

PENGUJIAN PROTOKOL IEEE 802.15.4 / ZIGBEE DI LINGKUNGAN *OUTDOOR*

Koko Joni¹⁾, Risanuri Hidayat²⁾, Sujoko Sumaryono³⁾

^{1,2,3)}Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta
Jl. Grafika 2 Bulak Sumur 55281 Yogyakarta Telp (0274)-5555
e-mail : kojoex@yahoo.com

Abstrak

Protokol IEEE 802.15.4 ZigBee merupakan standar untuk jaringan terbatas dengan konsumsi daya yang rendah. Paper ini membahas perangkat router, end device dan koordinator dengan protokol IEEE 802.15.4/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 dari pengujian bisa digunakan acuan untuk merancang jaringan mesh dengan perangkat Xbee dalam hal jarak dan waktu untuk berbagai keperluan. Hasil pengujian menunjukkan dengan metode pairing dapat menjangkau jarak yang jauh sesuai spesifikasi teknis Xbee sedang dengan metode On/Off pencapaian tidak sejauh metode pairing dan memerlukan waktu dalam proses bergabung ke jaringan mesh.

Kata Kunci : IEEE 802.15.4, ZigBee, Outdoor, Jaringan Mesh

1. PENDAHULUAN

Teknologi komunikasi mengalami perkembangan yang sangat maju dalam beberapa tahun terakhir ini. Beberapa standar di buat untuk memenuhi berbagai keperluan dalam penggunaannya. Salah satu yang protokol yang banyak digunakan sekarang yaitu dari keluarga IEEE 802.15 yang membahas tentang jaringan terbatas (*personal network*) dan salah satunya protokol IEEE 802.15.4. Protokol IEEE 802.15.4 merupakan standar protokol komunikasi untuk jaringan terbatas, kecepatan rendah dan konsumsi daya sedikit (*low-rate wireless personal area network -LR-WPAN*) (Gutierrez, 2001). Salah satu yang menggunakan protokol ini adalah teknologi jaringan sensor nirkabel (*wireless sensor network - WSN*). Protokol IEEE 802.15.4 ini membuat teknologi sensor nirkabel mengalami perkembangan yang pesat, baik dari segi teknologi elektromekanik, sensor hingga komunikasinya (Akyildiz, 2002). ZigBee merupakan protokol komunikasi hasil pengembangan lanjut dari standar IEEE 802.15.4. ZigBee seperti juga Wi-Fi dibentuk dari aliansi beberapa perusahaan yang mengembangkan *low-rate wireless personal area network* untuk melakukan standarisasi perangkat yang dibuat agar bisa saling berkomunikasi satu dengan yang lain dengan standar yang sama yaitu ZigBee (ZigBee, 2012). Makalah ini menyajikan tentang pengujian kehandalan komunikasi terpadu jaringan sensor nirkabel dengan protokol IEEE 802.15.4/ZigBee. Pengujian ini dilakukan di lingkungan *outdoor*. Dengan menggunakan sensor suhu untuk data yang dikirim, dilakukan uji kehandalan dari jaringan sensor ini. Pengujian kehandalan ini meliputi berapa jauh jarak yang bisa ditempuh dari perangkat ZigBee dan berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk bergabung dalam suatu jaringan sensor nirkabel ini. Topologi yang digunakan dalam pengujian ini yaitu *peer to peer (pair)* dan mesh.

Tujuan dari pengujian ini untuk mengukur jarak jangkauan dan waktu yang diperlukan untuk bergabung dalam jaringan ZigBee menggunakan metode pairing dan on/off. Metode *pairing* dan *On/Off* merupakan model komunikasi dari *router* atau *end device* ke koordinator. Hasil dari pengujian ini bermanfaat untuk merancang jaringan sensor nirkabel yang diterapkan dalam lingkungan *outdoor*, seperti pemantauan cuaca, peringatan dini terhadap bencana maupun keperluan lain yang memanfaatkan teknologi jaringan sensor nirkabel.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Penggunaan jaringan sensor nirkabel banyak diterapkan dalam banyak bidang. Berbagai penelitian telah dilakukan seperti dalam bidang pertanian (Panchard, 2008), pengamatan lingkungan (Kavi, 2010), otomatisasi gedung (Gutierrez, 2007), kesehatan (Dagtas, 2007) dan bidang-bidang lainnya. Dari berbagai penerapan tersebut belum dibahas tentang jarak maksimal yang bisa di jangkau oleh alat yang menggunakan standar IEEE 802.15.4/ZigBee maupun lama waktu yang diperlukan bergabungnya perangkat router atau end device ke jaringan ZigBee.

