Jurnal Rekayasa Elektrika Vol. 16, No. 2, Agustus 2020, hal. 120-126
ISSN. 1412-4785; e-ISSN. 2252-620X, Terakreditasi RISTEKDIKTI No. 36b/E/KPT/2016
DOI: 10.17529/jre.v16i2.15750

Pengukuran RSSI Jaringan Sensor Nirkabel Berbasis ZigBee pada Berbagai Topologi

Helmy Fitriawan, Roviq Cholifatul Rohman, Herlinawati, dan Sri Purwiyanti
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung
Jl. Sumantri Brojonegoro No. 1, Bandar Lampung, 35145
e-mail: helmy.fitriawan@eng.unila.ac.id

***Abstrak*—Untuk mendapatkan sebuah kinerja yang baik dari suatu jaringan sensor nirkabel maka perlu dilakukan pengukuran parameter jaringan. RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) merupakan salah satu parameter jaringan yang menyatakan kuat sinyal yang diterima suatu perangkat radio pada modul komunikasi. Pada penelitian ini dilakukan eksperimen pengukuran RSSI pada jaringan sensor nirkabel dengan protokol ZigBee. Pengukuran dilakukan dengan berbagai topologi yaitu *point-to-point*, *star*, dan *mesh* baik di dalam (*indoor*) dan luar ruangan (*outdoor*). Kondisi pengukuran di dalam ruangan dilakukan di dalam laboratorium dengan partisi dinding beton, sementara pengukuran di luar ruangan dilakukan di lapangan terbuka dengan kondisi *line-of-sight* (LOS). Perangkat lunak XCTU digunakan untuk mengukur parameter RSSI, dengan cara melakukan pengiriman 100 paket data berukuran 64-byte dengan interval pengiriman 1 detik. Hasil penelitian memperlihatkan semakin jauh jarak pengiriman data maka nilai RSSI relatif akan menurun dikarenakan adanya hambatan dan berkurangnya kekuatan sinyal radio. Kemudian nilai RSSI pada topologi mesh sedikit lebih besar dibanding pada dua topologi lainnya, disebabkan adanya *router* yang memperkuat sinyal terkirim.**

Kata kunci: ***rssi, zigbee, jaringan sensor nirkabel, xbee***

***Abstract*— In order to get a good performance from a wireless sensor network, it is necessary to measure parameters of the network. RSSI (Received Signal Strength Indicator) is one of the network parameters that measure the signal strength received by a radio receiver in communication module. In this study the RSSI measurement experiment was performed in a wireless sensor network with the ZigBee protocol. Measurements were accomplished in three topologies, i.e. point-to-point, star, and mesh, both indoor and outdoor scenarios. Indoor measurements are carried out within the laboratory with concrete wall partition, while outdoor measurements are carried out in open space with the line-of-sight (LOS) conditions. XCTU software is used to measure RSSI measurements, by sending 100 data packets of 64 bytes with 1 second delivery intervals. Results show that the farther the data transmission distance, the RSSI value relatively decrease due to obstacles and reduced radio signal strength. While, in the mesh topology the addition of a router will also cause a slightly increase in the RSSI value.**

Keywords: ***rssi, zigbee, wireless sensor network, xbee***

Copyright © 2020 Jurnal Rekayasa Elektrika. All right reserved

I. Pendahuluan

Perkembangan terkini teknologi komunikasi nirkabel dan elektronika mendorong pengembangan aplikasi mikro dan nanosensor pada jaringan komunikasi nirkabel. Sejumlah sensor berukuran kecil yang dapat berkomunikasi secara nirkabel yang disebut dengan Jaringan Sensor Nirkabel (JSN) dapat digunakan untuk memantau lingkungan pada area yang luas [1]. JSN merupakan jaringan multihop yang bersifat *adhoc* dan dapat mengatur sendiri (*self-configured*) [2]. JSN dapat dirancang sedemikian rupa untuk bekerja secara otonom membaca parameter lingkungan seperti suhu, kelembaban, cahaya, tekanan, suara, dan sebagainya. Sehingga JSN dapat dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi mulai dari rumah tangga [3], infrastruktur bangunan [4], industri [5], pertanian [6], kesehatan [7], lingkungan [1] sampai dengan militer [8]. Nodal sensor pada JSN membaca dan mengumpulkan data untuk kemudian dikirimkan ke nodal pengumpul (nodal koordinator) melalui kanal komunikasi nirkabel.

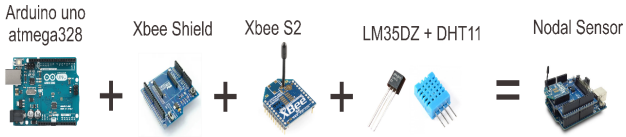
JSN membutuhkan konsumsi energi yang rendah, sehingga protokol IEEE 802.11 [9] pada jaringan LAN nirkabel (*wifi*) yang digunakan untuk perangkat dengan konsumsi daya tinggi tidak sesuai untuk implementasi JSN. IEEE 802.15.4 [10] merupakan standar yang ditujukan untuk bekerja pada jaringan WPAN (*wireless personal area networks*) dengan kecepatan rendah. Standar ini menjelaskan spesifikasi lapisan fisik (*physical layer*/PHY) dan kendali akses media (*medium access control*/MAC) untuk jaringan WPAN. Standar ini merupakan dasar bagi lapisan PHY dan MAC di ZigBee yang kemudian ditambahkan oleh ZigBee pada lapisan atas yang tidak didefinisikan di IEEE.802.15 [11], [12]. ZigBee bekerja

Received 04 February 2020; Revised 28 April 2020; Accepted 05 May 2020

pada pita frekuensi 2,4 GHz dengan kecepatan data 250 Kbps. ZigBee mempunyai karakteristik konsumsi daya rendah, implementasi jaringan mudah dan sederhana, biaya instalasi murah, serta transmisi data yang andal. Teknologi ini juga mendukung kemampuan komunikasi multihop sehingga sangat ideal untuk kebutuhan JSN yang dikembangkan pada cakupan wilayah yang luas.

