

Kinerja Jaringan Komunikasi Nirkabel Berbasis Xbee pada Topologi *Bus, Star* dan *Mesh*

FAQIH ROFII, FACHRUDIN HUNAINI, SHOFIE SHOLAWATI

Universitas Widyagama Malang
Email: faqih@widyagama.ac.id

Received 14 Agustus 2018 | *Revised* 29 Agustus 2018 | *Accepted* 30 September 2018

ABSTRAK

Jaringan sensor nirkabel merupakan perangkat komunikasi yang memiliki kesederhanaan pada prosesor, konsumsi daya rendah, antena dan beberapa detektor. Biaya yang rendah dan fleksibel sangat cocok digunakan untuk berbagai aplikasi monitoring di industri dan lingkungan baik indoor maupun outdoor. Salah satu perangkat transceiver yang banyak digunakan pada saat ini adalah Xbee. Perangkat ini dapat dikonfigurasi sebagai coordinator, router maupun end-device sesuai dengan topologi jaringan yang dibangun. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja Xbee dengan parameter RSSI, throughput dan delay dengan topologi bus, star, mesh dan hybrid pada indoor dan outdoor. Pengukuran dilakukan dalam rentang jarak 0-40 meter pada kondisi indoor dan 0-120 meter pada kondisi outdoor. Berdasarkan hasil pengujian pada indoor dan outdoor, nilai optimum diperoleh pada topologi mesh dengan delay dan packet loss terkecil sebesar 2,7 detik dan 0,5 paket untuk indoor serta 3,41 detik dan 0,33 paket untuk outdoor.

Kata kunci: jaringan sensor nirkabel, xbee, topologi bus, star dan mesh

ABSTRACT

Wireless sensor networks are communication devices that have simplicity in the processor, low power consumption, antennas and some detectors. Low and flexible costs are suitable for various monitoring applications in the industry and environment both indoors and outdoors. One of the transceiver devices that is widely used today is Xbee. This device can be configured as a coordinator, router or end-device in accordance with the network topology that is built. This study aims to analyze the performance of Xbee with RSSI parameters, throughput and delay with bus, star, mesh and hybrid topologies in indoor and outdoor. Measurements are carried out in the range of 0-40 meters in indoor conditions and 0-120 meters in outdoor conditions. Based on the results of testing on indoor and outdoor, the optimum value was obtained in mesh topology with the smallest delay and packet loss of 2.7 seconds and 0.5 packets for indoor and 3.41 seconds and 0.33 packets for outdoor.

Keywords: wireless sensor network, xbee, bus, star and mesh network topology

1. PENDAHULUAN

Jaringan sensor nirkabel atau *wireless sensor network (WSN)* terdiri dari *node-node* sensor yang memiliki prosesor sederhana, konsumsi daya rendah, antena dan beberapa detektor. *Node* sensor mempunyai kemampuan untuk mengambil, memproses dan mengirimkan data melalui *node* yang berdekatan menuju ke *server* (Dener & Bostancioğlu, 2015). Biaya yang rendah dan fleksibel di dalam penggunaan, menjadikan WSN cocok digunakan untuk berbagai aplikasi *monitoring* di industri dan lingkungan baik *indoor* (Bhasworo, Rofii, & Hunaini, 2018) maupun *outdoor* (Yulianto, Jazi Eko, Kirbani, & others, 2012). Bagian penting dari WSN adalah perangkat pengirim dan penerima data informasi (*transceiver*) secara nirkabel. Pemilihan perangkat *transceiver* yang tepat akan menentukan kualitas komunikasi WSN. Fajriansyah, dkk. telah mengevaluasi dua modul *transceiver* yaitu XBee Pro dan nRF24L01+ dengan maksud untuk menentukan modul *transceiver* mana yang tepat digunakan untuk WSN dengan mengirimkan data dalam bentuk karakter ASCII/ bytes secara kontinyu maupun sekuensial melalui komunikasi serial UART. Pada penelitian tersebut hanya mengetahui *Round Time Trip* dan tidak menggunakan bentuk dari topologi jaringan yang dibangun (Fajriansyah, Ichwan, & Susana, 2016).

Simulasi kinerja pada *Wireless Personal Area Network (WPAN)* Zegbee dilakukan oleh Thamrin dengan menggunakan *software Network Simulator 2 (NS-2)* pada topologi *mesh*, *star* dan *cluster tree*. Indikator dari analisis kinerja didasarkan pada *throughput*, *delay* dan *packet delivery ratio (PDR)*. Kinerja jaringan diamati melalui lima skenario dengan melakukan variasi jumlah *node*. Masing-masing skenario dikirimkan paket data 50. Jarak masing-masing *node* adalah 10 meter. Simulasi yang dilakukan menghasilkan nilai yang berbeda pada tiap skenario (Thamrin, 2014). Wahyudi, dkk. menguji parameter kinerja WPAN dengan teknologi *mesh* untuk menghasilkan jumlah perangkat WSN yang optimal. Pengujian dilakukan dengan simulasi untuk mengukur parameter *throughput*, *traffic (sent, receive dan drop)*, *delay*, dan jumlah *hop*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kinerja WPAN dengan standar Zigbee topologi *mesh* menghasilkan nilai optimal pada saat jumlah perangkat WSN maksimum berjumlah 20 perangkat (Wahyudi, Hidayat, & Sumaryono, 2012).

