

# Kinerja Teknologi ZigBee pada *Wireless Sensor Networks* untuk Sistem Pengurasan Kolam Ikan Air Tawar

Rinanza Zulmy Alhamri<sup>1</sup>, Ashafidz Fauzan Dianta<sup>2</sup>, Toga Aldila Cinderatama<sup>3</sup>  
PSDKU Politeknik Negeri Malang Kediri<sup>1,2,3</sup>,

Jl. Lingkar Maskumambang, Sukorame, 64119, Kediri, Indonesia

*rinanza.z.alhamri@gmail.com*<sup>1</sup>, *ashafidz.fauzan@gmail.com*<sup>2</sup>, *aldilacinderatama@gmail.com*<sup>3</sup>

**Abstrack** – Drain process is one of the main process of freshwater fish farming that needs to be improved its efficiency. By using Wireless Sensor Networks with ZigBee technology based, the drain system was able to be performed automatically. The fish ponds have different size and drainage position. The purpose of this study was to know the performance of ZigBee technology. The nodes were coordinator as input water controller, end device 1 as water level sensor, and end device 2 as output water controller. The test used maximum data size at 21 Bytes and processing intervals per 300 ms. There were three fish ponds that tested, which were 1<sup>st</sup> pond with 2x4x0.5 m, 2<sup>nd</sup> pond with 6x8x1 m, and 3<sup>rd</sup> pond with 6x15x1 m. The testing parameters consisted of delay, throughput, packet loss, and RSSI. Highest delay was communication between coordinator – end device 2 at 3<sup>rd</sup> pond with average in 2189.07 ms. Highest throughput was communication between end device 1 – coordinator at 1<sup>st</sup> pond with average in 0.38 KBps. Packet loss happened at communication between coordinator – end device 2 at 3<sup>rd</sup> pond with 20%. Highest RSSI was communication between end device 1 – coordinator at 1<sup>st</sup> pond with average in -64 dBm.

**Keywords** – Drain System, Wireless Sensor Networks, ZigBee

**Intisari** – Pengurasan kolam merupakan salah satu proses bisnis utama budidaya ikan air tawar yang perlu ditingkatkan efisiensinya. Dengan menggunakan Wireless Sensor Networks berbasis teknologi ZigBee, sistem pengurasan pada kolam ikan dapat dilakukan secara otomatis. Kolam ikan memiliki ukuran dan posisi saluran air yang berbeda-beda. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja dari teknologi ZigBee dalam mendukung sistem pengurasan pada kolam ikan. Terdapat 3 perangkat pada sistem meliputi coordinator sebagai pengendali air masuk, end device 1 sebagai sensor ketinggian air kolam, dan end device 2 sebagai pengendali air keluar. Pengujian dilakukan dengan maksimal ukuran data sebesar 21 Byte serta interval pemrosesan per 300 ms. Kolam ikan yang diuji ada 3 macam meliputi kolam 1 ukuran 2x4x0.5 m, kolam 2 ukuran 6x8x1 m, dan kolam 3 ukuran 6x15x1 m. Parameter pengujian meliputi *delay*, *throughput*, *packet loss*, dan RSSI. *Delay* tertinggi komunikasi antara coordinator – end device 2 pada kolam 3 dengan rata-rata 2189.07 ms. *Throughput* tertinggi komunikasi antara end device 1 – coordinator pada kolam 1 dengan rata-rata 0.38 KBps. *Packet loss* terjadi pada komunikasi antara coordinator – end device 2 di kolam 3 dengan persentase 20%. Nilai RSSI tertinggi komunikasi end device 1 – coordinator pada kolam 1 dengan rata-rata -64 dBm.

**Kata Kunci** – Sistem Pengurasan, Wireless Sensor Networks, ZigBee

## I. PENDAHULUAN

Salah satu proses terpenting untuk budidaya ikan air tawar adalah pengurasan kolam. Tujuan dari proses pengurasan kolam adalah untuk membuat kualitas air menjadi lebih ideal bagi budidaya ikan. Sebagai contoh pada kolam lele, kondisi air di kolam harus tetap bersih meskipun lele memiliki daya tahan tinggi [1]. Air kotor di kolam disebabkan oleh kotoran dan sisa makanan ikan. Jika tidak dibersihkan, mereka dapat menjadi amonia yang beracun bagi

ikan, sehingga kualitas air akan mempengaruhi kelangsungan hidup ikan [2]. Pada dasarnya frekuensi dari proses pengurasan kolam masih menjadi perdebatan, tergantung pada jenis ikan atau pada masing-masing petani sendiri. Namun proses pengurasan kolam tidak bisa dilakukan dengan sembarangan, perlu proses yang baik secara efektif dan efisien. Berdasarkan data dari Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia, sebagian besar petani ikan air tawar adalah industri rumahan dengan jumlah hingga 935,104 [3]. Angka ini akan meningkat sebanding dengan permintaan ikan air tawar dengan rata-rata peningkatan hingga 24% pada tahun 2015. Efisiensi memiliki dampak terhadap produktivitas, dengan peningkatan efisiensi akan mengurangi pemanfaatan sumber daya [4]. Itulah sebabnya efisiensi proses pengurasan kolam adalah salah satu faktor kunci untuk mengejar peningkatan produksi.

