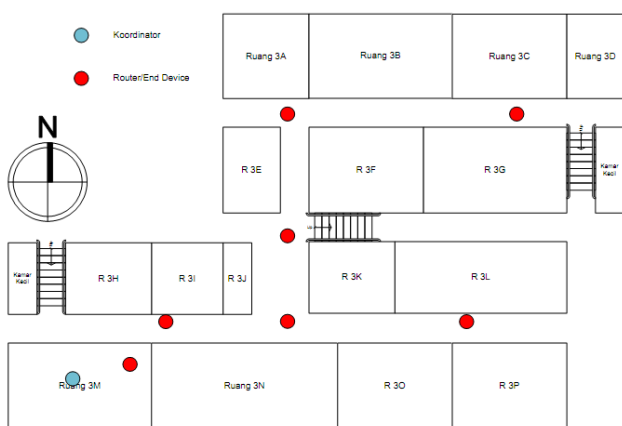


Gbr. 4 Router dan end device



Gbr. 5 Koordinator

Pengujian dilakukan di gedung JTETI Fakultas Teknik UGM. Gedung terdiri dari 3 lantai dengan denah ruang kurang lebih sama, seperti Gambar 6. Gedung dipisahkan oleh beberapa material seperti tembok dari batu bata dan beton, kemudian beberapa dipisahkan juga oleh kayu, kaca dan asbes. Gedung juga dilengkapi dengan *access point* jaringan Wi-Fi di beberapa titik. Penelitian ini tidak memperhitungkan faktor-faktor kondisi gedung. Penempatan koordinator di laboratorium Sistem Elektronis (ruang 3M), router atau *end device* di beberapa titik yang diukur.



Gbr. 6 Lokasi penempatan perangkat Xbee

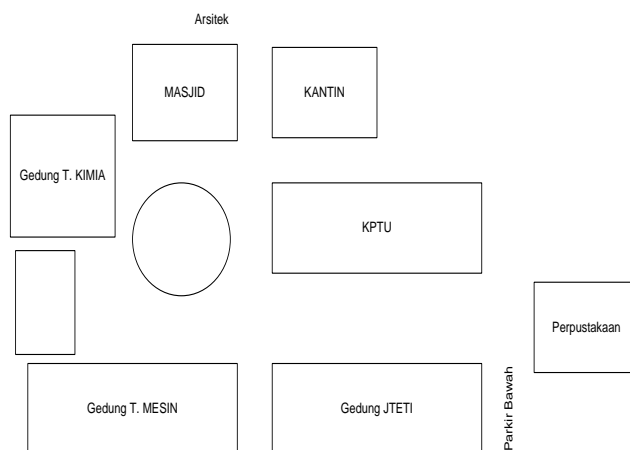
A. Hasil Pengujian dengan metode pairing

Pengujian dengan topologi *pair*, yaitu dengan membuat koordinator dan *router* terlebih dahulu dihubungkan, kemudian router di bawa ke beberapa titik sampai sinyal tidak terdeteksi lagi. Pengujian juga dilakukan sampai keluar gedung JTETI. Tabel IV, menunjukkan hasil pengujian ini. Hasil menunjukkan untuk *Xbee Pro* terdeteksi di semua ruang, sedang *Xbee* hanya ada di beberapa ruang dekat koordinator berada dengan indikasi sinyal hilang, dan beberapa titik di

luar ruang yang memiliki faktor penghalang sedikit seperti di ruas jalan antara Jurusan Teknik Elektro dan mesin. Jarak terjauh *Xbee Pro* mencapai masjid teknik lebih kurang 65 meter.

TABEL IV
HASIL PENGUJIAN DENGAN METODE PAIRING

Lantai	Ruang	Sinyal Xbee	Sinyal Xbee Pro
III	Lorong seanjang R3M-R3P	Ada	Ada
	Ruang 3A	Hilang	Ada
	Ruang 3D	Hilang	Ada
II	Ruang 2G	Hilang	Ada
	Ruang 2A	Hilang	Ada
	Ruang 2K	Hilang	Ada
	Ruang 2L	Hilang	Ada
	Ruang 2N	Ada	Ada
	Ruang 2M	Ada	Ada
I	Ruang 1N	Hilang	Ada
	Ruang 1L	Hilang	Ada
	Ruang 1P	Hilang	Ada
	Ruang 1K	Hilang	Ada
Luar	parkir bawah	Hilang	Ada
	Jalan JTETI dan Mesin	Ada	Ada
	Lobi T Mesin	Ada	Ada
	Parkiran Kimia	Ada	Ada
	Gedung Kimia	Hilang	Hilang
	Lobi Kimia	Hilang	Ada
	BNI KPTU	Ada	Ada
	KPTU lt 2	Hilang	Hilang
	KPTU lt 3	Hilang	Hilang
	Parkiran kantin	Hilang	Ada
	Kasir Kantin	Hilang	Ada
Masjid Teknik	Hilang	Ada	
Depan Arsitektur	Hilang	Hilang	



Gbr. 7 Lokasi gedung JTETI

B. Pengujian secara ON/OFF

Pengujian *On/Off* digunakan untuk menguji berapa lama *router* atau *end device* bergabung kembali dalam suatu jaringan. Pengujian ini hampir sama dengan pengujian pertama tetapi dilakukan dengan menyalakan dan mematikan router di beberapa tempat, hasil pengujian dapat dilihat di Tabel V. Waktu yang digunakan dalam tabel adalah detik.