Teknologi ZigBee banyak diterapkan pada JSN di dalam dan luar ruangan seperti pada bidang transportasi, pemantauan gas, otomasi sistem penerangan, pemantauan kualitas air, dan pemantauan cuaca [13]-[17]. Tetapi aplikasi ZigBee sangat banyak dipengaruhi oleh karakteristik kuat sinyal terutama di luar ruangan yang tergantung dengan kondisi lingkungan tempat jaringan tersebut diimplementasikan [18]. RSSI (*Received Strength Signal Indicator*) merupakan parameter yang menunjukkan seberapa kuat sinyal yang diterima suatu penerima sinyal pada suatu titik tertentu. Oleh karena itu, RSSI dengan parameter kualitas jaringan lainnya seperti *signal-to-noise ratio* (SNR), *delay*, *throughput*, *packet loss*, dan *network efficiency* diperlukan dalam melakukan perencanaan dan optimasi jaringan sensor nirkabel [19]. Penelitian yang terkait dengan pengukuran parameter RSSI pada JSN dapat ditemukan disini [20]. Parameter RSSI dan waktu pengiriman pada JSN berbasis ZigBee diukur dan dianalisis pada berbagai kondisi lingkungan. Sementara pada penelitian [21] dan [22] kuat sinyal RSSI digunakan untuk identifikasi lokasi di dalam ruangan yang akan digunakan untuk penyediaan berbagai layanan dan pengendalian berbasis lokasi. Sementara pengukuran dan analisis kinerja protokol ZigBee modul komunikasi XBee Seri 2 [23] dan Xbee Pro S2 [24] dilakukan di dalam dan luar ruangan tapi masih dengan skenario topologi terbatas.

Dengan latar belakang yang telah dijelaskan, maka pada penelitian ini dilakukan pengukuran dan analisis RSSI (*Received Strength Signal Indicator*) yang merupakan salah satu parameter penting pada suatu jaringan komunikasi. Eksperimen pengukuran dilakukan pada berbagai topologi jaringan yaitu topologi *point-to-point*, *star*, serta *mesh* dengan skenario di dalam ruangan (*indoor*) dan luar ruangan (*outdoor*). Data yang dikumpulkan pada eksperimen ini digunakan sebagai studi kasus dalam menentukan kinerja suatu jaringan JSN. Hasil penelitian memberikan gambaran kinerja protokol ZigBee yang nantinya diimplementasikan sebagai jaringan nirkabel baik yang terpasang di dalam ataupun luar ruangan. Pada penelitian ini, eksperimen pengukuran dilakukan pada prototipe jaringan yang telah dikembangkan sebelumnya [25]. Pada penelitian tersebut telah dilakukan pengembangan prototipe JSN yang digunakan untuk mengukur suhu dan kelembaban. Nodal sensor yang dikembangkan pada JSN tersebut diimplementasikan menggunakan Arduino Uno, XBee Shield, XBee S2C, serta sensor LM35DZ dan DHT11. Pada prototipe tersebut juga telah dilakukan eksperimen pengukuran parameter kualitas jaringan berupa parameter *delay*, *throughput* dan *packet loss* [26].



Gambar 1. Platform perangkat keras nodal sensor

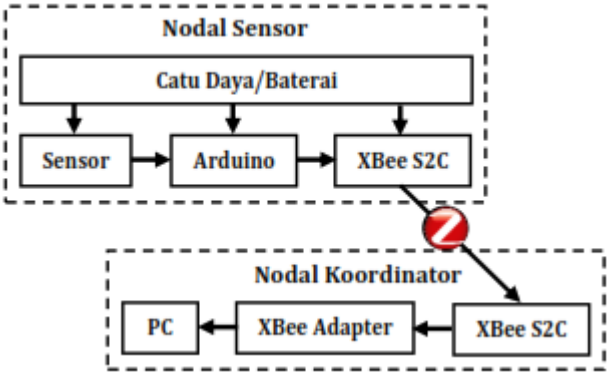
II. Metode

A. Setup Eksperimen

Pengukuran RSSI pada JSN dilakukan menggunakan nodal sensor dan nodal koordinator yang sudah dikembangkan di sini [25]. Nodal sensor berperan sebagai *end device* berfungsi untuk membaca data suhu dan kelembaban yang kemudian mengirimkannya secara nirkabel ke nodal lainnya yang berfungsi sebagai *router* atau langsung ke nodal koordinator. Gambar 1 memperlihatkan susunan *platform* perangkat keras yang digunakan untuk membangun nodal sensor. Seperti terlihat pada gambar tersebut, nodal sensor diimplementasikan secara modular menggunakan papan mikrokontroler berbasis Arduino Uno [27], XBee Shield, XBee S2C, serta sensor LM35DZ [28] dan DHT11 [29]. Sementara nodal koordinator terdiri dari modul XBee S2C, XBee adapter yang kemudian terhubung ke PC sebagai pengolah dan penampil data.