Berkembangnya teknologi informasi dan komunikasi (TIK) membuat proses bisnis industri lebih efisien. Salah satu TIK yang berkembang untuk kebutuhan industri saat ini adalah jaringan sensor nirkabel (WSN). WSN terdiri dari beberapa sensor kecil yang diterapkan di tempat tertentu secara nirkabel untuk mengumpulkan data tertentu. Sensor-sensor tersebut menjadi referensi untuk memroses beberapa tugas menggunakan aktuator secara otomatis untuk tujuan tertentu. WSN telah digunakan oleh industri untuk mengotomatisasi proses [5] dan untuk efisiensi pengendalian beberapa objek [6]. Sektor budidaya ikan air tawar dapat menggunakan teknologi WSN untuk mendapatkan beberapa keuntungan. Beberapa penelitian telah dilakukan sebelumnya untuk membuat desain yang memanfaatkan WSN untuk kebutuhan budidaya ikan. Untuk memeriksa kondisi air seperti suhu dan tingkat keasaman [7] [8], juga untuk memantau kualitas air seperti tingkat air, kekeruhan, suhu, dan keberadaan minyak, bahkan perilaku ikan menggunakan sensor keberadaan dan sensor yang tergantung cahaya telah dilakukan sebelumnya [9].

Implementasi WSN yang baik menggunakan perangkat nirkabel yang hemat biaya, rendah, dan andal untuk mendukung proses tersebut. Protokol ZigBee adalah salah satu teknologi nirkabel untuk mengimplementasikan WSN yang memiliki konsumsi daya rendah dengan area jangkauan luas hingga 150 m [10]. ZigBee adalah protokol untuk mendukung WSN pada industri yang menggunakan standar IEEE 802.15.4. Spesifikasi IEEE 802.15.4 menggunakan spesifikasi Industrial, Scientific, Medical (ISM) yang tidak berlisensi dengan frekuensi 2,4 GHz. Standar IEEE 802.15.4 mendukung WSN untuk membangun jaringan sensor dan aktuator yang fleksibel dengan kemampuan routing [11]. Protokol ZigBee populer di berbagai sektor industri untuk mendukung WSN di bidang kesehatan, manufaktur, pertambangan, militer, dan sebagainya. Dengan konsumsi daya yang rendah, area jangkauan yang luas, dan komunikasi data yang andal, ZigBee sesuai dengan kebutuhan untuk mengotomatisasi proses pengurasan kolam ikan. Otomasi sistem penggantian air pada akuarium berbasis mikrokontroler telah dilakukan sebelumnya [12]. Pengontrol kualitas air di kolam ikan telah diteliti menggunakan jaringan nirkabel RFM12-433S [13]. ZigBee juga digunakan untuk mengkomunikasikan data kekeruhan air dengan topologi peer to peer untuk sistem sirkulasi air di akuarium ikan air tawar [14].

Walaupun ZigBee dapat mencakup area yang luas, ZigBee sensitif dari gangguan spektrum lain atau pelemahan sinyal dari bangunan atau bahan lain. Mengembangkan sistem pengurasan kolam menggunakan jaringan ZigBee harus mempertimbangkan kinerja protokol ZigBee ketika diimplementasikan di kolam ikan air tawar secara nyata. Kolam dimungkinkan memiliki berbagai ukuran, bahkan sistem drainase ditempatkan di tempat yang berbeda-beda pada setiap kolam. Kualitas layanan (QoS) ZigBee penting untuk membuat proses sistem pengurasan dapat bekerja dengan baik. Banyak analisis kinerja ZigBee yang telah dilakukan sebelumnya oleh para peneliti. Dampak gangguan WiFi 802.11g terhadap kinerja ZigBee telah dilakukan [15]. Hasilnya WiFi 802.11g tidak mengganggu jaringan ZigBee secara signifikan. Kinerja ZigBee juga telah dievaluasi di bawah koeksistensi WiFi 802.11b [16]. Dengan mengacu pada tingkat Packet Error Rate (PER), Link Quality Indicator (LQI), dan Received Signal Strength Indicator

