

IMPLEMENTASI DAN ANALISIS SISTEM AKUARIUM PINTAR BERBASIS JARINGAN SENSOR NIRKABEL

R. M. Bima Gentayu, Rendy Munadi, Gustommy Bisono

∴

¹Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom (bimagty@student.telkomuniversity.ac.id)

² Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom (rendymunadi@telkomuniversity.ac.id)

³ Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom (bisono@telkomuniversity.ac.id)

ABSTRAK

Internet sudah berkembang pesat dengan banyaknya penggunaan internet yang mengarah ke perluasan penggunaannya pada benda-benda. Perangkat Xbee beroperasi pada *band* 2.4 GHz dan data hasil sensing sensor dapat diakses dari jarak jauh dengan memanfaatkan jaringan internet atau IoT. Dari beberapa *sensor node* yang tersebar pada jaringan sensor akan dikirimkan data hasil bacaan sensor yaitu berupa nilai pH air yang mampu mengatur keseimbangan nilai pH air secara otomatis, sensor suhu air untuk memberikan rekomendasi frekuensi pemberian pakan ikan dan sensor untuk melihat kuota pakan ikan. Sistem ini membentuk topologi *star* dengan dua *sensor node* dan sebuah *coordinator node*. Data yang terkirim ke *coordinator node* akan diunggah ke server internet dan dapat diakses melalui sebuah laman berbasis *web* yang dapat mengendalikan buka-tutup pakan ikan. Dari hasil pengujian, Xbee S2 bekerja pada maksimum 51.3 meter dan pada saat pengujian di tempat dengan selasar terbuka maupun di tempat dengan ruangan bersekat didapat bahwa *throughput* saat *sensor node* aktif lebih dari 1 akan lebih tinggi dibandingkan hanya 1 *sensor node* yang aktif lalu *delay* berbanding terbalik dengan *throughput*. Pada sis server, *throughput* pada proses *monitoring* lebih rendah dari proses *controlling* sesuai dengan *timespan* saat pengamatan. Sistem memiliki *reliability* sebesar 94.39% dan *availability* sebesar 94.69% diamati dari tingkat kesuksesan dan kegagalan dalam proses pengiriman data pada sistem keseluruhan.

Kata Kunci: *internet of things, jaringan sensor nirkabel, xbee*

PENDAHULUAN

Penggunaan dari konsep *Internet of Things* (IoT) merupakan sebuah paradigma baru yang dibuktikan dengan kenyataan bahwa akan dibutuhkan suatu teknologi yang membuat banyak benda dapat lebih banyak terkoneksi dengan jaringan internet dibandingkan manusia sendiri [1]. IoT dapat terdiri oleh banyak objek, dibuat dengan mengembangkan objek yang digunakan dalam keseharian dengan kemampuan untuk *sensing*,

processing dan networking. Dengan kemampuan-kemampuan itu, data yang dihasilkan oleh suatu perangkat akan mudah diteruskan dan dikomunikasikan dengan perangkat lainnya melalui sebuah jaringan.

Wireless Sensor Network (WSN) atau jaringan sensor nirkabel merupakan jaringan nirkabel yang dalam realisasinya menggabungkan penggunaan beberapa sensor didukung oleh perangkat mikrokontroler [2]. Penggunaan

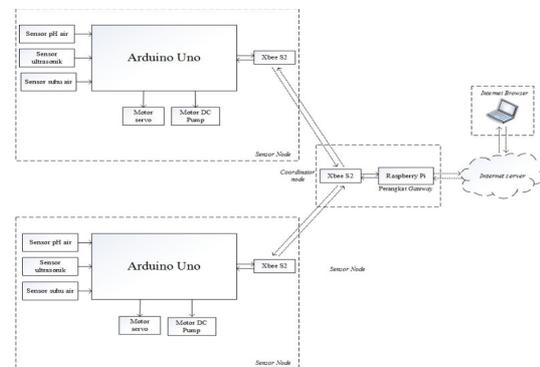
teknologi *wireless sensor network* sudah merambah berbagai bidang contohnya pada pemantauan dan pengendalian beberapa objek seperti akuarium. Dalam kehidupan keseharian, pemilik akuarium biasanya melakukan proses pemantauan secara manual dan bahkan meninggalkan akuarium tanpa dapat dipantau saat berada jauh dari posisi akuarium ditempatkan dan mengakibatkan keterbatasan dalam proses pemantauan keadaan akuarium.