Seperti terlihat pada Gambar 2, modul XBee S2C digunakan sebagai perangkat komunikasi berbasis ZigBee yang secara nirkabel menghubungkan antara nodal sensor dan nodal koordinator. XBee S2C merupakan salah satu jenis modul XBee yang dikembangkan oleh Digi International [30] yang mendukung protokol komunikasi ZigBee. XBee S2C dapat digunakan untuk jaringan komunikasi dengan topologi *point-to-point*, *star* dan *mesh*. Modul ini mempunyai kecepatan data 250 Kbps, bekerja pada pita frekuensi ISM (*industrial, scientific and medical*) 2,4 GHz, dengan jangkauan sampai dengan 60 m di dalam ruangan dan 1200 m untuk luar ruangan (LOS/ *line of sight*). Terdapat 5 (lima) operasi pada Xbee, yaitu *idle mode*, *transmit mode*, *received mode*, *sleep mode* dan *command mode*.

B. Pengukuran RSSI



Gambar 2. Diagram blok nodal sensor dan nodal koordinator yang berkomunikasi melalui modul XBee S2C dengan protokol ZigBee

RSSI merupakan salah satu parameter untuk menentukan kualitas kanal komunikasi. Faktor-faktor seperti pantulan, hamburan dan penghalang fisik lainnya dapat mempengaruhi nilai RSSI yang terukur [31]. Nilai RSSI merupakan indikator seberapa kuat sinyal yang diterima suatu penerima sinyal pada suatu titik tertentu. RSSI didefinisikan sebagai rasio kuat sinyal yang diterima pada suatu titik tertentu dibandingkan terhadap kuat sinyal di suatu titik referensi. Sehingga secara matematis RSSI dapat dinyatakan melalui persamaan,

$$RSSI = 10\log\frac{P_R}{P_{Reff}} \tag{1}$$

P_R merupakan kuat daya, dalam watt, yang diterima penerima pada suatu titik tertentu, sementara P_{Reff} adalah kuat daya, dalam watt, yang diterima pada titik referensi. Karena RSSI merupakan rasio maka tidak mempunyai satuan. Jika P_r dan P_{reff} dinyatakan dalam dB maka

$$RSSI(dBm) = P_R(dBm) - P_{Reff}(dBm) \tag{2}$$

Kuat sinyal yang dinyatakan dalam RSSI sangat berperan penting didalam menentukan estimasi jarak. Besar daya yang diterima di suatu titik dianggap sebagai pemancar ke segala arah (*omnidirectional*), sehingga apabila titik penerima diasumsikan dengan pusat bola sementara pemancarnya ada di permukaan bola, maka didapatkan persamaan berikut,

$$P_{RX} = P_{TX}.G_{TX}.G_{RX}.\left[\frac{\lambda}{4\pi d}\right]^n \tag{3}$$

dengan P_{RX} adalah daya pada penerima (watt), P_{TX} daya pada pengirim (watt), G_{TX} penguatan pada pengirim, G_{RX} penguatan pada penerima, λ panjang gelombang (m), d jarak pengirim dan penerima (m), dan n eksponen *path loss*.

Apabila (3) disubstitusikan ke (1), maka didapatkan:

$$RSSI = 10\log\left[\frac{P_{TX}.G_{TX}.G_{RX}.\left[\frac{\lambda}{4\pi d}\right]^n}{P_{TX}.G_{TX}.G_{RX}.\left[\frac{\lambda}{4\pi d_o}\right]^n}\right] \tag{4}$$

Persamaan (4) kemudian disederhanakan menjadi:

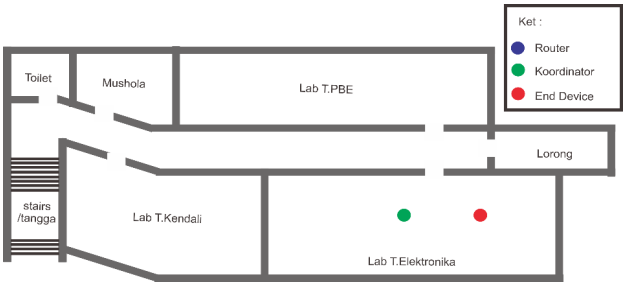
$$RSSI = 10\log\left[\frac{d_o}{d}\right]^n \tag{5}$$

$$RSSI = -10\log\left[\frac{d}{d_o}\right]^n \tag{6}$$

dengan d_o adalah jarak dari pemancar ke titik referensi.

C. Topologi Pengukuran

Pada jaringan ZigBee, suatu nodal terhubung dengan nodal lainnya dengan arsitektur atau topologi jaringan yang berbeda. Topologi jaringan mengindikasikan bagaimana modul komunikasi pada satu nodal terhubung secara logika dengan modul komunikasi pada nodal lainnya. Pada penelitian ini, pengukuran RSSI dilakukan dengan beberapa skenario topologi, yaitu topologi *point-to-point*, topologi *star*, topologi *mesh* dengan satu *router* dan topologi *mesh* dengan dua *router* yang masing-masing dilakukan di dalam (*indoor*) dan luar ruangan (*outdoor*). Pada setiap skenario pengukuran, dilakukan dengan *baud rate* pada 9600 bps, paket data berukuran 64 byte, dengan jumlah 100 paket data dengan interval pengiriman setiap 1 detik. Perangkat lunak XCTU digunakan untuk mengirimkan paket data dan kemudian mengumpulkannya [32]. Perangkat ini menghitung jumlah paket data yang dikirimkan dan diterima serta kemudian mengukurnya dalam bentuk parameter RSSI. Jarak setiap nodal sensor terhadap nodal koordinator diatur dari 5 sampai dengan 40 m untuk skenario di dalam ruangan (*indoor*) dan dari jarak 10 sampai dengan 120 m untuk skenario luar ruangan (*outdoor*).