Penelitian J. Sun dalam makalah "Research on Routing Protocols Based on ZigBee Network" (Jing Sun, 2007), menjelaskan tentang topologi jaringan ZigBee seperti *star*, *mesh* dan *cluster tree* dan juga menjelaskan tentang routing protokol ZigBee seperti AODV, AODVjr, *Cluster Tree* dan algoritma routing terpadu. Jaringan mesh menggunakan routing terpadu yang dikombinasikan dengan AODV dan *Hierarchical/Tree routing*. Jaringan *tree* menggunakan mekanisme *Hierarchical/Tree routing*. Analisa protokol fokus pada beberapa isu seperti

mekanisme routing, biaya dan perawatan, dan lain-lain. Makalah ini hanya membahas berbagai mekanisme algoritma dalam ZigBee sehingga bisa digunakan untuk berbagai keperluan.

Hasil penelitian dari V. Mayalarp, dalam makalah "Wireless mesh networking with XBee," (Mayalarp, 2010), yaitu menguji kekuatan sinyal (*received signal strength -RSSI*) dari perangkat Xbee dengan jaringan mesh baik secara *line of sight (LOS)* dan *Non LOS* serta di area parkir. Selain itu juga di ukur mengenai waktu tunda dari *router/end device* ke koordinator. Dengan menggunakan beberapa perangkat Xbee dan komunikasi secara *point to point* dan *multihop* atau mesh. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kekuatan sinyal semakin menurun jika jaraknya semakin jauh baik secara LOS dan Non-LOS. Komunikasi multihop menunjukkan semakin sedikit hop yang ada maka waktu tunda semakin cepat.

Menurut Boonsawat, V. dalam makalah "Xbee Wireless Sensor Networks for Temperature Monitoring" (Boonsawat, 2010), menjelaskan tentang penerapan jaringan sensor nirkabel Xbee untuk pengamatan suhu. Pengamatan suhu ini dilakukan di ruangan untuk mengatur sistem pendingin ruangan di kampus SIIT. Penelitian ini digunakan untuk penghematan energi. Sensor dipasang pada tiap kelas, dimana terdiri dari mikrokontroler dan Xbee yang menggunakan protokol IEEE 802.15.4/ZigBee. Sensor membaca suhu ruangan kemudian di kirim ke koordinator, hasil dari pembacaan sensor dapat diamati melalui web browser. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa jarak tidak mempengaruhi waktu gabung ke jaringan.

2.1 Dasar Teori

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)* (IEEE 802.15.4, 2006). 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 (Stanislav, 2006). 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. Sedangkan untuk lapisan di atasnya (*data link, network, dan application interface*) ditentukan oleh ZigBee Alliance. Hubungan antara IEEE 802.15.4 dan ZigBee dapat dilihat pada gambar 1 (Farahani, 2008).

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 (Faludi, 2008):

1) *Routing*

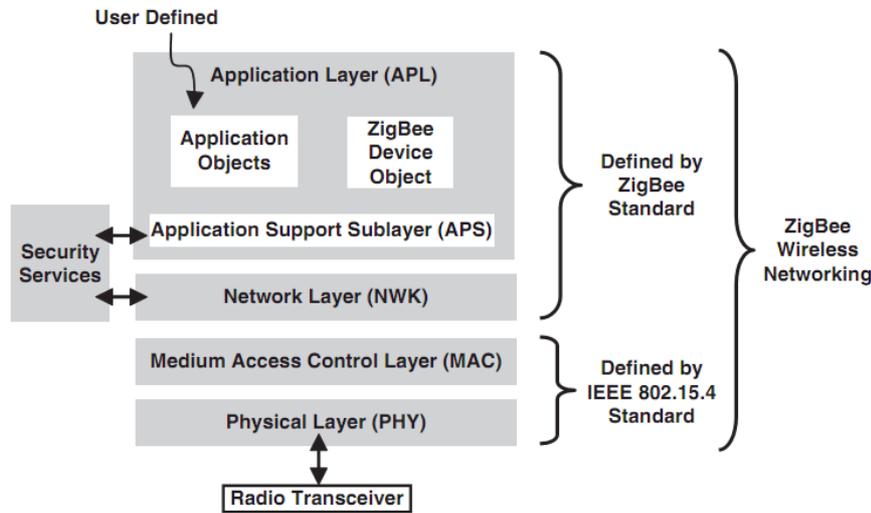
Tabel routing mendefinisikan bagaimana sebuah radio dapat menyampaikan pesannya melalui serangkain radio lain menuju ke tujuan lakhirnya.

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.