Modul Xbee banyak digunakan sebagai *transceiver* dalam berbagai implementasi WSN, karena memungkinkan untuk pengaturan *routing* dan topologi jaringan. Mukhtar, K. dalam penelitiannya menggunakan Xbee untuk mendesain *autonomous routing* pada WSN untuk pengukuran suhu dan intensitas cahaya. Sistem telah diuji menggunakan 6 buah *sensor node* dan satu *sink node*. Dari 10 topologi ditemukan waktu konfigurasi *routing* tercepat sebesar 14 detik, namun belum mempertimbangkan parameter RRSI, *throughput* dan *packet loss* (Mukhtar & Sumiharto, 2012). Beberapa penelitian sebelumnya, implementasi dan pengujian Xbee pada WSN belum menggambarkan secara menyeluruh pada berbagai topologi jaringan, sebagaimana yang dilakukan oleh Piyare pengukuran kinerja hanya pada topologi *point to point* (Piyare & Lee, 2013). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja Xbee sebagai *transceiver* dengan topologi *bus*, *star*, *mesh* dan *hybrid*. Parameter yang akan diuji antara lain jarak jangkauan maksimum, RRSI, *throughput*, dan *delay*. Nilai dan data yang didapat dari penelitian ini dapat menjadi dasar untuk implementasi jaringan sensor nirkabel yang membutuhkan berbagai topologi jaringan dengan mempertimbangkan kuat sinyal, *throughput* maupun *delay* seperti pemantauan lingkungan, hewan maupun pelacakan objek bergerak.

Hubungan geometris antara unsur-unsur dasar penyusun jaringan, berupa *node*, *link*, dan *station* dalam jaringan komputer/telekomunikasi dinyatakan sebagai topologi jaringan. Setiap jenis topologi memiliki kelebihan dan kekurangan. Pada penelitian ini, topologi jaringan yang dianalisis adalah *bus*, *star*, *mesh* dan *hybrid*. Topologi *bus* adalah jenis topologi yang menggunakan saluran tunggal sebagai media transmisinya yang menghubungkan semua *client* dengan *server*. Keuntungan topologi *bus* adalah *layout* dan skema media transmisi yang digunakan sangat sederhana sehingga saat akan dilakukan penambahan *client* baru untuk keperluan pengembangan, penyambungan kabel jaringan dapat dilakukan dengan mudah. Kerugian topologi *bus* adalah jika terjadi gangguan dalam hubungan kabel dimana saja di dalam jaringan, maka seluruh jaringan akan mengalami gangguan.

Jenis topologi dimana setiap *client* dihubungkan secara langsung ke *server* atau *hub/switch* disebut sebagai topologi bintang (*star*). Topologi ini tahan terhadap lalu lintas yang tinggi dan cukup aman namun sangat bergantung kepada fungsionalitas *hub* pusat. Pada topologi *mesh* menerapkan hubungan antar *node* secara penuh. Komunikasi berjalan relatif cepat dan biasanya digunakan untuk membangun jaringan dengan skala yang tidak terlalu besar. Kelebihan topologi *mesh* adalah memiliki hubungan *dedicated link* yang menjamin data langsung dikirim ke komputer tujuan tanpa harus melalui komputer lain sehingga data yang mengalir dapat berjalan lebih cepat. Namun topologi *mesh* membutuhkan banyak kabel dan *port* I/O sehingga sulit untuk melakukan instalasi dan konfigurasi karena setiap komputer harus terkoneksi secara langsung (Supriyadi & Gartina, 2007).

Kinerja jaringan komunikasi nirkabel dapat diukur berdasarkan beberapa parameter, antara lain : jarak jangkauan komunikasi, *Received Signal Strength Indicator* (RSSI), *throughput* dan *delay*. RSSI adalah sebuah ukuran kekuatan sinyal radio yang diterima oleh *receiver*. Faktor jarak antara pemancar dan penerima sangat menentukan besarnya RSSI (Puspitasari, 2014) yang dinyatakan dalam Persamaan (1).

$$RSSI = P_T - P_L - 10 \log n \cdot d + X_\sigma \text{ (dBm)} \quad (1)$$

dimana P_T adalah daya pancar, P_L adalah rugi lintasan, n adalah eksponen rugi lintasan, d adalah jarak dan X_σ adalah variabel acak gaussian dari lingkungan propagasi. Parameter *throughput* dapat dicari dengan menghitung laju rata-rata dari paket data yang berhasil dikirim melalui kanal komunikasi. *Throughput* dapat juga dihitung sebagai jumlah paket data yang diterima setiap detik, dinyatakan dengan Persamaan (2).