Pada penelitian [3] diterapkan beberapa sensor node dari perangkat komunikasi Xbee yang kemudian menghasilkan data yang pada penelitian ini akan diolah dan diunggah ke server untuk dapat diakses secara online. Pada penelitian lainnya [4], dibangun sebuah akuarium otomatis berbasis ATmega16 yang pemberian pakan ke ikan yang berada di akuarium dapat diatur oleh penggunaanya. Sedangkan pada penelitian [5], dibuat sebuah sistem pemantauan akuarium ikan yang dapat memantau suhu dan melakukan pelaporan kepada pemilik akuarium melalui SMS serta memiliki kemampuan untuk pemberian pakan secara otomatis.

METODE PENELITIAN

Dikembangkan suatu alat sederhana dan mudah dipasang untuk melakukan pemantauan dan pengendalian terhadap kondisi akuarium seperti untuk pemantauan nilai pH air akuarium dan tingkat ketersediaan pakan ikan pada tabung pakan ikan akuarium. Untuk dapat nilai pH air akuarium, diperlukan sensor yang diletakkan di akuarium yang dapat langsung melakukan *sensing* terhadap nilai pH yang

terkandung di air. pH merupakan tetapan ion hidrogen bebas dalam suatu sistem. Nilai ukur pH digunakan untuk mengetahui kadar asam dan basa di dalam air. Kisaran nilai ukur pH antara 0 (sangat asam) dan 14 (sangat basa). Pengukuran kandungan pH bergantung pada unsur ion hidrogen (H^+) di dalam air berelasi dengan kandungan ion hidroksil (OH^-). Semakin banyak kandungan ion hidrogen, semakin asam air tersebut dan semakin rendah nilai pH nya.



Gambar 1.
Diagram Blok Sistem

Dari hasil bacaan tingkat pH air ini, akan disambungkan dengan tabung berisi cairan penyeimbang pH yang dalam air yang bekerja secara otomatis dan melakukan *update* nilai pH akuarium secara periodik. Selain itu pada akuarium ini juga menggunakan sebuah sensor suhu air DS18B20 untuk melakukan pemantauan suhu air yang berkaitan dengan seberapa sering frekuensi makan ikan sesuai dengan keadaan suhu air akuarium. Pemberian pakan untuk ikan Koi (untuk pengamatan dilakukan pada ikan Koi) yang dianjurkan oleh sumber [6] sesuai dengan temperatur/suhu air yaitu:

- Ketika suhu air antara $22^{\circ}C$ sampai $26^{\circ}C$, ikan Koi harus diberi makan setidaknya 3 atau 4 kali sehari.

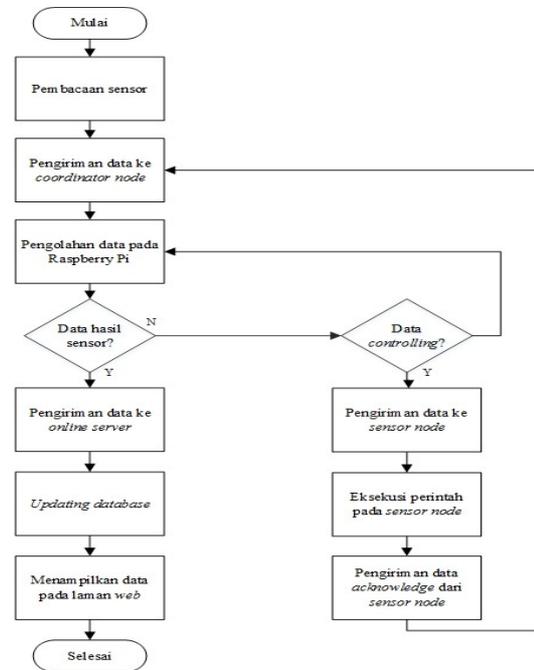
- Ketika suhu air berkisar antara 18°C sampai 22°C, pemberian pakan ikan Koi hanya 1 atau 2 kali sehari.
- Ketika suhu air sekitar 16°C, pakan ikan hanya diberikan 1 kali dalam sehari.

Untuk ketersediaan pakan ikan digunakan sebuah tabung dengan sensor ultrasonik yang akan mendeteksi tinggi dari pakan ikan yang tersedia di dalam tabung. Maka sebuah sistem pemantauan beberapa buah akuarium menggunakan perangkat Xbee S2 sebagai *sensor node* yang terkoneksi ke server internet dan laman *web-based* agar dapat diakses oleh pengguna secara *online* dimanapun berada.