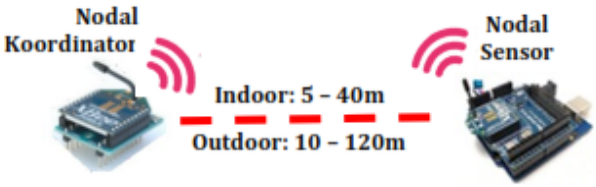
Gambar 3. Denah lokasi pengujian point-to-point pada kondisi indoor

III. Hasil Dan Pembahasan

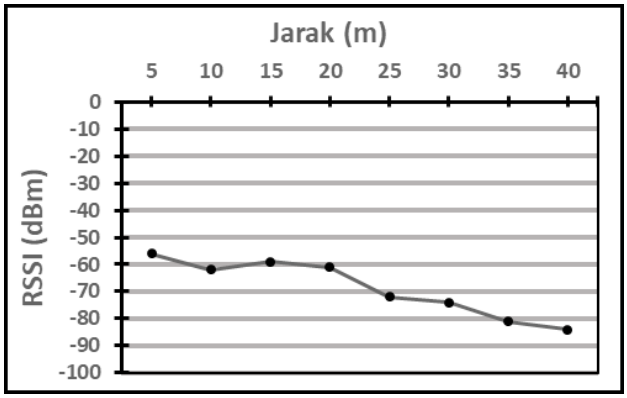
A. Topologi point-to-point

Jaringan *point-to-point* merupakan topologi jaringan yang paling sederhana karena hanya melibatkan dua nodal saja. Gambar 3 memperlihatkan denah pengujian JSN dengan topologi *point-to-point* pada lokasi *indoor* yang hanya melibatkan satu nodal koordinator dengan satu nodal sensor. Pada skenario yang diperlihatkan pada Gambar 4 nodal sensor mengirimkan data hasil pengukuran ke nodal koordinator dengan jarak 5 sampai dengan 40 m untuk skenario *indoor*. Sementara untuk skenario outdoor dengan topologi komunikasi yang sama dilakukan dengan jarak yang lebih jauh yaitu 10 sampai dengan 120 m.

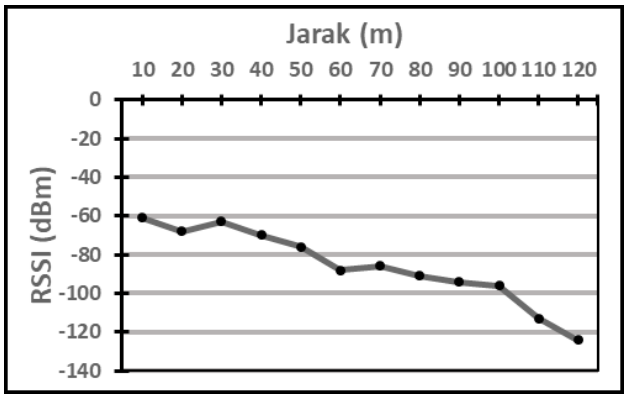
Gambar 5 dan 6 memperlihatkan hasil pengukuran RSSI untuk jaringan ZigBee pada topologi *point-to-point* masing-masing pada skenario di dalam dan luar ruangan. Dari grafik pada gambar tersebut terlihat nilai RSSI relatif



Gambar 4. Skenario pengujian dengan topologi point-to-point



Gambar 5. Grafik RSSI sebagai fungsi jarak pada topologi point-to-point pada kondisi di dalam ruangan



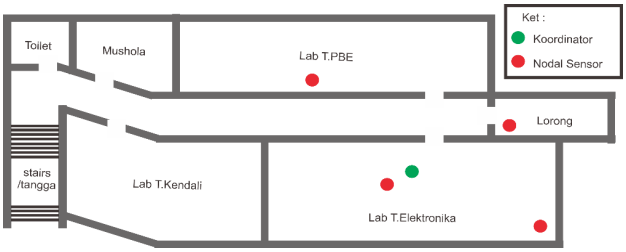
Gambar 6. Grafik RSSI sebagai fungsi jarak pada topologi point-to-point pada kondisi di luar ruangan

turun sebagai fungsi jarak nodal sensor terhadap nodal koordinator, baik untuk skenario *indoor* dan *outdoor*. Apabila hasil pengukuran pada skenario *indoor* dan *outdoor* dibandingkan, maka terlihat bahwa nilai RSSI pada skenario *outdoor* sedikit lebih kecil dibandingkan nilai RSSI pada skenario *indoor* pada jarak yang sama. Hal ini disebabkan pada pengujian ini dua skenario sama-sama dilakukan secara *line-of-sight* (LOS), tetapi pada skenario di luar ruangan relatif mendapat pengaruh angin dan cuaca dibandingkan skenario di dalam ruangan.

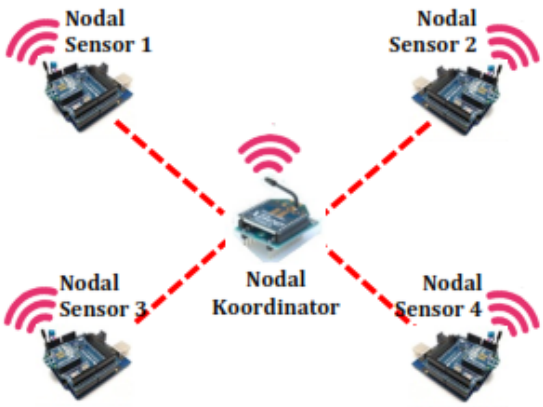
B. *Topologi Star*

Topologi *star* merupakan jaringan yang membentuk konvergensi dari masing-masing nodal sensor (*end device*) ke nodal koordinator. Denah lokasi pengujian JSN dengan topologi *star* yang melibatkan satu nodal koordinator dan empat nodal sensor pada skenario *indoor* diperlihatkan pada Gambar 7. Sementara Gambar 8 memperlihatkan skema pengujian tersebut dengan empat nodal sensor yang terhubung secara langsung ke satu nodal koordinator. Pada skenario *indoor*, jarak masing-masing nodal sensor ke nodal koordinator diatur sama dari 4 m sampai dengan 40 m, sementara untuk skenario *outdoor* digunakan jarak yang lebih jauh, setiap nodal sensor mempunyai jarak yang sama yaitu 10 m sampai dengan 120 m terhadap nodal koordinator.