$$Throughput = \frac{\text{Besar Data (Kb)}}{\text{Waktu Tempuh (s)}} \quad (2)$$

Sedangkan *delay* merupakan waktu tunda paket data tiba di *client* atau *host* sampai selesai ditransmisikan. *Delay* transmisi dapat dihitung dengan Persamaan (3) dan (4).

$$Delay \text{ total} = \text{Time Received (s)} - \text{Time Sent (s)} \quad (3)$$

delay paket yang diterima dari *server* menuju *client* adalah :

$$Delay \text{ paket} = \frac{Delay \text{ Total (s)}}{Besar \text{ Data (Kb)}} \quad (4)$$

Jumlah *packet loss* dari pengirim ke penerima dinyatakan sebagai :

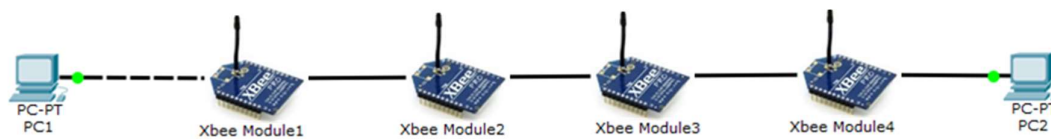
$$\sum Packet \text{ Loss} = \sum Packet \text{ dikirim} - \sum Packet \text{ diterima} \quad (5)$$

2. METODE PENELITIAN

Perangkat yang digunakan untuk penelitian ini adalah Xbee S2, catu daya DC dan *software* XCTU. Xbee S2 adalah modul *transceiver* radio yang diproduksi oleh DIGI International yang beroperasi pada frekuensi 2,4 GHz, protokol komunikasi Zigbee dan laju data sebesar 250 kbps. Xbee S2 mendukung *mesh networking*, sebab setiap modul Xbee S2 dapat ditentukan perannya dalam suatu topologi jaringan yang hendak kita bangun. Peran yang dimaksud adalah sebagai *Coordinator*, *Router* maupun *End-Device*.

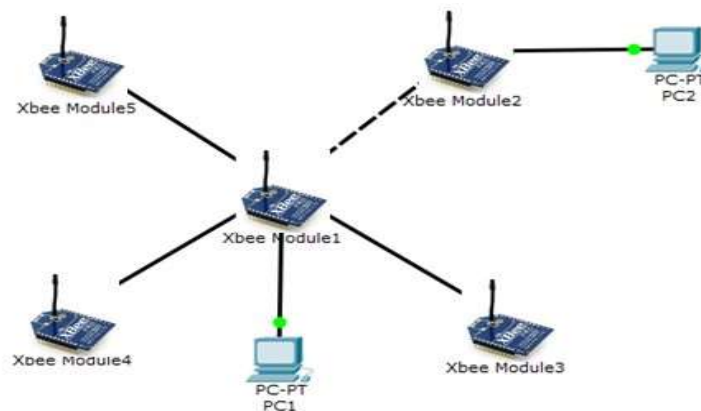
Untuk melakukan pengaturan modul Xbee dan konfigurasi jaringan maka dibutuhkan *software* XCTU, yaitu sebuah aplikasi yang disediakan oleh DIGI, dimana program ini dirancang untuk berinteraksi dengan Xbee. Pada *software* ini, user dapat melakukan *update firmware* Xbee dari *coordinator menjadi router* dan atau *end device*, begitu pun sebaliknya. Perangkat lunak ini mudah digunakan dan memungkinkan untuk menguji Xbee di lingkungan sebenarnya menggunakan komputer, mikrokontroller dan sejumlah sensor.

Untuk merancang jaringan sesuai dengan topologi yang akan diuji, maka pada penelitian ini digunakan dua buah komputer sebagai *server* dan *client*, serta 5 buah model Xbee2 sebagai modul *transceiver*. Masing-masing modul Xbee2 dikonfigurasi sesuai dengan perannya yaitu sebagai *coordinator*, *router* dan *end-device*. Gambar 1 sampai dengan 4, merupakan rancangan topologi jaringan *bus*, *star*, *mesh* dan *hybrid*. Gambar 1 adalah blok diagram rancangan jaringan Xbee dengan topologi *bus*. PC 1 dikonfigurasi sebagai *server* sedangkan modul xbee1 sebagai *coordinator*, modul xbee 2 dan 3 sebagai *router*, modul xbee 4 sebagai *end device*, sedangkan PC 2 sebagai *client*.