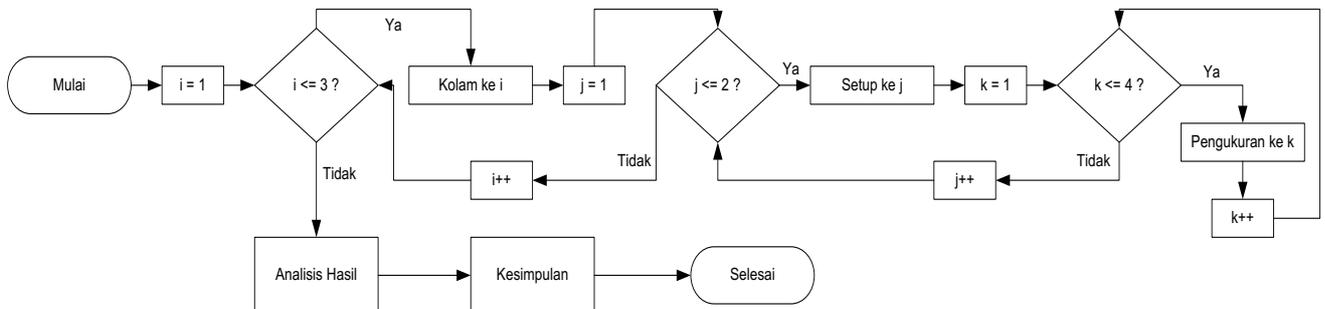
(RSSI), dapat dikembangkan algoritma deteksi dan *avoidance* untuk menekan Bit Error Rate (BER) dan Packet Error Rate (PER) pada komunikasi ZigBee. Telah diteliti kinerja ZigBee di bawah koeksistensi Bluetooth dan WiFi di mana pengaruh signifikan terjadi ketika perangkat ditaruh secara menyilang [17]. Evaluasi jaringan ZigBee di bawah gangguan tegangan tinggi [18] menunjukkan bahwa aliran listrik mampu memberi dampak signifikan pada perangkat ZigBee bahkan bisa membuatnya rusak secara fisik ketika daya berada pada tegangan tinggi.

Untuk mengukur kinerja jaringan ZigBee dengan benar, para peneliti telah menerapkan cara bagaimana mengukur kualitas layanan ZigBee. Pengujian kualitas layanan dari penerapan Xbee pada WSN telah dilakukan dengan kondisi Line on Sight (LOS) dan Non-Line on Sight (NLOS) dari kedua perangkat [19]. Parameter kinerja mengacu pada persentase *delay*, *throughput*, dan *packet loss*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan berbagai ukuran, interval waktu, jarak, dan cuaca. Hasilnya menunjukkan bahwa cuaca hujan dan jarak jauh memberikan efek pada kinerja ZigBee. Analisis kinerja ZigBee menggunakan Xbee ZB di WSN juga telah dilakukan [20]. Pengujian kinerja dilakukan menggunakan RSSI, *throughput*, *delay*, *recovery time*, dan konsumsi daya sebagai parameter kinerja ZigBee. Dari studi ini diperoleh bahwa semakin jauh jarak membuat RSSI lebih rendah, *throughput* yang lebih tinggi menggunakan *baud rate* yang lebih tinggi 115200 bps dan jumlah hop yang lebih rendah, *delay* tinggi diperoleh ketika menggunakan banyak hop dan data, dan penggunaan mode tidur secara periodik tertentu meningkatkan *life time* perangkat.

Dari penjelasan awal, diketahui bagaimana karakteristik kinerja jaringan ZigBee dalam berbagai macam penerapan industri. Tetapi belum ada data kinerja lapangan ZigBee untuk industri rumah tangga budidaya ikan air tawar terutama untuk tujuan sistem pengurusan otomatis. Penelitian ini mencoba mengimplementasikan jaringan ZigBee untuk mendukung WSN sistem pengurusan otomatis untuk kolam ikan air tawar. Pengujian dilakukan di lapangan menggunakan berbagai ukuran kolam ikan. Parameter kinerja diukur menggunakan *delay*, *throughput*, *packet loss*, dan RSSI. Diharapkan bahwa hasil penelitian ini dapat digunakan untuk mengembangkan aplikasi yang berguna untuk industri budidaya ikan air tawar.

## II. METODE PENELITIAN

Metode yang dilakukan untuk memperoleh kinerja teknologi ZigBee dalam mendukung WSN pada sistem pengurusan kolam ikan air tawar ini terdiri dari 5 tahapan meliputi Penentuan Kolam, Setup, Pengukuran, Analisis Hasil, dan Kesimpulan. Pada tahap Penentuan Kolam ditentukan jenis kolam yang akan digunakan untuk pengujian. Kemudian pada tahap Setup, dikonfigurasi komunikasi ZigBee pada jaringan sesuai tipe topologi. Setelah perangkat dikonfigurasi, maka dilakukan pengukuran kinerja jaringan ZigBee pada tahap Pengukuran. Tahap Analisis Hasil melakukan analisis terhadap semua hasil pengukuran yang dilakukan. Dan yang terakhir adalah tahap Kesimpulan dimana mengambil kesimpulan dari analisis hasil pengukuran.