Gambar 9 dan 10 memperlihatkan hasil pengukuran

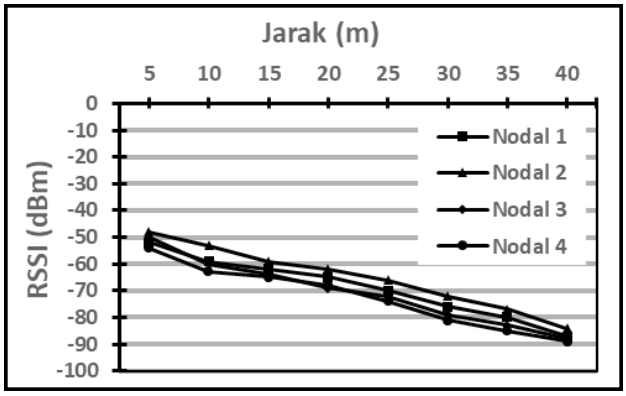


Gambar 7. Denah lokasi pengujian topologi star pada kondisi indoor

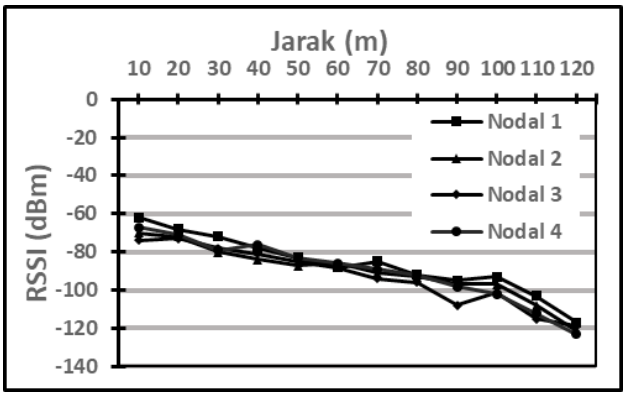


Gambar 8. Skenario pengujian dengan topologi star

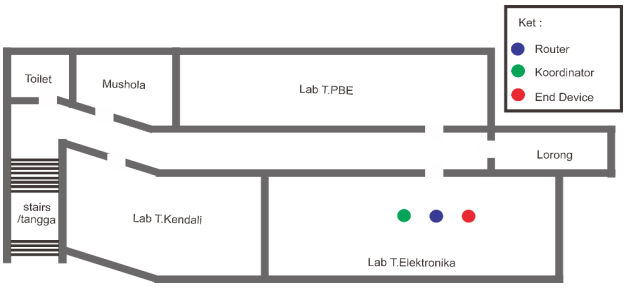
RSSI untuk jaringan ZigBee dengan topologi *star* masing-masing pada skenario di dalam dan luar ruangan. Dari hasil pengujian terlihat bahwa nilai RSSI turun sebagai



Gambar 9. Grafik RSSI sebagai fungsi jarak pada topologi star pada kondisi di dalam ruangan



Gambar 10. Grafik RSSI sebagai fungsi jarak pada topologi star pada kondisi di luar ruangan

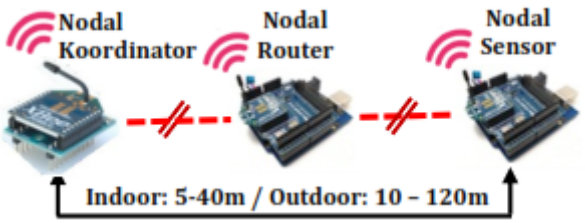


Gambar 11. Denah lokasi pengujian topologi mesh dengan satu router pada kondisi indoor

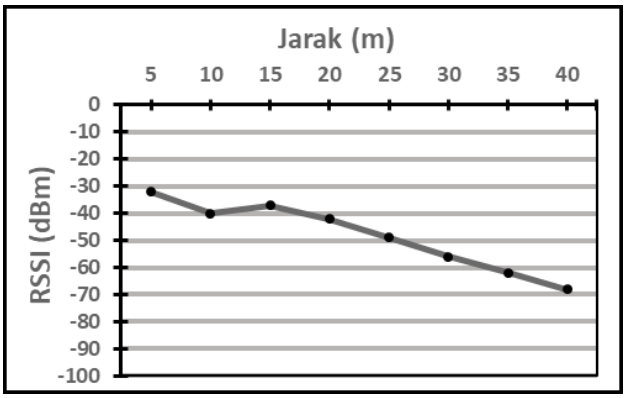
fungsi dari jarak nodal sensor terhadap nodal koordinator. Dengan empat nodal yang disertakan pada pengujian, dengan jarak yang sama masing-masing mempunyai nilai RSSI yang relatif sama. Sedikit perbedaan hasil pengukuran memperlihatkan bahwa keempat nodal sensor tersebut mendapatkan hambatan atau pantulan yang berbeda-beda, dan hal ini lebih jelas terlihat pada hasil di skenario *indoor*. Hal ini disebabkan pada skenario *indoor*, terdapat dua nodal sensor yang terhalang dinding ketika berkomunikasi dengan nodal koordinator.