Pada bagian komunikasi nirkabel, digunakan perangkat Xbee yang merupakan salah satu modul telemetri yang berkemampuan sebagai *Receiver* dan *Transmitter* atau dapat melakukan komunikasi dua arah. Xbee mempunyai kemampuan komunikasi secara serial dengan cara mengirim dan menerima data seperti komunikasi serial pada umumnya. Modul Xbee menggunakan komunikasi serial dengan modulasi *Frequency Shift Keying* (FSK) dengan frekuensi 2.4 GHz [7].

Pada bagian analisis, akan dilakukan pengamatan dan pengujian kinerja dari sistem yang telah dirancang serta akurasi sistem terhadap beberapa kondisi yang telah ditentukan. Setelah melakukan pengamatan terhadap sistem yang telah dibangun, kemudian ditarik kesimpulan terhadap kinerja dari sistem dan difokuskan ke pengamatan *Quality of Service* dari sistem termasuk di

dalamnya proses komunikasi antar Xbee S2 dan proses komunikasi dari Raspberry Pi (*gateway device*) hingga *database* pada server.



Gambar 2.
Diagram Alir Sistem

PEMBAHASAN

Parameter yang digunakan pada pengujian sistem akuarium pintar ini mencakup *Quality of Service* (QoS) dari jaringan sensor nirkabel dan jaringan yang menghubungkan *gateway device* ke *database* pada server. Beberapa parameter yang digunakan antara lain:

- *Delay* adalah lama waktu yang diperlukan oleh paket saat dikirim oleh pengirim sampai diterima oleh penerima.
- *Round Trip Time* adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan sebuah packet dari pengirim ke penerima hingga pengiriman *acknowledgement* kembali [8].
- *Throughput* adalah kecepatan rata-rata data yang diterima dalam selang waktu pengamatan tertentu [9].

$$\text{Throughput} = \frac{\text{Ukuran frame}}{\text{Total waktu pengiriman frame}} \quad (1)$$

- *Reliability* atau realibilitas adalah kemungkinan dari suatu sistem atau komponen untuk dapat memenuhi fungsi yang dibutuhkan, pada kondisi tertentu dan pada periode waktu tertentu [10].

$$Reliability = \frac{(Uptime - Downtime)}{Uptime} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana *uptime* merupakan total waktu dimana sistem atau komponen dalam kondisi *rise/reliable*, sedangkan *downtime* adalah total waktu dimana sistem atau komponen dalam kondisi *failure/unreliable*.

- *Availability* adalah kemungkinan suatu sistem atau komponen siap untuk beroperasi saat dibutuhkan [10].

$$Availability = \frac{Uptime}{(Uptime + Downtime)} \times 100\% \quad (3)$$

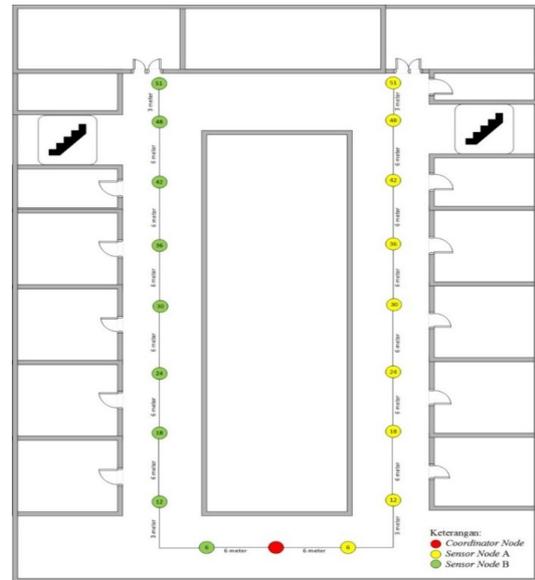
Tabel 1.