Gambar 1. Metode Penelitian

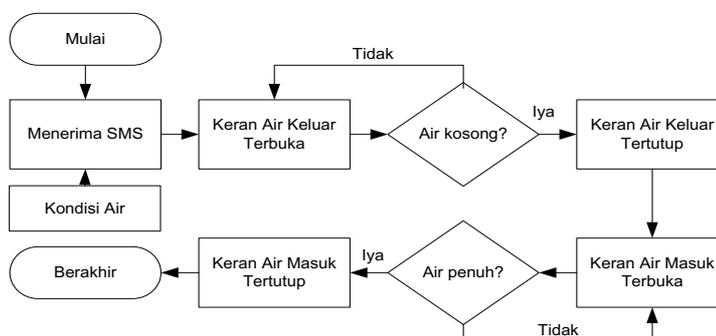
Gambar 1 merupakan metode yang dilakukan pada penelitian ini. Kolam ke i dengan i berjumlah 3 sebagai jumlah kolam. Sedangkan setup ke j dengan j berjumlah 2 sebagai jumlah tipe komunikasi yang digunakan. Dan pengukuran ke k dengan k berjumlah 4 sebagai jumlah jenis pengukuran yang dilakukan. Jenis kolam, tipe setup, dan jenis pengukuran yang digunakan dijelaskan pada pembahasan selanjutnya secara detail.

*A. Sistem Pengurasan Kolam Otomatis*

Sistem pengurasan kolam otomatis yang dibangun berbasis WSN menggunakan jaringan komunikasi protokol ZigBee. Ketika sistem aktif, secara otomatis proses pengurasan akan berjalan dengan mengendalikan aliran air keluar dan air masuk. Setiap perangkat memanfaatkan mikrokontroler, sensor, dan aktuator untuk membentuk suatu jaringan berbasis WSN menggunakan protokol ZigBee dalam menjalankan proses pengurasan otomatis.

*1. Desain Sistem*

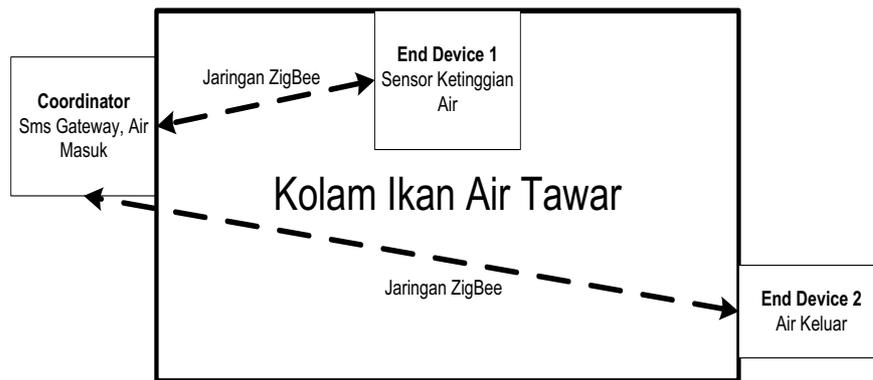
Sistem pengurasan otomatis ini dikembangkan sesuai dengan proses bisnis pengurasan pada industri rumah tangga budidaya ikan air tawar. Ketika sistem diaktifkan maka melalui sensor ketinggian air, sistem akan melihat apakah terdapat air pada kolam. Jika iya, maka akan dibuka saluran air keluar agar air surut dengan ketinggian tertentu sesuai konfigurasi. Setelah saluran air keluar ditutup maka berganti saluran air masuk yang dibuka untuk menambahkan air yang baru pada kolam. Ketinggian air yang masuk tidak melebihi dinding kolam dimana sesuai dengan konfigurasi sistem. Setelah air ketinggian air sesuai, maka saluran air keluar kembali ditutup. Pengaktifan sistem menggunakan layanan SMS sebagai salah satu layanan yang ada pada jaringan paling luas saat ini yaitu GSM. Penjelasan secara sistematis ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Prosedur Sistem Pengurasan Otomatis Kolam Ikan Air Tawar

*2. Arsitektur Sistem*

Perangkat penyusun sistem pengurasan otomatis ini memanfaatkan mikrokontroler, sensor, aktuator, dan jaringan komunikasi. Berdasarkan penjelasan sebelumnya, yang berperan penting dalam sistem pengurasan ini adalah dalam mengendalikan saluran air masuk, saluran air keluar, dan memantau ketinggian air. Sehingga terdapat 3 node perangkat yang berperan untuk mengendalikan air masuk, air keluar dan memantau ketinggian air. Node pertama adalah perangkat pengendali air masuk yang terdiri dari mikrokontroler, kran solenoid, SMS gateway, dan ZigBee. Node kedua adalah perangkat pengendali air keluar yang terdiri dari mikrokontroler, kran solenoid, dan ZigBee. Yang terakhir node ketiga adalah perangkat pemantau ketinggian air yang terdiri dari mikrokontroler, sensor ketinggian air, dan ZigBee.