C. Topologi Mesh dengan satu Router dan dua Router

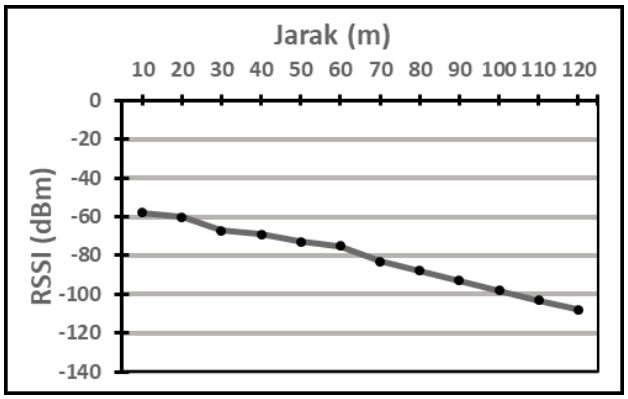
Topologi *mesh* adalah suatu jaringan dimana masing-masing nodal dapat terhubung secara langsung dengan nodal lainnya yang kemudian meneruskannya ke nodal koordinator. Gambar 11 memperlihatkan denah lokasi penempatan nodal-nodal pada pengujian jaringan *mesh* dengan satu buah router pada lokasi *indoor*. Sementara skema pengujian jaringan tersebut dapat dilihat pada



Gambar 12. Skema penempatan nodal sensor dengan topologi mesh dengan satu router



Gambar 13. Grafik RSSI sebagai fungsi jarak pada topologi mesh dengan satu router pada kondisi di dalam ruangan

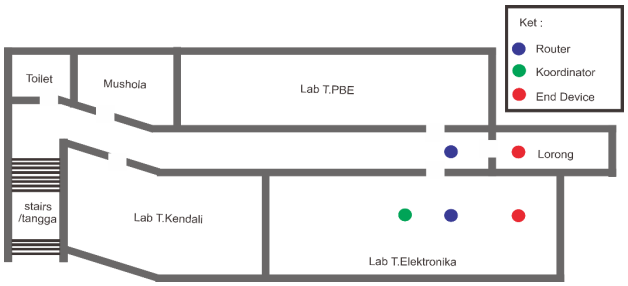


Gambar 14. Grafik RSSI sebagai fungsi jarak pada topologi mesh dengan satu router pada kondisi di luar ruangan

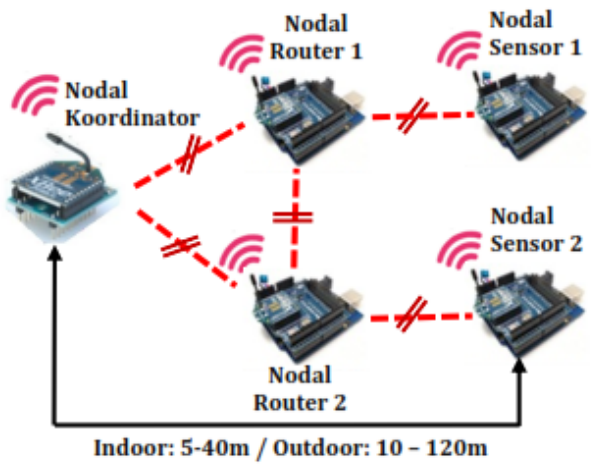
Gambar 12. Pada pengujian ini digunakan jarak antara nodal sensor dan koordinator yang sama seperti halnya pengujian sebelumnya yaitu 5 m sampai dengan 40 m. Sementara untuk skenario di luar ruangan (outdoor) menggunakan jarak 10 m sampai dengan 120 m antara nodal sensor dan nodal koordinator. Pada topologi *mesh* ini terdapat nodal *router* yang ditempatkan di tengah-tengah antara nodal sensor dan nodal koordinator.

Gambar 13 dan 14 memperlihatkan hasil pengukuran RSSI jaringan ZigBee dengan topologi *mesh* satu *router* masing-masing di dalam dan luar ruangan. Hasil pengukuran pada kedua skenario memperlihatkan semakin jauh nodal sensor dari nodal koordinator maka nilai RSSI semakin turun. Penurunan ini semakin jelas terjadi pada skenario di dalam ruangan, yang disebabkan adanya halangan dan pantulan dibandingkan di skenario luar ruangan.

Pengujian jaringan ZigBee dengan topologi *mesh* juga dilakukan dengan menggunakan dua *router*, yang artinya data pengiriman dari nodal sensor akan melalui dua *router* sebelum sampai di nodal koordinator. Denah lokasi pengujian topologi mesh dengan dua *router* pada lokasi *indoor* diperlihatkan pada Gambar 15 dengan skema pengujian tersebut dapat dilihat pada Gambar 16. Terdapat nodal *router* yang berfungsi meneruskan data hasil pengukuran dari nodal sensor ke *router* lainnya yang kemudian diteruskan kembali ke nodal koordinator diletakkan di tengah-tengah antara nodal sensor dan nodal koordinator. Nodal sensor 1 dan 2 mempunyai jarak yang sama terhadap nodal koordinator yaitu 5 m sampai 40 m untuk skenario di dalam ruangan dan dari 10 m sampai



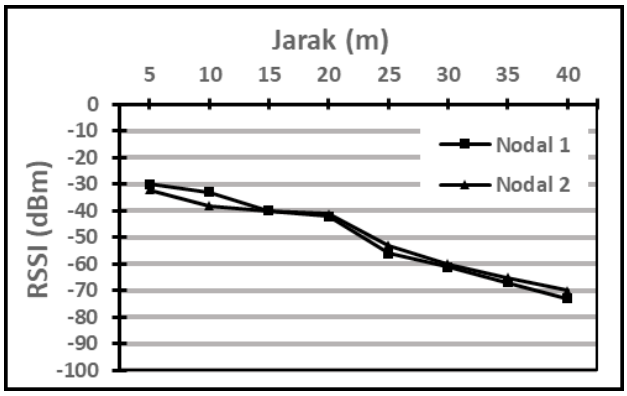
Gambar 15. Denah lokasi pengujian topologi mesh dengan dua router pada kondisi indoor