Pengujian Jarak Jangkauan Xbee S2

Jarak (meter)	Status
6	Terhubung
12	Terhubung
18	Terhubung
24	Terhubung
30	Terhubung
36	Terhubung
42	Terhubung
48	Terhubung
51	Terhubung
51.4	Tidak Terhubung

Dari data hasil pengujian jarak jangkauan Xbee S2, pada jarak terdekat pengukuran sampai dengan 51.3 meter kedua Xbee S2 baik *coordinator node* dan *sensor node* masih terhubung, tetapi pada jarak lebih jauh dari itu, kedua *node* sudah tidak dapat terhubung yang dibuktikan dengan *serial monitor* yang berhenti menerima data. Hal ini terjadi karena jaraknya sudah tidak dalam jangkauan Xbee S2 dan sensor node sudah tertutup *obstacle* berupa dinding

pembatas ruangan. Dapat ditarik kesimpulan bahwa jarak jangkauan kerja maksimum Xbee S2 pada Selasar Terbuka dan *indoor* adalah sekitar 51.3 meter, tidak sesuai dengan jarak maksimum yang tertera pada *datasheet* Xbee S2.



Gambar 3.
Denah Lokasi Pengujian Xbee S2 pada Selasar Terbuka

Throughput yang dihitung pada sistem ini adalah *throughput* pada sisi *coordinator node* dengan kondisi 1 *sensor node* (hanya *node A*) aktif maupun 2 *sensor node* (*node A* dan *node B*) aktif bersamaan yang diamati pada saat proses *monitoring* saja dan pada proses *monitoring* dan *controlling* berjalan bersamaan.

Tabel 2.
Pengujian *Throughput* Xbee S2 pada Selasar Terbuka

Node Aktif	Kondisi	Jarak (meter)								
		6	12	18	24	30	36	42	48	51
1 Sensor Node	Monitoring	6.4	7	9.1	13	8.4	8.3	7.4	7.3	6.7
	Controlling dan Monitoring	6	6.1	7.9	8	6.6	5.7	5.5	5.4	5.2
2 Sensor Node	Monitoring	14	18.4	25	29.2	22.4	21.2	20.6	14.4	12.4
	Controlling dan Monitoring	13	16.6	20.6	22.4	15.6	12.8	11.8	10.6	10.2

Sesuai dengan hasil pengujian yang ada di tabel 2, didapatkan nilai *throughput* tertinggi dengan kondisi hanya 1 *sensor node* yang aktif adalah 13 Bytes/s di jarak 24 meter pada proses *monitoring* dan juga 8 Bytes/s di jarak yang sama pada proses *controlling* sekaligus *monitoring*. Pada kondisi 2 *sensor node* aktif secara bersamaan (A dan B), nilai *throughput* tertinggi adalah 29.2 Bytes/s pada proses *monitoring* di jarak 24 meter dan juga 22.4 Bytes/s pada proses *controlling* sekaligus *monitoring* di jarak yang sama. Dari hasil pengujian ini dapat ditarik kesimpulan bahwa jarak 24 meter adalah jarak paling optimal Xbee S2 dapat bekerja dilihat dari nilai *throughput* yang didapat cukup konsisten pada beberapa kondisi yang berbeda.

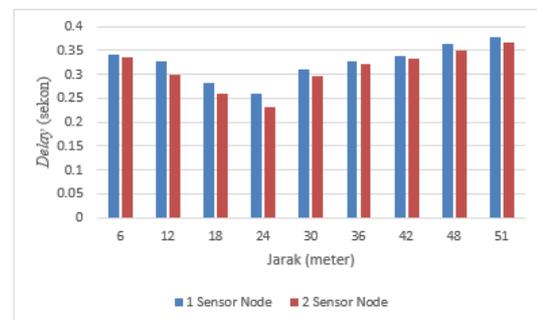
Pada pengujian nilai *delay* pada kondisi tempat di selasar terbuka, dilakukan pengujian pada *sensor node* A dan B secara bergantian untuk mengetahui waktu *delay* yang diperlukan apabila suatu perintah dijalankan melalui *coordinator node*. Pengujian ini dilakukan dengan mengirimkan sebuah data pada saluran komunikasi Serial antara bagian *coordinator node* dan bagian *sensor node*. Setelah dilakukan pengiriman data pada saluran Serial, diamati respon dari *sensor node* yang juga mengirimkan sebuah data balasan kepada *coordinator node*. Selisih dari saat waktu pengiriman data pada *coordinator node* dan waktu tibanya data pada *sensor node* (ditandai kiriman data waktu penerimaan data pada *sensor node*) adalah nilai *delay* yang didapatkan.

Tabel 3.