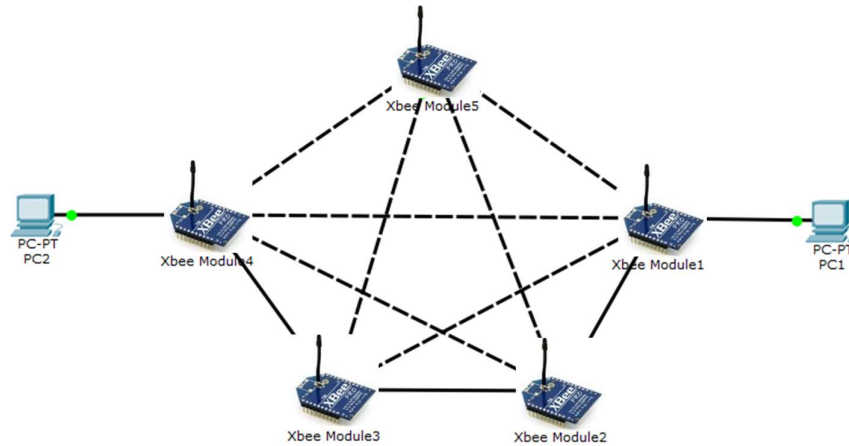
Gambar 1. Rancangan Topologi Bus

Gambar 2 adalah blok diagram rancangan jaringan Xbee dengan topologi *star*. PC 1 dikonfigurasi sebagai *server* yang dihubungkan langsung dengan sebuah modul Xbee yaitu modul Xbee 1 yang dikonfigurasi sebagai *coordinator*. Modul Xbee dari *server* ini akan terhubung dengan 4 buah modul Xbee sebagai *end device*, sedangkan PC 2 dalam rancangan ini sebagai *client*. PC 2 berperan sebagai perangkat yang mengukur parameter dari salah satu *end device* yang ada dalam topologi *star* ini.



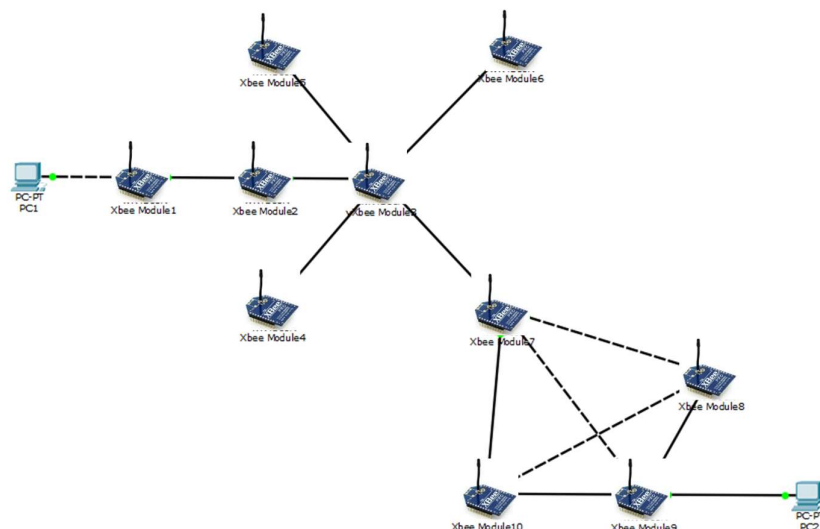
Gambar 2. Rancangan Topologi Star

Gambar 3 adalah blok diagram rancangan jaringan Xbee menggunakan topologi *mesh*. Dalam topologi ini, masing-masing modul Xbee terhubung dengan yang lainnya. PC 1 dan PC 2 dapat berperan sebagai *server* maupun *client* dengan dihubungkan langsung melalui modul Xbee 0 dan modul Xbee 1.



Gambar 3. Rancangan Topologi *Mesh*

Gambar 4 merupakan blok diagram rancangan jaringan Xbee menggunakan topologi *hybrid*. Pada rancangan ini terdapat 2 buah komputer dan 9 buah modul Xbee. Modul Xbee 1, 2 dan 3 membentuk topologi *bus*, modul Xbee 3, 4, 5 dan 6 membentuk topologi *star* dimana modul Xbee 3 berfungsi sebagai *coordinator*. Selanjutnya modul Xbee 3 terhubung ke modul Xbee7 yang merupakan bagian dari jaringan lain dengan topologi *mesh*, jaringan ini terdiri dari modul Xbee 7, 8, 9 dan 10. PC 1 berfungsi sebagai *server*, sedangkan PC 2 berfungsi sebagai *client* yang digunakan untuk mengukur parameter kinerja jaringan dari topologi *hybrid* yang telah terbentuk.



Gambar 4. Rancangan Topologi *Hybrid*

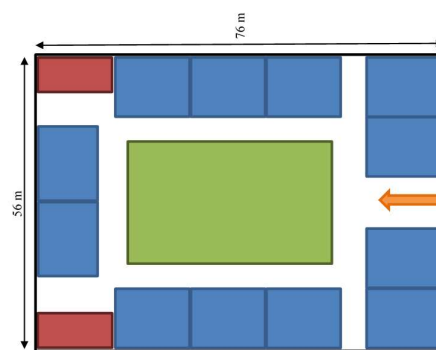
Pengaturan parameter modul Xbee di XCTU sebagai *coordinator*, *router* dan *end device* adalah sebagaimana pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengaturan Parameter *Coordinator*, *Router* dan *End Device*

Parameter	Coordinator	Router dan End Device
PAN ID	1234	1234
Scan Channels	A	A
Destination Address High	0	Sesuai alamat MAC Xbee
Destination Address Low	FFF	Sesuai Alamat MAC Coordinator