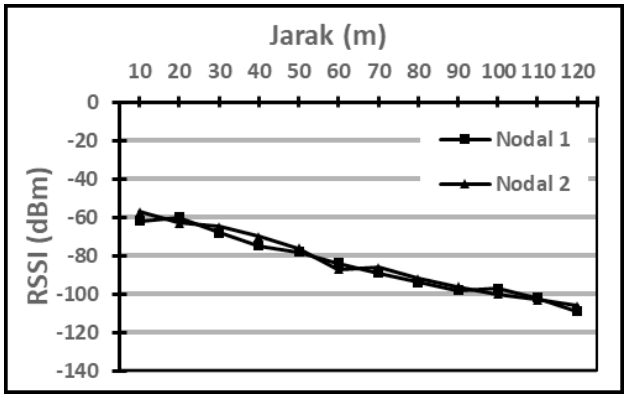
Gambar 16. Skema penempatan nodal sensor dengan topologi mesh dengan dua router

dengan 120 m untuk skenario di luar ruangan.

Gambar 17 dan 18 memperlihatkan hasil pengukuran RSSI jaringan ZigBee dengan topologi *mesh* dua *router* masing-masing di dalam dan luar ruangan. Sama halnya dengan hasil pengujian pada topologi *point-to-point* dan *star*, disini nilai RSSI yang terukur akan semakin kecil seiring menjauhnya jarak nodal sensor dari nodal koordinator. Nilai RSSI yang didapat pada pengujian topologi *mesh* dengan dua *router* relatif sama dengan



Gambar 17. Grafik RSSI sebagai fungsi jarak pada topologi mesh dengan dua router pada kondisi di dalam ruangan



Gambar 18. Grafik RSSI sebagai fungsi jarak pada topologi mesh dengan dua router pada kondisi di luar ruangan

nilai RSSI yang didapatkan pada pengujian topologi *mesh* dengan satu *router*. Hal ini disebabkan, jarak antara nodal sensor dan nodal koordinator pada dua kasus pengujian tersebut sama. Sementara apabila kita bandingkan dengan hasil dari dua topologi sebelumnya, nilai RSSI terukur pada topologi *mesh* sedikit lebih besar baik pada skenario di dalam maupun luar ruangan. Sebagai contoh, RSSI terukur pada pengujian pada topologi *mesh* dengan satu *router* dibandingkan dengan RSSI pada topologi point-to-point, terdapat kenaikan dari 16 s.d. 24 dB pada skenario di dalam ruangan dan kenaikan -4 s.d. 16 dB pada skenario di luar ruangan. Hal ini disebabkan terdapat *router* yang memperkuat sinyal yang dikirim dari nodal sensor ke nodal koordinator.

IV. Kesimpulan

Dengan karakteristik yang efisien dan dapat diandalkan, ZigBee merupakan teknologi yang paling sesuai dan banyak digunakan untuk jaringan sensor nirkabel. Ketika komunikasi berlangsung, kuat sinyal ZigBee sangat terpengaruh oleh efek eksternal. Untuk menganalisa pengaruh tersebut terhadap kuat sinyal, maka dilakukan serangkaian eksperimen pengukuran RSSI pada berbagai topologi jaringan dengan skenario di dalam dan luar ruangan. Hasil pengukuran memperlihatkan bahwa nilai RSSI semakin turun ketika jarak nodal sensor semakin jauh dari nodal koordinator untuk semua skenario pengukuran. Penurunan nilai RSSI semakin jelas terjadi pada skenario di dalam ruangan dimana hal ini disebabkan adanya halangan dan pantulan dibandingkan pada skenario di luar ruangan. Kemudian nilai RSSI terukur pada topologi *mesh* sedikit lebih besar dibanding pada dua topologi lainnya. RSSI terukur pada pengujian pada topologi *mesh* dengan satu *router* dibandingkan dengan RSSI pada topologi point-to-point, terdapat kenaikan dari 16 s.d. 24 dB pada skenario di dalam ruangan dan kenaikan -4 s.d. 16 dB pada skenario di luar ruangan. Perbedaan tersebut disebabkan terdapat *router* yang memperkuat sinyal yang dikirim dari nodal sensor ke nodal koordinator.

Referensi

[1] M. F. Othman and K. Sazali, “Wireless sensor networks applications: A study in environment monitoring system”, in *Proc. International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors (IRIS 2012)*, Sep. 2012, pp. 1204-1210.

[2] H. Karl and A. Willig, Protocol and Architectures for Wireless Sensor Networks, John Wiley Sons, 2005.

[3] N. Vikram, K. S. Harish, M. S. Nihaal, R. Umesh, and S. A. A. Kumar, “A low cost home automation system using Wi-fi based wireless sensor network incorporating internet of things (IoT)”, in *Proc. IEEE 7th International Advance Computing Conference (IACC 2017)*, Jul. 2017, pp. 174-178.

[4] J. P. Amezquita-Sanchez, M. Valtierra-Rodriguez, and H. Adeli, “Wireless smart sensors for monitoring the health condition of civil infrastructure,” Scientia Iranica A, vol. 25, no. 6, pp. 2913-2925, Nov-Dec. 2018.

[5] L. D. Xu, W. He, and S. Li, “Internet of Things in Industries: A

survey," IEEE Trans. Industrial Informatics, vol. 10, no. 4, pp. 2233-2243, Nov. 2014.

[6] T. Ojha, S. Misra, and N. S. Raghuwanshi, "Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges," Computer and Electronics in Agriculture, vol. 118, pp. 66-84, Oct. 2015.