Pengujian *Delay* Xbee S2 pada Selasar Terbuka

Node Aktif	Jarak (meter)								
	6	12	18	24	30	36	42	48	51
1 Sensor Node	0.3412	0.3279	0.283	0.2585	0.3107	0.3265	0.3383	0.3637	0.3768
2 Sensor Node	0.3352	0.3001	0.2596	0.2305	0.2957	0.3227	0.3316	0.3505	0.3657

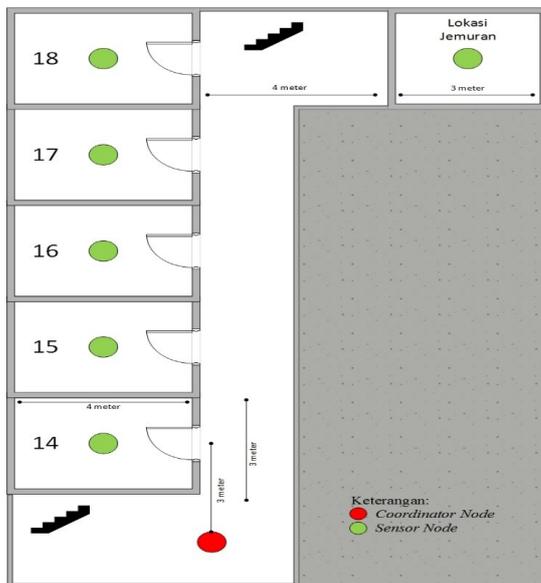
Berdasarkan hasil pengujian, *delay* terendah terjadi pada jarak 24 meter antara *coordinator node* dan 1 *sensor node* yaitu bernilai 0.2585 sekon dan 0.2305 sekon merupakan nilai *delay* terendah di saat *sensor node* A dan *sensor node* B aktif bersamaan pada jarak 24 meter. Hal ini dapat terjadi akibat jarak yang jauh dan *obstacle* yang ada pada lokasi pengujian yang mengganggu proses pengiriman data dari dan ke *sensor node* ke *coordinator node* dan ini relevan dengan nilai *throughput* yang mencapai titik optimalnya pada pengujian di jarak 24 meter sehingga dapat disimpulkan semakin tinggi nilai *throughput* maka semakin rendah *delay* pada titik pengamatan tersebut (berbanding terbalik).



Gambar 4.
Pengujian *Delay* Xbee S2 pada Selasar Terbuka

Pada pengujian scenario kedua, dipilih tempat berbentuk Rumah Kost untuk mengetahui kualitas dari jaringan Xbee S2 jika digunakan pada ruang bersekat karena tempat ini memiliki beberapa buah kamar yang digunakan sebagai tempat peletakan *sensor node* dan memiliki variasi jarak dan *obstacle* pada tiap kamar/ruangan. Tempat pengujian

dengan skenario ini memiliki denah seperti gambar berikut:



Gambar 5.

Denah Lokasi Pengujian Xbee S2 pada Ruang Bersekat

Throughput yang dihitung pada sistem ini adalah *throughput* pada sisi *coordinator node* (diletakkan pada kamar nomor 1) dengan kondisi 1 *sensor node* (hanya *node A*) aktif maupun 2 *sensor node* (*node A* dan *node B*) aktif bersamaan yang diamati pada saat proses *monitoring* saja dan pada proses *monitoring* dan *controlling* berjalan bersamaan.

Tabel 4.

Pengujian *Throughput* Xbee S2 pada Ruang Bersekat saat 1 *Sensor Node* Aktif

Kondisi	Kamar					
	14	15	16	17	18	Jemuran
<i>Monitoring</i>	7.8	7.4	10.4	7.2	7.2	6
<i>Controlling dan Monitoring</i>	7.2	6.2	8	7.4	6	6

Pada tabel 4, terlihat bahwa nilai *throughput* tertinggi diperoleh pada saat *sensor node* berada pada kamar nomor 16 untuk proses *monitoring* maupun *controlling*. *Packet* yang dikirim maupun diterima oleh *sensor node* nilai *throughput*-nya sebesar 10.4 *Bytes/s*

pada proses *monitoring* saja dan 8 *Bytes/s* pada proses *monitoring* dan *controlling* dilakukan bersamaan. Hal ini mengindikasikan bahwa *throughput* yang paling optimal terjadi pada saat *sensor node* berada pada kamar nomor 16 dan setelah digeser ke kamar selanjutnya kembali turun dikarenakan jarak, *obstacle* maupun *noise* yang semakin bertambah.