Pengujian dengan metode *On/Off* diberi batasan sampai 5 menit untuk tiap perangkat *Xbee* dalam sekali pengujian.

Hasil pengujian menunjukkan hasil yang berbeda dengan pengujian yang pertama, dimana dengan melakukan pair terlebih dahulu maka akan didapat jangkauan jarak yang jauh daripada dengan metode *On/Off*. Dengan metode *On/Off* ini jaringan *Zigbee* hanya mencapai 2 ruang di lantai 3, dan satu ruang di lantai 2. Sedang *Xbee Pro* hampir bisa menjangkau semua ruang di lantai 3, dan beberapa ruang di lantai 2. Sedang pada lantai 1 tidak ada *Xbee* yang bisa bergabung ke jaringan. Waktu bergabung menunjukkan berbeda dan tidak linier, karena ada ruang yang dekat dengan koordinator membutuhkan waktu lebih lama, tetapi ada yang ruang yang jauh dari koordinator membutuhkan waktu lebih cepat.

TABEL V
HASIL PENGUJIAN DENGAN *ON/OFF*

Lantai	Nama Ruang	<i>Xbee</i> (dtk)	<i>Xbee Pro</i> (dtk)	
III	Pintu Ruang 3M	9	11	
	Depan R 3I	11,5	10,5	
	Depan R 3O	-	5	
	Depan R 3P	-	5,5	
	Depan R 3K	-	1 M, 15 dtk	
	Depan R 3A	-	30,5	
	Depan R 3G	-	-	
	II	Depan R 2G	-	-
II	Depan R 2A	-	-	
	Depan R 2K	-	-	
	Depan R 2L	-	12,5	
	Depan R 2G	-	-	
	Depan R 2N	1 M, 2 dtk	16	
	I	Depan R 1N	-	-
		Depan R 1G	-	-
		Depan R 1L	-	-
Depan R 1K		-	-	
Depan R 1A		-	-	
Depan R 1C	-	-		

V. KESIMPULAN

Hasil pengujian perangkat *Xbee* didapat hasil bahwa perangkat *Xbee* mampu mencapai jangkauan yang jauh jika dilakukan mode *pairing* terlebih dahulu, dapat menjangkau hingga luar gedung sampai masjid teknik dengan jarak lebih kurang 65 meter, hal ini karena jaringan sudah terbentuk dan tidak memerlukan pencarian jaringan lagi. Sedang dengan

metode *On/Off* membutuhkan waktu untuk mencari jaringan yang ada dari kondisi ketika *Xbee* menyala atau terbangun. Paling lama waktu yang diperlukan dengan metode *On/Off* untuk *Xbee* 1 menit 2 detik sedang *Xbee Pro* 1 menit 15 detik. Metode *On/Off* ini memiliki jangkauan yang terbatas daripada dengan metode *pairing*. Faktor jarak tidak mempengaruhi berapa lama perangkat *Xbee* bergabung ke suatu jaringan di lingkungan *indoor* ini. Untuk penelitian lebih jauh perlu diperhitungkan faktor material gedung yang mempengaruhi kekuatan sinyal *Xbee*.

REFERENSI

- [1] I.F. Akyildiz, W. Su*, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, "Wireless sensor networks: a survey", *Computer Networks* 38 ,pp. 393–422 ,2002.
- [2] Gutierrez J. A., M. Naeve, E. Callaway, M. Bourgeois, V.Mitter and B. Heile, "IEEE 802.15.4: A Developing Standard for Low-Power, Low-Cost Wireless Personal Area Networks," *IEEE Network*, Vol. 15, No. 5, pp. 12–19, Sept./Oct. 2001.
- [3] (2012) *Zigbee* website [online]. Available : <http://www.zigbee.org/About/AboutAlliance/TheAlliance.aspx>
- [4] Panchard, Jacques, "WIRELESS SENSOR NETWORKS FOR MARGINAL FARMING IN INDIA", thesis, ECOLE POLYTECHNIQUE F ´ ED ´ ERALE DE LAUSANNE, 2008
- [5] Kavi K. Khedo, Rajiv Perseedoss, Avinash Mungur, "A Wireless Sensor Network Air Pollution Monitoring System", *International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN)*, Vol 2 No2, May 2010.
- [6] Gutierrez, J.A .. "On The Use Of IEEE 802.15.4 TO Enable Wireless Sensor Networks in Building Automation.", *International Journal of Wireless Information Networks* Volume 14, Number 4, 2007.
- [7] S. Dagtas et al., "Multi-stage Real Time Health Monitoring via *Zigbee* in Smart Homes," *Proceedings of IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Application Workshop (AINAW)*, pp. 782-786, 2007.
- [8] V. Mayalarp, N. Limpaswadpaisarn, T. Poombansao, and S. Kittipiyakul, "Wireless mesh networking with *Xbee*," In the Second Conference on Application Research and Development (ECTI-CARD 2010), Chon Buri, Thailand, May 2010 .
- [9] IEEE 802.15.4 : Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification dor Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs), Sept 2006.
- [10] Stanislav Safaric, Kresimir Malaric, "*Zigbee* wireless standard", 48th International Symposium ELMAR-2006, 07-09 June 2006.
- [11] F.Shahin, "*Zigbee* Wireless Networks and Transceiver," Newnes, New York, 2008.
- [12] F. Robert , "Building Wireless Sensor Networks" O`reilly, California 2010.
- [13] "*Xbee/Xbee Pro* ZB RF Modules Datassheet ," Digi International Inc, March 2012.