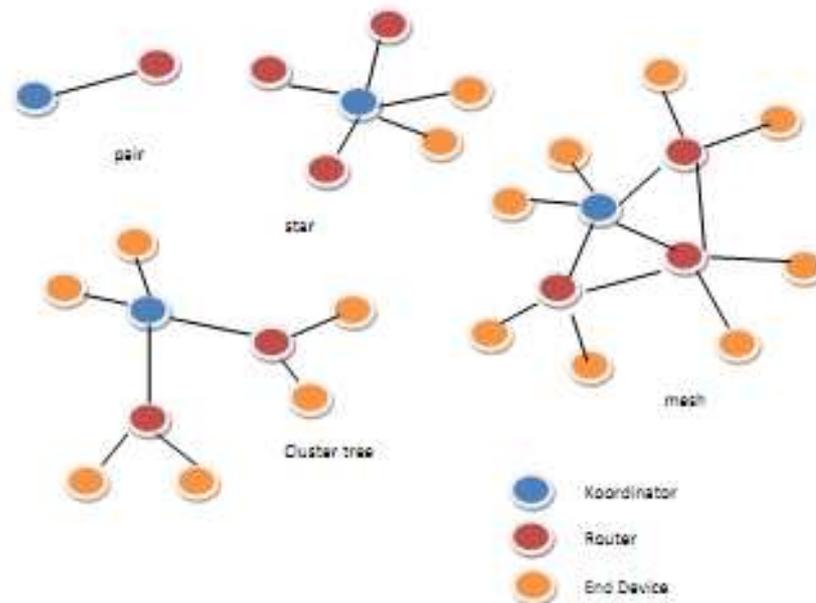


Gambar 1. Hubungan antara ZigBee dan IEEE 802.15.4

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 terdapat fungsi tidur (*sleep*) dapat 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, dimana tiap PAN dibawahnya membentuk 65.536 alamat lainnya.

Protokol ZigBee mendukung beberapa topologi jaringan. Di dalam ZigBee terdapat empat jenis topologi (Faludi, 2008), yaitu pair, star, mesh dan cluster tree, seperti pada gambar 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.



Gambar 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 (Xbee, 2011). 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 Volt. 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

	Xbee S2	Xbee Pro s2
Daya	1 -2 mW	50 -63 mW
Jangkauan indoor	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

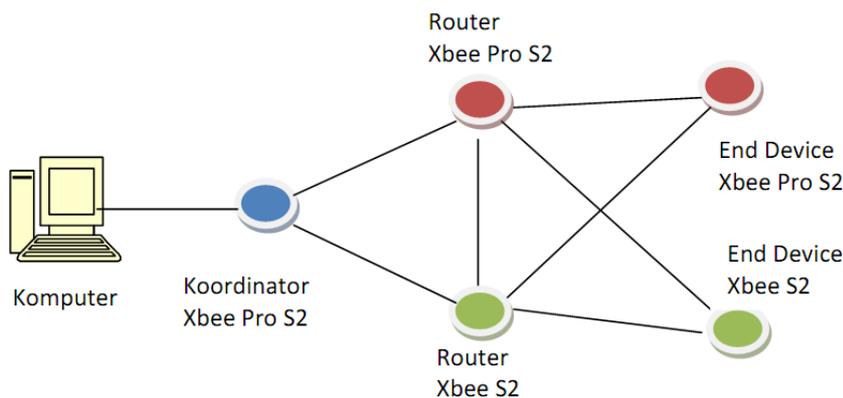
3. METODE PENELITIAN

Pengujian dilakukan di area yang mempunyai LOS sekitar lebih kurang 1,7 km. Pengujian 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	Keterangan
Xbee s2	Sebagai router dan end device
Xbee Pro S2	Sebagai koordinator, router dan end device
Xbee adapater	Mengatur Xbee
Xbee Shield	Dipasang pada bar arduino
Board arduino	Komunikasi serial dengan komputer
Baterai	Catu daya 9 Volt
X-CTU	Perangkat lunak untuk mengatur Xbee
Processing	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 $+10\text{ mV per derajat Kelvin}$. Xbee maksimal bisa membaca tegangan input sampe 1, 2 V maka diperlukan pembagi tegangan, karena tegangan keluaran dari sensor LM335 2,92-3,04 V. Sehingga diperlukan R1 100 k Ω dan R2 200 k Ω untuk membuat tegangan keluaran dari LM 335 menjadi 1/3 nya. Sensor suhu dipasang pada router maupaun *end device*. Koordinator menggunakan Xbee Pro s2. Koordinator dipasang pada Xbee shield yang terhubung dengan board arduino untuk komunikasi serial dengan komputer. Konfigurasi jaringan di tunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Konfigurasi jaringan.