Pada saat dilakukan pengamatan dengan kondisi 2 *sensor node* aktif bersamaan, dapat dilihat perbedaan nilai rata-rata *throughput* dari kondisi hanya 1 *sensor node* yang aktif. Pada saat 2 *sensor node* aktif secara bersamaan, *throughput* tertinggi mencapai nilai 17.6 *Bytes/s* di saat *sensor node* diletakkan di kamar nomor 16 dan lokasi Jemuran.

Tabel 5.

Pengujian *Throughput* Xbee S2 pada Ruang Bersekat saat 2 *Sensor Node* Aktif

Kondisi	Kamar				
	14	15	16	17	18
<i>Monitoring</i>	15.8	14.4	17.6	15.4	15.2
<i>Controlling dan Monitoring</i>	12.6	12.2	15.6	11.8	12.6

Pada pengujian nilai *delay*, yang diamati adalah *delay* antara saat TX (*coordinator node*) mengirimkan sebuah data ke RX (*sensor node*) hingga diterimanya respon dari *sensor node* pada *coordinator node*. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan waktu pada *coordinator node* sebagai acuan dan alasan dilakukannya pengujian hanya dengan kondisi *monitoring* dan *controlling* berjalan bersamaan dikarenakan pada sistem akuarium pintar yang sedang dibangun menggunakan kondisi seperti saat pengujian ini dilakukan. Berikut merupakan hasil rata-rata *delay round trip* yang dihasilkan dari pengujian dengan hanya 1 *sensor node* yang aktif dan dilakukan sebanyak 10 kali

pengiriman data *controlling* ke arah *sensor node*:

Tabel 6.
Pengujian *Delay Round Trip* Xbee S2 pada Ruang Bersekat saat 1 *Sensor Node* Aktif

Percobaan ke-	Kamar					Jemuran
	14	15	16	17	18	
1	0.566	0.375	0.251	0.383	0.421	0.245
2	0.465	0.21	0.116	0.425	0.25	0.517
3	0.413	0.402	0.178	0.089	0.127	0.169
4	0.425	0.232	0.545	0.096	0.268	0.734
5	0.365	0.55	0.207	0.199	0.127	0.502
6	0.291	0.484	0.086	0.474	0.407	0.367
7	0.244	0.489	0.274	0.167	0.117	0.221
8	0.197	0.532	0.098	0.408	0.494	0.196
9	0.146	0.41	0.179	0.286	0.343	0.261
10	0.542	0.259	0.274	0.154	0.464	0.483
Rata-rata	0.3654	0.3943	0.2208	0.2681	0.3018	0.3695

Dari hasil pengujian di atas, terlihat bahwa nilai *throughput* dan nilai *delay* berbanding terbalik dimana pada hasil pengujian saat *sensor node* diletakkan di kamar nomor 16 maka *delay* yang didapat cenderung lebih rendah dibandingkan dengan kondisi dimana *sensor node* diletakkan di kamar lain. Nilai rata-rata *delay round trip* pada kamar nomor 16 adalah 0.2208 sekon berkebalikan dengan tingginya nilai *throughput* yang didapat dengan kondisi yang sama.

Sementara untuk *delay* pada saat 2 *sensor node* aktif secara bersamaan, dilakukan pengujian sebanyak 5 kali *controlling* pada masing-masing *sensor node* dengan tujuan untuk mendapatkan *delay round trip* yang selanjutnya dihitung *delay* untuk satu arah saja yaitu *delay* dari *coordinator node* menuju *sensor node* yang dapat dilihat di tabel berikut ini:

Tabel 7.
Pengujian *Delay* Xbee S2 pada Ruang Bersekat saat 2 *Sensor Node* Aktif

Percobaan ke-	Kamar				
	14	15	16	17	18
1	0.207	0.24975	0.18325	0.24975	0.21575
2	0.177	0.24975	0.153	0.2715	0.15925
3	0.09425	0.2715	0.19225	0.2425	0.177
4	0.1045	0.2425	0.221	0.2075	0.25075
5	0.3295	0.3445	0.135	0.3445	0.30125
Rata-rata	0.1825	0.2716	0.1769	0.2631	0.2208

Dari hasil pengujian *delay* pada saat 2 *sensor node* aktif bersamaan, maka didapatkan rata-rata *delay* terendah bernilai 0.1769 sekon pada saat *sensor node* A diletakkan di kamar nomor 16 dan *sensor node* B diletakkan di lokasi jemuran. Hasil ini menunjukkan bahwa tingginya *delay* pada suatu proses komunikasi berbanding terbalik dengan nilai *throughput* dimana pada saat pengujian di kamar nomor 16 nilai *throughput* lebih tinggi menyebabkan rendahnya *delay*.