Mode komunikasi dapat diatur menjadi mode AT atau API. Mode AT adalah mode transparan, dalam mode ini data yang dikirim dari *coordinator* akan segera dikirim ke modul *remote* dalam jaringan yang sama, dengan catatan alamat Xbee tersebut telah diidentifikasi dan dikenali oleh *coordinator*. Format paket data tidak diperlukan, karena mode AT lebih sederhana dan sistematis dalam hal mengirim data dari pemancar menuju penerima. Mode AT sangat cocok diimplementasikan dalam topologi terpusat/*star*. Selain sistemnya yang sederhana, transmisi mode AT ini mudah dan cepat. Dalam mode API atau *Application Programming Interface* data harus mengikuti struktur *frame* berupa formasi data (*payload*) dan alamat Xbee tujuan. Mode ini umumnya digunakan untuk jaringan yang lebih besar, dengan melibatkan *node* yang saling terhubung satu sama lain. Bentuk formasi data pada mode API bersifat *editable*, karena setiap data dibuat dalam bentuk *frame*. Mode ini sesuai untuk digunakan dalam topologi *mesh*, dan *hybrid*, dimana setiap *node* dapat melakukan *interface* satu sama lain dengan alamat tujuan yang lebih fleksibel. Mode ini juga dapat digunakan pada topologi *bus* sebagai pengganti kabel dan *routing system*.

Pada penelitian ini, pengujian ini dilakukan pada dua kondisi, yaitu *indoor* dan *outdoor*. Pengujian *indoor* bertempat di sebuah gedung dengan luas bangunan 56 x 76 meter, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.

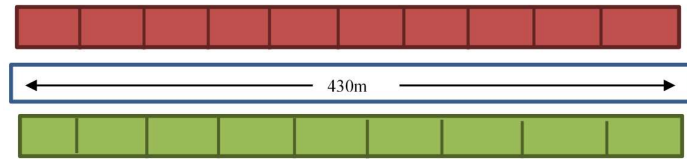


Gambar 5. Sketsa Gedung Pengujian *Indoor*

Keterangan:

- Ruang Sekretariat UKM
- Aula/Ruang Rapat Bersama
- Toilet
- Pintu masuk gedung

Sedangkan pengujian *outdoor* dilakukan di jalan terbuka sepanjang 430 meter. Sketsa pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Sketsa Gedung Pengujian *Outdoor*

Keterangan:

  Deretan rumah penduduk  Jalan lokasi pengambilan data

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

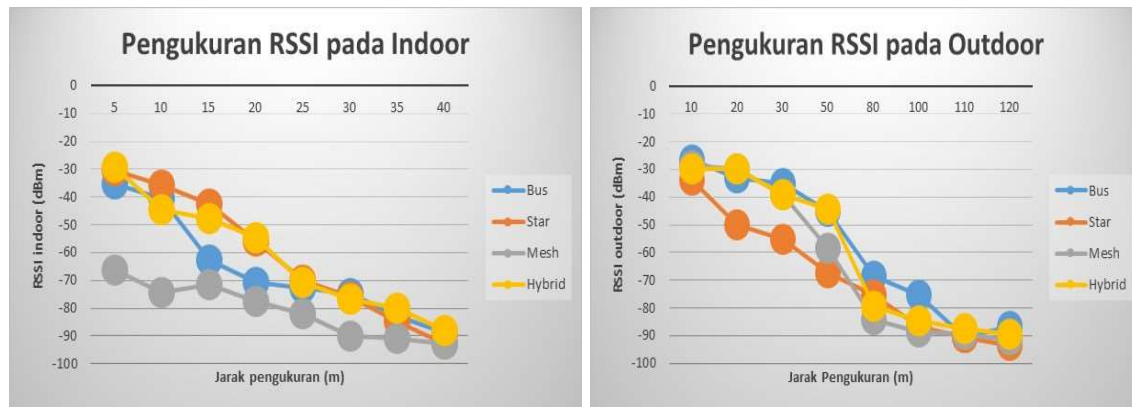
Hasil pengujian dibagi ke dalam dua bagian, yaitu *indoor* dan *outdoor*. Parameter yang diuji adalah RSSI sebagai fungsi jarak, *throughput* dan *delay*. Hasil pengujian yang telah dilakukan adalah :

1) Hasil Pengukuran RSSI

Data pada Table 1 adalah hasil pengukuran RSSI dalam dBm untuk kondisi *indoor* dan *outdoor*.