Gambar 3. Arsitektur Jaringan pada Sistem Pengurusan Otomatis

Sistem pada penelitian ini memanfaatkan penuh jaringan ZigBee menggunakan topologi mesh. Dalam memanfaatkan teknologi ZigBee, maka dibutuhkan satu perangkat yang berperan sebagai coordinator. Coordinator berjalan sebagai pengatur jaringan komunikasi pada suatu jaringan ZigBee. Sedangkan perangkat ZigBee lain bisa berperan sebagai router ataupun end device. Router berjalan sebagai relay ataupun pengetur rute lau lintas data, sedangkan end device digunakan untuk komunikasi oleh sensor atau aktuator. Pada penelitian ini node pertama dikonfigurasi sebagai unit pengendali utama (*controller unit*) sistem pengurusan otomatis dimana selain sebagai pengendali air masuk, juga sekaligus mengatur SMS gateway, menerima sinyal ketinggian air, serta mengendalikan secara remote saluran air keluar. Peran pada jaringan ZigBee, node pertama dikonfigurasi sebagai coordinator dan nodenya disebut dengan perangkat coordinator. Sedangkan node kedua dan node ketiga berperan sebagai end device. Node kedua sebagai pengendali air keluar disebut dengan perangkat end device 2 dan node ketiga sebagai sensor ketinggian air sebagai end device 1 seperti pada Gambar 3.

3. Hardware

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya terdapat tiga node sebagai penyusun sistem penguras otomatis pada kolam ikan air tawar. Tiga node tersebut terdiri dari node coordinator, end device 1, dan end device 2. Setiap node memerlukan sebuah mikrokontroler dan sebuah ZigBee. Mikrokontroler digunakan untuk melakukan proses logika dan mengeksekusi perintah-perintah yang telah dikonfigurasi pada perangkat node. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Uno R3 dengan spesifikasi chip ATmega328P. Sedangkan perangkat ZigBee digunakan untuk melakukan komunikasi antar perangkat di dalam sistem. Teknologi ZigBee yang digunakan adalah Xbee S2C produksi Digi International dengan spesifikasi chip EM357 SoC. Xbee S2C sendiri diklaim memiliki kemampuan jangkauan sampai 60 m untuk indoor dan 1200 m untuk outdoor seperti yang dijelaskan pada Tabel I. Sebagai aktuator SMS gateway maka digunakan SIM800l yang terpasang pada node coordinator. Sebagai aktuator kran baik untuk aliran air masuk maupun keluar maka digunakan kran solenoid kondisi tertutup (*normally closed*). Sedangkan sensor tinggi air digunakan sensor ultrasonic US-100 dengan kemampuan *sensing* dengan jarak maksimal 3.5 meter.

TABEL I  
SPESIFIKASI XBEE S2C

| No | Kategori       | Nilai              |
|----|----------------|--------------------|
| 1  | Indoor range   | 60 m               |
| 2  | Outdoor range  | 1200 m             |
| 3  | Transmit power | 3.1 mW – 6.3 mW    |
| 4  | Data rate      | 250 KBps           |
| 5  | Sensitivity    | -100 dBm – -102dBm |