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 di pasang pada komputer untuk menerima data dari router maupun *end device*.. Perangkat lunak Processing digunakan untuk pembuatan aplikasi antar muka 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.

Pengujian secara *outdoor* dilakukan dengan metode topologi *pair* terlebih dahulu, dimana koordinator dan router disambungkan terlebih dahulu, kemudian router di bawa ke beberapa titik sampai router tidak bisa berkomunikasi dengan koordinator. Kemudian dengan metode On/Off router dan *end device* di tempatkan pada titik tertentu kemudian dinyalakan dan dimatikan, kemudian di ukur waktu gabung dengan jaringan. Pengujian berikutnya yaitu di lakukan di daerah padat penduduk.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian jarak dan waktu gabung ke jaringan ZigBee terlebih dahulu dilakukan konfigurasi Xbee. Pertama dengan mengatur Xbee sebagai koordinator, kedua mengatur dua buah xbee sebagai router dan yang terakhir

mengatur dua buah Xbee sebagai *end device*. Sensor suhu dipasang pada router dan *end device*. Gambar 5 menunjukkan Xbee sebagai koordinator dan router/*end device*.



Gambar 5. Koordinator dan *router/end device*

Pengujian pertama yaitu dengan menggunakan metode *pairing*, jarak yang bisa di capai dengan metode ini mencapai 1,7 Km. Pengujian kedua dengan metode On/Off, router di tempatkan di beberapa titik kemudian di nyalakan dimatikan lalu di hitung waktu tersambungnya router ke jaringan. Pengujian ini di lakukan di depan gedung Graha Shaba UGM. Hasil pengujian di tunjukan pada tabel tabel IV, jarak diukur dalam meter dan waktu gabung di ukur dalam detik. Percobaan dilakukan 4 kali. Hasil menunjukkan bahwa jarak tidak mempengaruhi waktu gabung suatu perangkat Xbee ke jaringan. Jarak yang lebih pendek tidak membuat waktu gabung ke suatu jaringan jadi lebih cepat begitu juga jika jarak lebih jauh juga tidak membuat waktu gabung ke jaringan menjadi lebih lama.

Tabel IV Hasil Pengujian dengan Metode On/Off Router

Jarak	Xbee (detik)					Pro (detik)				
	I	II	III	IV	rata-rata	I	II	III	IV	Rata-rata
14,5	8	6	9	10	8,25	6	5	5	4	5
29	8	7	9	7	7,75	4	4	5	4	4,25
43,5	8	7	9	7	7,75	6	4	13	4	6,75
58	10	9	9	10	9,5	4	4	5	7	5
72,5	9	13	18	-	10	7	4	6	5	5,5
87	-	-	14	-	14	4	5	5	8	5,5
101,5	-	-	-	-	0	7	4	6	5	5,5
116	-	-	12	-	12	60,16	5	5	5	18,79
130,5	-	-	-	-	0	4	5	5	10	6
145			14		14	6	6	6	12	7,5
159,5					0	16	4	5	6	7,75
174					0	4	5	6	5	5
188,5					0	4	6	7	12	7,25
203					0	4	5	27	5	10,25
217,5					0	34	4	4	19	15,25
232					0	42	23	10	5	20
246,5					0	4	-	4	8	6

Pengujian ke tiga yaitu dengan menempatkan router Xbee di titik 43 m dari router, kemudian *end device* Xbee dan Pro di tempatkan di beberapa titik dan di hitung waktu gabung ke jaringan. Hasil dari pengujian ini ditampilkan pada tabel V. Hasil pengujian ini juga tidak menunjukkan hubungan antara jarak dan waktu gabung ke jaringan.

Tabel V Hasil Pengujian Router dan End Device

Jarak Meter	Xbee (OE)(detik)			Xbee Pro (87)(detik)		
	I	II	Rata-rata	I	II	rata-rata
14,5	33	45	39	30	26	28
29	40	27	33,5	28	26	27
43,5	42	28	35	28	25	26,5
58	30	21	25,5	38	27	32,5
72,5	35	30	32,5	33	25	29
87	29	31	30	26	26	26
101,5	-	-	-	29	24	26,5
116	-	-	-	42	26	34
130,5	-	-	-	25	30	27,5
145	-	-	-	16	26	21
159,5	-	-	-	53	27	40
174	-	-	-	38	50	44
188,5	-	-	-	21	10	15,5
203	-	-	-	43	11	27
217,5	-	-	-	21	12	16,5
232	-	-	-	25	29	27
246,5	-	-	-	27	30	28,5