Tabel 2. Hasil Pengukuran RSSI pada Kondisi *Indoor* dan *Outdoor*

Jarak (m)	RSSI <i>Indoor</i> (dBm)				Jarak (m)	RSSI <i>Outdoor</i> (dBm)			
	Topologi					Topologi			
	<i>Bus</i>	<i>Star</i>	<i>Mesh</i>	<i>Hybrid</i>		<i>Bus</i>	<i>Star</i>	<i>Mesh</i>	<i>Hybrid</i>
5	-35.4	-30.4	-66.4	-29.4	10	-26.7	-33.7	-28.7	-29.7
10	-40.5	-35.5	-74.5	-44.5	20	-33	-50	-30	-30
15	-62.6	-42.6	-71.6	-47.6	30	-35.13	-55.1	-39.1	-39.1
20	-70.7	-55.7	-77.7	-54.7	50	-45.3	-67.3	-58.3	-44.3
25	-72.8	-69.8	-81.8	-70.8	80	-68.4	-75.4	-84.4	-79.46
30	-74.8	-75.8	-89.9	-76.8	100	-75.5	-86.5	-88.53	-84.5
35	-82.9	-84.9	-90.9	-79.9	110	-90.5	-90.5	-89.56	-87.5
40	-88.9	-92.9	-92.9	-87.9	120	-86.5	-93.5	-91.5	-89.5



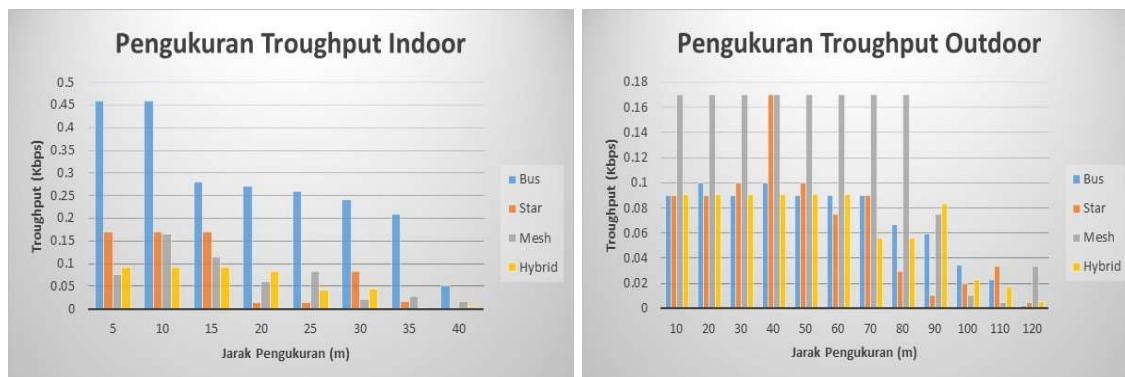
Gambar 7. Grafik Hasil Pengujian RSSI (dBm) pada Kondisi *Indoor* dan *Outdoor*

2) Hasil Pengukuran *Throughput*

Data pada Tabel 2 adalah hasil pengukuran *throughput* dalam kbps untuk kondisi *indoor* dan *outdoor*.

Tabel 3. Hasil Pengukuran *Throughput* pada Kondisi *Indoor* dan *Outdoor*

Jarak (m)	Throughput Indoor (kbps)				Jarak (m)	Throughput Outdoor (kbps)			
	Topologi					Topologi			
	Bus	Star	Mesh	Hybrid		Bus	Star	Mesh	Hybrid
5	0.46	0.17	0.075	0.091	10	0.09	0.09	0.17	0.091
10	0.46	0.17	0.165	0.091	20	0.1	0.09	0.17	0.091
15	0.28	0.17	0.115	0.091	30	0.09	0.1	0.17	0.091
20	0.27	0.013	0.061	0.083	50	0.09	0.1	0.17	0.091
25	0.26	0.014	0.084	0.041	80	0.067	0.03	0.17	0.056
30	0.24	0.084	0.02	0.045	100	0.035	0.02	0.011	0.023
35	0.21	0.016	0.028	0.002	110	0.023	0.034	0.005	0.017
40	0.05	0	0.016	0.005	120	0.002	0.005	0.034	0.006



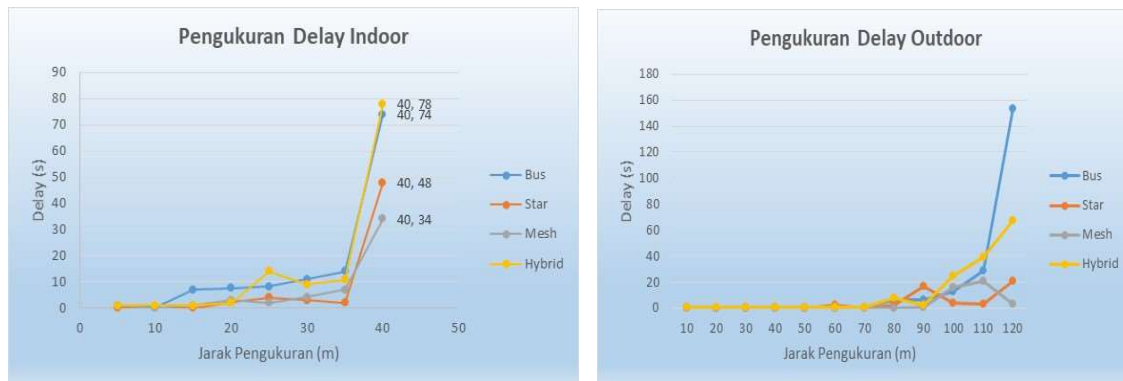
Gambar 8. Grafik Hasil Pengujian Throughput pada Kondisi *Indoor* dan *Outdoor*