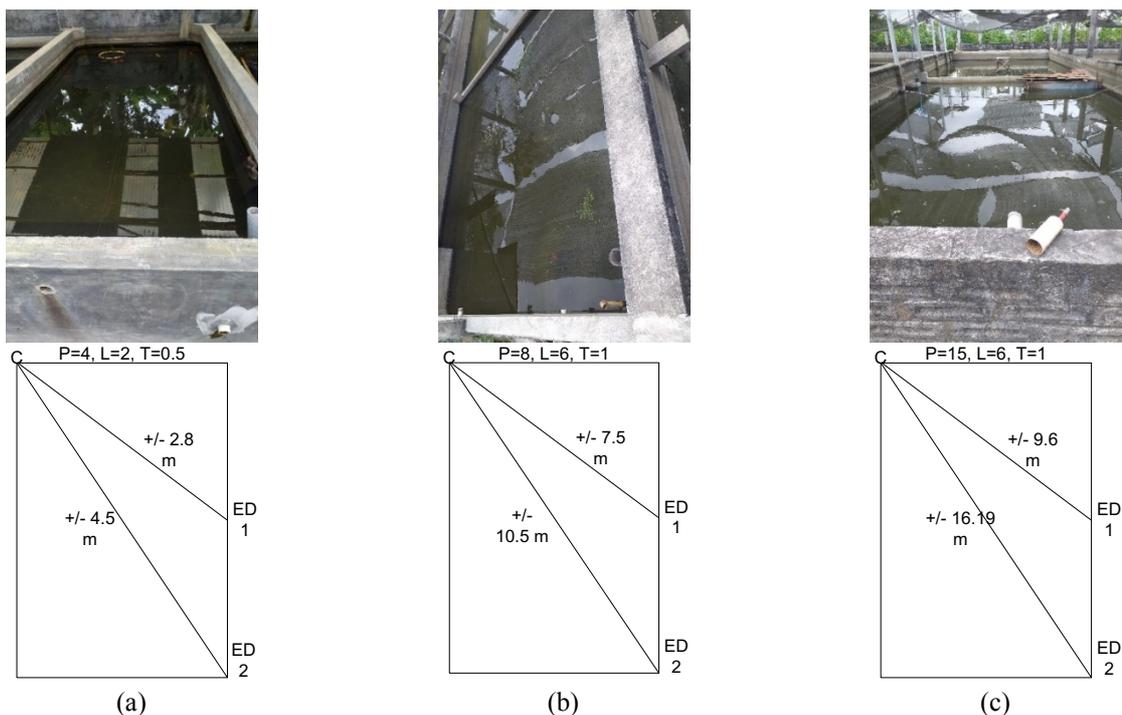
4. *Software*

Adapun software yang digunakan pada penelitian ini adalah software yang digunakan untuk memrogram mikrokontroler agar perangkat baik coordinator, end device 1, maupun end device 2 dapat berjalan sesuai dengan kebutuhan sistem. Digunakan IDE Arduino untuk memprogram mikrokontroler Arduino dengan menggunakan library gprs.h untuk konfigurasi aktuator SMS gateway. Dibutuhkan juga library Xbee.h untuk mengkonfigurasi komunikasi perangkat ZigBee. Untuk mengkonfigurasi pengalamatan pada perangkat ZigBee maka digunakan aplikasi XCTU.

B. *Kolam Ikan Pengujian*

Pengujian perangkat ZigBee yang dilakukan ini menggunakan beberapa jenis kolam ikan air tawar secara langsung di lapangan dengan ukuran yang bervariasi. Ada tiga buah ukuran kolam ikan yang digunakan meliputi kolam ikan ukuran kecil, ukuran sedang, dan ukuran besar. Ukuran kolam ikan yang digunakan ini disesuaikan dengan kebutuhan pembudidaya ikan air tawar level industri rumah tangga. Kolam ikan ukuran kecil biasanya digunakan untuk membudidayakan ikan hias air tawar yang berukuran kecil sedang, untuk mengawinkan ikan baik ikan hias atau konsumsi, serta untuk budidaya bibit ikan. Sedangkan kolam ikan ukuran sedang digunakan untuk budidaya ikan konsumsi dengan jumlah kecil. Dan terakhir kolam ikan ukuran besar digunakan untuk budidaya ikan air tawar yang siap konsumsi dan siap panen dengan jumlah besar.

Ukuran kolam ikan air tawar tidak memiliki patokan, berbeda-beda tergantung kebutuhan pembudidaya. Jenis kolam pun juga berbeda-beda meliputi kolam cor, kolam terpal, kolam tank, dan jenis lainnya. Sebagai kolam ikan tempat pengujian perangkat, pada penelitian ini menggunakan kolam cor dimana dinding penuh bata dan semen. Secara umum sistem pengurusan pada kolam cor meliputi saluran air masuk dan air keluar dimana peletakan salurannya bervariasi sesuai dengan kebutuhan pembudidaya. Untuk memperoleh hasil maksimal dari kinerja jaringan ZigBee maka digunakan kolam dengan sistem saluran air baik air masuk maupun keluar yang letaknya memiliki jarak yang cukup jauh. Kolam ikan yang digunakan, ukuran, serta ilustrasi peletakan saluran air ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Kolam Pengujian (a) Kolam Kecil (b) Kolam Sedang (c) Kolam Besar