Pada proses *monitoring*, dapat diketahui bahwa rata-rata ukuran *packet* yang masuk ke server adalah 420.78 *Bytes*. Sementara untuk nilai rata-rata *throughput* pada proses pemantauan (*monitoring*) dari percobaan yang dilakukan yaitu 401.98 *Bytes/s*. Sementara hasil percobaan yang dilakukan untuk nilai *delay* rata-rata dari *interface* Raspberry Pi hingga mencapai *interface* pada server sebesar 0.7807 sekon.

Sementara pada percobaan dalam proses *controlling*, dapat diketahui bahwa rata-rata ukuran *packet* yang masuk ke server adalah 390.74 *Bytes*. Nilai rata-rata *throughput* pada proses *controlling* dari percobaan yang dilakukan yaitu 451.92 *Bytes/s*. Untuk nilai *delay* yang diamati pada percobaan diatas merupakan *delay* saat *packet* meninggalkan *interface* Raspberry Pi hingga saat *packet* yang diminta dikirimkan dan tiba kembali di *interface* Raspberry Pi karena pada proses *controlling* adalah proses

checking terhadap isi *database* yang terletak di server. Hasil percobaan rata-rata pengukuran *delay* adalah sebesar 0.5726 sekon.

Setelah melakukan pengujian pada proses *monitoring* dan proses *controlling* menggunakan protokol yang sama (protokol TCP dan HTTP) dan nomor *port* yang sama (*port* 80), terlihat bahwa rata-rata ukuran *packet* pada proses *controlling* sedikit lebih kecil dibanding rata-rata ukuran *packet* pada proses *monitoring* dikarenakan *packet* yang masuk pada server dari proses *monitoring* membawa data hasil pembacaan sensor. Sementara itu untuk nilai *throughput* terlihat pada proses *controlling* lebih tinggi dibandingkan proses *monitoring* dikarenakan pada rata-rata *timespan* (lama waktu pengamatan dari *packet* dari *packet* pertama hingga *packet* terakhir) proses *monitoring* memerlukan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan *timespan* pada proses *controlling* sehingga berdasarkan rumus *throughput*, maka mempengaruhi nilai *throughput*. Sedangkan untuk nilai *delay* yang didapat dari percobaan di atas, didapat bahwa *delay* yang lebih kecil pada proses *controlling* diakibatkan ukuran *packet* yang dikirimkan lebih kecil dibandingkan pada saat proses *monitoring* saat memasuki server. Jadi dapat disimpulkan bahwa nilai *delay* dan nilai *throughput* berbanding terbalik, jika semakin tinggi nilai *throughput* yang diproses dalam satu interval (*timespan*) pengamatan maka semakin rendah nilai *delay* begitu juga dengan ukuran *packet* berpengaruh terhadap nilai *delay* dimana semakin kecil ukuran *packet* yang dikirim maka nilai *delay* juga semakin kecil.

Tabel 7.

Pengujian *Delay* Xbee S2 pada Ruangan Bersekat saat 2 *Sensor Node* Aktif

	<i>Uptime</i> (sekon)	<i>Downtime</i> (sekon)	<i>Reliability</i> (%)	<i>Availability</i> (%)
<i>Node A</i>	223.6626	13.0943	94.14551	94.46931
<i>Node B</i>	211.7366	11.3203	94.65359	94.92493

Untuk pengujian *reliability* dan *availability* dari sistem, dilakukan total 400 kali percobaan, pada *sensor node A* dimana ada 392 kali percobaan yang sukses dengan 8 kali percobaan gagal sementara pada *sensor node B* ada 393 kali percobaan yang sukses dan 7 kali percobaan gagal. Kegagalan *capturing* data dari Xbee S2 pada Raspberry Pi karena data yang masuk ke *coordinator node* bersifat *burst* atau rentetan yang tidak teratur sesuai dengan *clock* pengiriman dari masing-masing Arduino pada *sensor node* ditambah dengan *delay* pada saat proses transmisi data. Jadi, dari pengamatan di atas, dapat disimpulkan bahwa sistem memiliki *reliability* sebesar 94.39% dan 94.69% *availability*.