3) Hasil Pengukuran *Delay*

Data pada Tabel 3 adalah hasil pengukuran *delay* dalam *second* pada kondisi *indoor* dan *outdoor*.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Troughput pada Kondisi *Indoor* Dan *Outdoor*

Jarak	Delay Indoor (s)				Jarak	Delay Outdoor (s)			
	Topologi					Topologi			
	Bus	Star	Mesh	Hybrid		Bus	Star	Mesh	Hybrid
5	0.4	0	1	1	10	1	0	0	1
10	0.3	0	0	1	20	0	0	0	1
15	7	0	1	1	30	1	0	0	1
20	7.6	2.1	3	2	50	1	0	0	1
25	8.2	4	2	14	80	6	2	0	8
30	10.9	3	4.2	9	100	13	4	16	25
35	14	2	7	10.8	110	29	3	21	39
40	74	48	34	78	120	153	21	3	67



Gambar 9. Grafik Hasil Pengujian *Delay* pada Kondisi *Indoor* Dan *Outdoor*

4) Perbandingan Parameter Kinerja Topologi Jaringan

Tabel 4 dan 5 adalah perbandingan rata-rata nilai hasil pengukuran parameter kinerja untuk semua topologi jaringan pada kondisi *indoor* dan *outdoor*.

Tabel 5. Rata-Rata Nilai Hasil Pengukuran pada Kondisi *Indoor*

Topologi	Rata-rata nilai pengukuran <i>indoor</i>			
	RSSI (dBm)	Throughput (kbps)	Delay (s)	Σ Packet Loss
<i>Bus</i>	-66,12	0,281	15,3	6.12
<i>Star</i>	-61	0,08	9,75	5.38
<i>Mesh</i>	-80,75	0,07	2,7	0.5
<i>Hybrid</i>	-61,5	0,056	26,75	6.25

Tabel 6. Rata-Rata Nilai Hasil Pengukuran pada Kondisi *Outdoor*

Topologi	Rata-rata nilai pengukuran <i>outdoor</i>			
	RSSI (dBm)	Throughput (kbps)	Delay (s)	Σ Packet Loss
<i>Bus</i>	-57,07	0,071	17,67	3.17
<i>Star</i>	-69,9	0,07	4,17	0.92
<i>Mesh</i>	-66,9	0,12	3,41	0.33
<i>Hybrid</i>	-58,49	0,068	12,3	1.92

Data pada Tabel 2 – 4 didapat melalui pengukuran langsung sesuai dengan konfigurasi dan topologi jaringan dengan menggunakan *software* XCTU dan perhitungan sesuai dengan Persaman (1) – (4). Tabel 2 adalah hasil pengukuran RSSI pada kondisi *indoor* dan *outdoor* yang menunjukkan penurunan RSSI sebagai fungsi dari bertambahnya jarak jangkauan, sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 7. RSSI terbesar pada *indoor* dihasilkan oleh topologi *star*, sedang *outdoor* topologi *bus*. Tabel 3 adalah hasil pengukuran *throughput* pada kondisi *indoor* dan *outdoor* sebagai fungsi jarak. Pada Gambar 8 terlihat nilai *throughput* terbesar dicapai oleh topologi *bus* pada kondisi *indoor*, sedangkan *outdoor* dicapai oleh *mesh*. *Delay* menjadi sangat besar pada saat mencapai jarak 40 meter untuk kondisi *indoor* dan jarak 120 meter untuk kondisi *outdoor*, sebagaimana ditunjukkan oleh Tabel 4 dan diperlihatkan oleh Gambar 8.

Tabel 5 dan Tabel 6 adalah rata-rata nilai hasil pengukuran *indoor* dan *outdoor*. Pada kondisi *indoor*, RSSI rata-rata terbaik dihasilkan pada topologi *star* yaitu sebesar -61 dBm pada rentang jarak 0 – 40 meter. Sedangkan pada kondisi *outdoor*, topologi *bus* memiliki rata-rata RSSI terbaik, yaitu sebesar -57.075 dBm pada rentang jarak 0 – 120 meter. Data paket yang dikirim dari pemancar pada penelitian ini sebesar 1,2 kbps, sebagai referensi untuk menghitung besarnya *throughput* terhadap lamanya waktu pengiriman. Besarnya *throughput* maksimal pada kondisi *indoor* dihasilkan oleh topologi *bus* dengan *throughput* rata-rata sebesar 0.281 Kbps. Sedangkan pada kondisi *outdoor* topologi *mesh* memiliki nilai *throughput* terbesar, yaitu 0,12 kbps. Sebaliknya *throughput* terkecil dihasilkan pada topologi *hybrid* pada kedua kondisi, *indoor* dan *outdoor*.