Untuk kolam kecil berukuran  $2 \times 4 \times 0.5$  m disebut sebagai kolam 1. Sedangkan untuk kolam sedang berukuran  $6 \times 8 \times 1$  m disebut dengan kolam 2. Yang terakhir kolam besar ukuran  $6 \times 15 \times 1$  m disebut dengan kolam 3. Ketiga kolam tersebut memiliki posisi saluran air masuk dan saluran air keluar yang posisinya serupa dimana posisi saluran air masuk dari ujung sisi atas, sedangkan posisi saluran air keluar berada pada ujung lainnya di sisi bawah. Sesuai dengan Gambar 4 untuk kolam 1, jarak antara coordinator dengan end device 1 sebesar kurang lebih 2.8 m, sedangkan jarak antara coordinator dengan end device 2 sebesar kurang lebih 4.5 m. Sedangkan kolam 2, jarak antara coordinator dengan end device 1 sebesar kurang lebih 7.5 m, sedangkan jarak antara coordinator dengan end device 2 sebesar kurang lebih 10.5 m. Dan untuk kolam 3, jarak antara coordinator dengan end device 1 sebesar kurang lebih 9.6 m, sedangkan jarak antara coordinator dengan end device 2 sebesar kurang lebih 16.19 m. Ketika proses pengurasan dilakukan, saluran air keluar tinggal dibuka dan air keluar akibat adanya gaya gravitasi dimana dasar kolam dibuat sedikit miring agar air mudah mengalir.

### C. Setup Pengujian

Setiap perangkat diinstalasikan pada masing-masing bagian kolam yang digunakan untuk proses pengurasan kolam. Perangkat coordinator diinstalasi pada saluran air masuk pada kolam, end device 1 diletakkan di ujung dinding kolam tepat di posisi tengah kolam sebagai pemantau ketinggian air kolam, sedangkan end device 2 diinstalasi pada saluran air keluar. Perangkat end device 1 diletakkan di posisi tengah kolam karena memang di posisi tersebut paling ideal untuk mengetahui ketinggian air kolam. Ketika sistem pengurasan diaktifkan maka terdapat dua komunikasi yang berjalan, pertama adalah komunikasi antara end device 1 menuju coordinator dimana komunikasi ini mengirimkan sinyal ketinggian air dari sensor end device 1 menuju unit pengendali utama yaitu coordinator. Sedangkan yang kedua adalah komunikasi dari coordinator menuju end device 2 dimana komunikasi ini mengirimkan sinyal aktif atau non-aktif terhadap end device 2 sebagai saluran air keluar. Pada dasarnya jarak antara end device 1 menuju coordinator lebih dekat dibandingkan dengan jarak antara coordinator menuju end device 2. Sehingga untuk penerapan pengujian maka terdapat 2 jenis setup yaitu setup komunikasi antara end device 1 menuju coordinator dan setup komunikasi antara coordinator menuju end device 2.

Data yang digunakan untuk komunikasi antar perangkat dalam jaringan ZigBee pada sistem menggunakan data dengan ukuran maksimal sebesar 21 Byte. Frame dengan ukuran 21 Byte dapat menampung data sebesar 3 digit dimana sudah dapat digunakan untuk mengirim data ketinggian air dalam bentuk satuan centimeter. Bagian mikrokontroler pada setiap perangkat memproses data dengan delay 300 ms. Dengan adanya delay 300 ms oleh mikrokontroler, data dikeluarkan setiap 300 ms pada jaringan ZigBee secara terus menerus untuk semua jenis komunikasi. Setiap perangkat baik coordinator, end device 1, maupun end device 2 menggunakan antena ZigBee asli pabrikan dimana posisi antena dalam kondisi NLOS.

### D. Pengukuran

Untuk memperoleh kinerja secara komprehensif dari jaringan ZigBee pada sistem pengurasan otomatis ini, maka pengukuran kinerja pada penelitian ini berdasarkan empat parameter. Keempat parameter tersebut sesuai dengan pengukuran QoS dimana meliputi pengukuran *delay*, *throughput*, *packet loss*, dan Received Signal Strength Indication (RSSI).

#### 1. Delay

Pengukuran *delay* dilakukan untuk mengetahui seberapa cepat paket data terkirim dari satu node ke node yang lain. *Delay* terjadi karena memang sinyal perangkat *transmitter* membutuhkan waktu agar diterima *receiver*. *Delay* yang lama dapat disebabkan karena pelemahan sinyal akibat interferensi, jarak, atau lemahnya daya. Data diambil dengan melakukan pengambilan data pada pengiriman paket sejumlah 20 paket. Waktu *delay* akan

berubah-ubah pada setiap paket yang dikirim sehingga dicari rata – rata *delay* yang diperoleh menggunakan rumus 1.

$$\bar{x}delay = \frac{\sum_1^n delay}{n} \quad (1)$$

Rata-rata waktu *delay* diperoleh dari total waktu *delay* pengiriman paket ke 1 sampai ke 20 dibagi jumlah paket yang diterima dimana sejumlah 20 paket. Semakin rendah waktu *delay* maka akan semakin bagus jaringan ZigBee yang diterapkan.