Gambar 6. Lokasi penempatan Xbee pada daerah padat penduduk

Pengujian yang terakhir yaitu di daerah padat penduduk. Pengujian dilakukan di jalan Kaliurang Km 5,6 gang pandega mandala, Yogyakarta. Lokasi koordinator dan router dapat di lihat pada gambar 6. Tanda lingkaran menandakan koordinator sedang router di tandakan dengan segiempat dan *end device* ditandai dengan segitiga. Koordinator di kelilingi oleh rumah-rumah sehingga menjadi faktor penghalang sinyal Xbee. Pada daerah urban hanya terbatas yang bisa dijangkau oleh Xbee. Tanda bintang penempatan router dimana di daerah tersebut sudah tidak bisa dijangkau oleh Xbee. Pengujian di daerah padat penduduk menggunakan Xbee Pro karena dengan Xbee tidak bisa dijangkau setelah di tempatkan pada titik-titik yang telah di tentukan.

Hasil uji menunjukkan jangkauan router hanya bisa menjangkau titik tertentu yang mempunyai halangan paling sedikit. Titik yang terjangkau kemudian ditempati router kemudian *end device* di ukur pada titik tertentu, dan yang terukur seperti ditunjukkan tanda segitiga.

5. KESIMPULAN

Hasil pengujian protokol IEEE 802.15.4/ZigBee menunjukkan jarak tidak berpengaruh pada kecepatan gabung suatu perangkat Xbee ke jaringan yang dibentuk oleh koordinator. Jarak jangkauan Xbee tidak sesuai dengan spesifikasi teknis yang disebutkan dalam datasheet. Pada daerah padat penduduk yang terdiri dari banyak bangunan membuat Xbee menjadi tidak optimal karena terhalang oleh bangunan. Penelitian lebih lanjut perlu diteliti tentang pengaruh luar yang menyebabkan jarak dan waktu sambung ke jaringan ZigBee, seperti pengaruh frekuensi atau sinyal lain, faktor bangunan, pohon atau material lain yang mempengaruhi propagasi sinyal Xbee.

DAFTAR PUSTAKA

- Akyildiz , F., W. Su*, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, 2002 , *Wireless sensor networks: a survey*, 38, Computer Networks, pp. 393–422.
- Boonsawat, V. , J. Ekchamanonta, K. Bumrunghet, and S. Kittipiyakul, 2010, *XBee wireless sensor networks for temperature monitoring*, Second Conference on Application Research and Development (ECTI-CARD), Thailand.
- Dagtas, S., 2007, *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.
- Faludi, Robert, 2010 , *Building Wireless Sensor Networks* , 1st edition, O'reilly, California.
- Farahani, S, 2008, *ZigBee Wireless Networks and Transceiver*, Newnes, Burlington, hal 5..
- Gutierrez J. A., M. Naeve, E. Callaway, M. Bourgeois, V.Mitter and B. Heile, 2001, *IEEE 802.15.4: A Developing Standard for Low-Power, Low-Cost Wireless Personal Area Networks*, Vol. 15, No. 5, IEEE Network, pp. 12–19.
- Gutierrez, J.A, 2007, *On The Use Of IEEE 802.15.4 TO Enable Wireless Sensor Networks in Building Automation*, Volume 14, Number 4, International Journal of Wireless Information Networks.
- IEEE 802.15.4 , 2006 , *Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)*.
- Jing Sun, Zhongxiao Wang, Hong Wang, Xiaofen Zhang, 2007 , *Research on Routing Protocols Based on ZigBee Network* , Third International Conference on International Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIH-MSP).
- Kavi, K. Khedo, Rajiv Perseedoss, Avinash Mungur, 2010, *A Wireless Sensor Network Air Pollution Monitoring System*, Vol 2 No2, International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN).
- Mayalarp, V., N. Limpaswadpaisarn, T. Poombansao, and S. Kittipiyakul, 2010, *Wireless mesh networking with XBee*, Second Conference on Application Research and Development (ECTI-CARD 2010), Thailand.
- Panchard, Jacques, 2008, *WIRELESS SENSOR NETWORKS FOR MARGINAL FARMING IN INDIA*, thesis, ECOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE.
- Stanislav Safaric, Kresimir Malaric, 2006, *ZigBee wireless standard*, 48th International Symposium ELMAR.
- Xbee/Xbee Pro Datasheet ZB RF Module, 2012.
- ZigBee Alliance,2012, pada <http://www.zigbee.org/About/AboutAlliance/TheAlliance.aspx>