Delay total berpengaruh terhadap sukses tidaknya paket data yang dikirim sampai ke penerima. *Delay* yang kecil akan mengurangi kemungkinan terjadinya kehilangan paket data, sebaliknya jika *delay* total besar maka kemungkinan *packet loss* akan semakin besar. Pada penelitian ini diketahui bahwa topologi *mesh* memiliki *delay* terkecil, yaitu hanya 2,7 detik pada kondisi *indoor*, dan 3,41 detik pada kondisi *outdoor*. Sedangkan *delay* terbesar terjadi pada topologi *hybrid* pada kondisi *indoor*, dan topologi *bus* pada kondisi *outdoor*. *Packet Loss* didapat dengan cara mengirim sejumlah paket data dari pengirim ke penerima. Jika paket data yang diterima adalah sama dengan jumlah yang dikirim, maka dapat dinyatakan pengiriman berhasil sempurna tanpa ada paket data yang hilang (*loss*). Sebaliknya jika paket data yang diterima tidak sama dengan jumlah paket data yang dikirim maka terdapat paket yang hilang (*packet loss*). Besarnya *packet loss* salah satunya disebabkan oleh jarak dengan *delay* yang panjang. *Packet loss* terbesar pada kondisi *indoor* terjadi pada topologi *hybrid*, yaitu sebesar 6,2 paket, dan pada kondisi *outdoor* terjadi pada topologi *bus* sebesar 3,17 paket. Sedangkan topologi *mesh* memiliki *packet loss* terkecil pada kedua kondisi, tercatat sebesar 0,5 paket dan 0,33 paket.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan analisis kinerja dari Xbee sebagai *transceiver* pada jaringan nirkabel dengan membandingkan parameter kinerja, berupa *RSSI*, *throughput* dan *delay* untuk topologi jaringan *bus*, *star*, *mesh* dan *hybrid* pada kondisi *indoor* dan *outdoor*. Hasil rata-rata pengukuran *indoor* pada rentang jarak 0 – 40 m, didapat bahwa *RSSI* terbesar pada topologi *star* sebesar -61 dBm, *throughput* terbesar pada topologi *bus* sebesar 0,281 kbps serta *delay* dan *packet loss* terkecil pada topologi *mesh* yaitu 2,7 detik dan 0,5 paket. Sedangkan hasil rata-rata pengukuran *outdoor* pada rentang jarak 0 – 120 m, didapat bahwa *RSSI* terbesar pada topologi *bus* sebesar -57,07 dBm, *throughput* terbesar pada topologi *mesh* sebesar 0,12 kbps serta *delay* dan *packet loss* terkecil pada topologi *mesh* sebesar 3,41 detik dan 0,33 paket.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Widyagama Malang yang telah membantu penyelesaian penelitian ini. Terima kasih juga disampaikan kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi yang telah membiayai penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Bhasworo, G. K., Rofii, F., & Hunaini, F. (2018). Perancangan Sistem Pemantauan Gas dan Peringatan pada Ruangan melalui Jaringan Nirkabel. *Teknik*, 38(2), 81–91.
- Dener, M., & Bostancioğlu, C. (2015). Smart Technologies with Wireless Sensor Networks. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195, 1915–1921.
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.202>
- Fajriansyah, B., Ichwan, M., & Susana, R. (2016). Evaluasi Karakteristik XBee Pro dan nRF24L01+ sebagai Transceiver Nirkabel. *Jurnal Elkomika*, 4(1), 83 - 97.
- Mukhtar, K., & Sumiharto, R. (2012). Konfigurasi Autonomous Routing untuk Jaringan Sensor Nirkabel Berbasis XBee. *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems)*, 2(1), 33–44.
- Piyare, R., & Lee, S. (2013). Performance analysis of XBee ZB module based wireless sensor networks. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 4(4), 1615–1621.
- Puspitasari, N. F. (2014). Analisis Rssi (Receive Signal Strength Indicator) Terhadap Ketinggian Perangkat Wi-fi Di Lingkungan Indoor. *Data Manajemen Dan Teknologi Informasi (DASI)*, 15(4), 32-38.
- Supriyadi, A., & Gartina, D. (2007). Memilih Topologi Jaringan Dan Hardware Dalam Desain Sebuah Jaringan Komputer. *Informatika*, 16(2), 1037–1053.
- Thamrin, T. (2014). Analisis Kinerja Jaringan Wpan Zegbee Dengan Topologi Cluster Tree. *Jurnal Teknik Elektro ITP ISSN 2252-3472*, 3(1), 19-27.

- Wahyudi, E., Hidayat, R., & Sumaryono, S. (2012). Unjukkerja Standar ZigBee pada WPAN dengan Topologi Mesh. *Jurnal Nasional Teknik Elektro Dan Teknologi Informasi*, 1(2), 40-47.
- Yulianto, D., Jazi Eko, I., Kirbani, S. B., & others. (2012). Model Deteksi Sistem Peringatan Dini Aktivitas Gunungapi semeru dengan Jaringan Sensor Nirkabel Terintegrasi. Retrieved from <http://repository.ugm.ac.id/96945/>