Sementara pada proses pengiriman data dari Raspberry Pi ke *database* di server menggunakan protokol TCP dengan percobaan pengiriman data sebanyak 500 data untuk proses *monitoring* dan 500 data *controlling* yang berhasil dikirimkan ke server. Namun pada proses transfer data dengan protokol TCP, jika terdapat proses komunikasi yang gagal maka akan dilakukan *retransmitting* terhadap data tersebut yang mengakibatkan bertambahnya nilai *delay* pada proses transfer data.

SIMPULAN DAN SARAN

Dari pengujian-pengujian yang telah dilakukan, didapatkan hasil bahwa sistem akuarium pintar yang telah dibangun memiliki performansi yang cukup baik dengan memperoleh *reliability* sebesar 94.39% dan *availability* sebesar 94.69% untuk data

yang ditransferkan melalui jaringan Xbee S2 maupun ke server melalui internet. Selain itu, dapat diketahui bahwa penggunaan Xbee S2 untuk proses transfer data memiliki titik optimal pada jarak antar *coordinator node* dan *sensor node* sejauh 24 meter pada ruangan *indoor* di selasar terbuka. Selain itu jika digunakan pada ruangan dengan kamar-kamar yang bersekat, Xbee S2 masih dapat bekerja dengan baik dalam pengiriman data. Pada saat nilai *throughput* tinggi pada titik jarak tertentu, nilai *delay* mengalami perbandingan terbalik yang berarti semakin kecil nilai *delay* yang didapatkan. Dengan performansi jaringan Xbee S2 maupun dari *gateway device* ke server internet, dapat ditarik kesimpulan bahwa sistem ini dapat digunakan dengan baik untuk melakukan proses pemantauan dan pengendalian sistem akuarium yang berbasis jaringan sensor nirkabel dan *internet of things*.

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, sistem dapat dibuat dengan penambahan sistem keamanan pada sisi server agar data yang dikirimkan tidak mudah dibaca atau di-*sniffing* untuk tujuan yang salah. Sistem pemberian pakan pada ikan dapat dikembangkan agar berjalan secara otomatis dengan memperhatikan pergerakan dan perilaku ikan yang nantinya sistem dapat memanfaatkan teknologi *image processing*. Selain itu dapat dibangun juga sebuah sistem akuarium yang mempertahankan kejernihan airnya sendiri agar lebih mempermudah perawatan akuarium.

DAFTAR PUSTAKA

[1] N. Khalil, M. R. Abid, D. Benhaddou, M. Gerndt. "Wireless Sensor Networks for Internet of Things"

in ISSNIP Symposium on Public Internet of Things pp 1-6. 2014.

[2] W. Yogaswara, B. Rahmat, R. Mayasari. "Design and Implementation of Indoor Localization System based on Wireless Sensor Network with Zigbee Devices". Bandung: Universitas Telkom. 2016.

[3] Kurniawan, Aditya. "Implementasi dan Analisa Jaringan Wireless Sensor Network untuk Monitoring Suhu, Kelembapan dan kadar CO2 pada Ruangan". Bandung: Universitas Telkom. 2015.

[4] Nulhakim, Lukman. "Alat Pemberi Makan Ikan di Akuarium Otomatis berbasis Mikrokontroler ATmega16". Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta. 2014.

[5] M. N. Uddin, dkk. "Development of Automatic Fish Feeder" in Global Journal of Researches in Engineering: A Mechanical and Mechanics Engineering volume 16 issue 2. 2016.

[6] Vartikel. "Cara Memberi Makan Ikan Koi". [Online]. Tersedia di <https://vartikel.com/19127/cara-memberi-makan-ikan-koi/>. Diakses pada tanggal 25 April 2017.

[7] Takoy, Ria Michelle. "Implementasi dan Analisa Wireless Sensor Network untuk Monitoring Sistem Penyiraman". Bandung: Universitas Telkom. 2017.

[8] Samson, Judith. "Predicting Round Trip Time for the TCP Protocol". Advanced Machine Learning. CMPS 290c. 2013.

[9] Cahyanti, Nanda. "Sistem Pengawasan dan Kontrol dengan Perangkat Cerdas yang Diterapkan pada Rumah Menggunakan Internet of Things dan Modul 3G". Bandung: Universitas Telkom. 2013.

[10] L. Hapsari, R. Munadi, R. Muldina Negara. "Implementasi dan Analisis Performansi Virtual Redundancy Router Protocol (VRRP) pada Jaringan VPLS". Bandung: Universitas Telkom. 2013.