[7] H. Alemdar and C. Ersoy, "Wireless sensor networks for healthcare: A survey," Computer Networks, vol. 54, no. 15, pp. 2688-2710, Oct. 2010.

[8] C. V. K. Mahamuni, "A military surveillance system based on wireless sensor networks with extended covaergae life", in *Proc. International Conference on Global Trends in Signal Processing, Information Computing and Communication (ICG TSPICC 2016)*, Dec. 2016, pp. 375-381.

[9] IEEE 802.11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications. (2016 revision). IEEE-SA. 14 Dec. 2016.

[10] L. D. Nardis and M. D. Benedetto, "Overview of the IEEE 802.15.4/4a standards for low data rate wireless personal data networks", in *Proc. 4th Workshop on Positioning, Navigation and Navigation (WPNC 2007)*, Mar. 2007, pp. 285-289.

[11] ZigBee Alliance. "ZigBee and Wireless Radio Frequency Coexistence", White paper, Jun. 2007.

[12] W. Wang, G. He, and J. Wan, "Research on zigbee wireless communication technology", in *Proc. International Conference on Electrical and Control Engineering (ICECE 2011)*, Sep. 2011, pp. 1245-1249.

[13] X. C. Heredia, C. H. Barriga, D. I. Piedra, G. D. Oleas, and A. C. Flor, "Monitoring system for intelligent transportation system based in zigbee", in *Proc UNSA International Symposium on Communication (UNSA ISCOMM 2019)*, Mar. 2019, pp. 1-6.

[14] J. Xuguang, S. Fan, G. Yongxing, T. Shoufeng, and T. Minming, "Zigbee-based wireless gas monitoring sensor alarm system in coal mine", in *Proc 5th International Conference on Advances in Energy Resources and Environmental Engineering (ICAESEE 2019)*, Dec. 2019, pp. 1-6.

[15] S. G. Varghese, C. P Kurian, V. I. George, A. John, V. Nayak, and A. Upadhyay, "Comparative study of zigbee topologies for IoT-based lighting automation," IET Wireless Sensor Systems, vol. 9, no. 4, pp. 201-207, Aug. 2019.

[16] Z. Rasin and M. R. Abdullah, "Water quality monitoring system using zigbee based wireless sensor network," Int. Journal of Engineering & Technology, vol. 9, no. 10, pp. 24-28, May 2012.

[17] Z. K. Hussein, H. J. Hadi, M. R. Abdul-Mutaleb, and Y. S. Mezaal, "Low cost smart weather station using arduino and zigbee," Telkomnika Telecommunication Computing Electronics and Control, vol. 18, no. 1, pp. 282-288, Feb. 2020.

[18] N. T. Le and W. Benjapolakul, "Received signal strength data of ZigBee technology for on-street environment at 2.4 GHz band and the interruption of vehicle to link quality," Data in Brief, vol. 22, pp. 1036-1043, Feb. 2019.

[19] D. Yuan, S. S. Kanhere, and M. Hollick, "Instrumenting wireless sensor networks – A survey on the metrics that matter," Pervasive and Mobile Computing, vol. 37, pp. 45-62, Jun. 2017.

[20] H. H. R. Sherazi, R. Iqbal, S. U. Hasan, M. H. Chaudary, and S. A. Gilani, "ZigBee's received signal strength and latency evaluation under varying environments," Journal of Computer Networks and Communciations, vol 2016, pp. 1-8, Jun. 2016.

[21] K. Subaashini, G. Dhivya, and R. Pitchiah, "Zigbee RF signal strength for indoor location sensing - experiments and results", in *Proc. International Conference on Advance Communications Technology (ICACT 2013)*, Jan. 2013, pp. 50-57.

[22] K. Benkic, M. Malajner, P. Planinsic and Z. Cucei, "Using RSSI value for distance estimation wireless Sensor networks based on Zigbee," in *Proc. 15th International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP 2008)*, Aug. 2008, pp. 303-306.

[23] I. N. R. Hendrawan and I. G. N. W. Arsa, "Eksperimen pengukuran parameter RSSI dan troughput protokol ZigBee pada perangkat XBee Seri 2," Sains dan Teknologi Informasi, vol. 2, no. 2, pp. 13-16, Dec. 2016.

[24] I. N. B. Hartawan and I. G. M. N Desnanjaya, "Analisis kinerja protokol ZigBee di dalam dan di luar ruangan sebagai media komunikasi data pada wireless sensor network," Jurnal Rekayasa Sistem Komputer, vol. 1, no. 2, pp. 65-72, Oct. 2018.

[25] H H. Fitriawan, D. Mausa, A. S. Arifin, and A. Trisanto, "Realization of Zigbee wireless sensor networks for temperature and humidity monitoring", in *Proc. The International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI 2015)*, Aug. 2015, pp. 102-107.

[26] H. Fitriawan, M. Susanto, A. S. Arifin, D. Mausa, and A. Trisanto, "Zigbee based wireless networks and performance analysis in various environments", in *Proc. The 15th International Conference on Quality in Research (QIR 2017)*, Aug. 2017, pp. 272-275.

[27] Arduino Uno. [Online]. Available: https://www.arduino.cc/en/main/arduinoBoardUno/. [Accessed October 11, 2018].

[28] LM35DZ Datasheet. "LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors".

[29] Aosong. "DHT Product Manual".

[30] Digi International Inc. 2014. "Xbee/Xbee-Pro ZB RF Modules Product Manual".

[31] R. A. Alawi, "RSSI based location estimation in wireless sensor network". In *Proc. 17th IEEE International Conference on Networks (ICON 2011)*, Dec. 2011, pp. 118-122.

[32] XCTU Tool. [Online] https://www.digi.com/products/embedded-systems/digi-xbee/digi-xbee-tools/xctu. [Accessed October 13, 2018]