## 2. Throughput

Pengukuran *throughput* dilakukan untuk memperoleh informasi seberapa besar data yang berhasil dikirimkan dalam satu detik. *Throughput* merupakan nilai bandwidth aktual saat sistem sedang bekerja. *Troughput* bisa menurun akibat sinyal yang kurang kuat sehingga *bandwidth* menurun. Pengamatan akan dilakukan per detik dalam selang waktu 20 detik. Nilai *throughput* diperoleh menggunakan rumus 2.

$$throughput = \frac{\sum data}{waktu} \quad (2)$$

Nilai *throughput* diperoleh dengan mengetahui total data yang dikirim per 1 detik. Karena per detiknya *throughput* nilainya berubah-ubah maka akan dicari nilai rata-rata *throughput* dalam 20 detik dengan rumus 3.

$$\bar{x}throughput = \frac{\sum_1^n throughput}{n} \quad (3)$$

Rata-rata *throughput* diperoleh dengan total nilai *throughput* detik ke 1 sampai ke 20 dibagi jumlah pengamatan dalam selang waktu 20 detik. Semakin besar *throughput* maka semakin bagus koneksi jaringan ZigBee yang diterapkan.

## 3. Packet Loss

Pengukuran *packet loss* dilakukan untuk mengetahui seberapa besar perangkat kehilangan paket yang telah dikirim dari suatu perangkat ke perangkat lain. *Packet loss* terjadi dapat disebabkan karena interferensi sinyal sehingga sinyal melemah menyebabkan terjadinya kongesti terhadap pengiriman paket. *Packet loss* dihitung dengan cara rumus 4.

$$packet\ loss = \left( \frac{\sum data\ kirim - \sum data\ terima}{\sum data\ kirim} \right) \times 100\% \quad (4)$$

*Packet loss* dalam bentuk persentase dimana diperoleh dari jumlah data yang dikirim dikurangi data yang diterima kemudian dibagi jumlah data yang dikirim, hasilnya diubah menjadi persentase dengan mengkalikan dengan 100%. Semakin *packet loss* memiliki persentase rendah maka semakin bagus jaringan ZigBee yang diterapkan.

## 4. RSSI

RSSI merupakan kekuatan sinyal yang diterima perangkat *receiver* pada jarak tertentu dan menggunakan frekuensi *band* tertentu. Dengan menggunakan RSSI, kekuatan sinyal dikonversi menjadi rasio logaritmik sehingga nilainya relative terhadap kekuatan daya maupun jarak antar perangkat. Beberapa hal yang mempengaruhi nilai RSSI diantaranya adalah jarak perangkat dan pelemahan sinyal yang terjadi akibat adanya penghalang antar perangkat. Rasio RSSI diperoleh seperti pada rumus 5.

$$RSSI = 10 \log \frac{Kekuatan\ sinyal\ diterima}{1mW} \quad (5)$$

RSSI diperoleh dengan satuan dBm karena menggunakan referensi daya 1 mW. Semakin nilainya mendekati nilai 0 maka RSSI akan semakin bagus. Pengukuran RSSI dilakukan

pengamatan di setiap detik dalam selang waktu 20 detik. Hasil pengamatan akan diperoleh rata-rata RSSI dengan rumus 6.

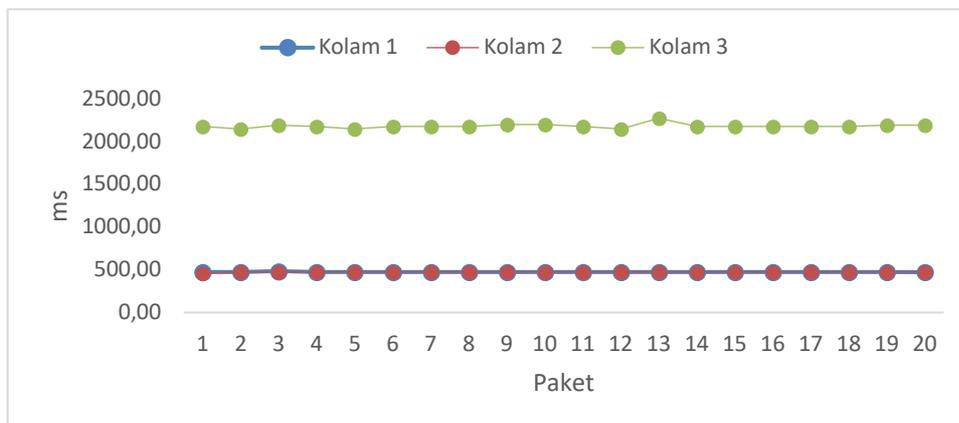
$$\bar{x} \text{ RSSI} = \frac{\sum_1^n \text{RSSI}}{n} \tag{6}$$

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian hasil dan pembahasan akan dibahas hasil pengujian protokol ZigBee pada WSN untuk sistem pengurusan air otomatis kolam ikan air tawar yang pembahasannya dibagi berdasarkan parameter pengukuran kinerja meliputi *delay*, *throughput*, PER, dan RSSI.

#### A. Delay

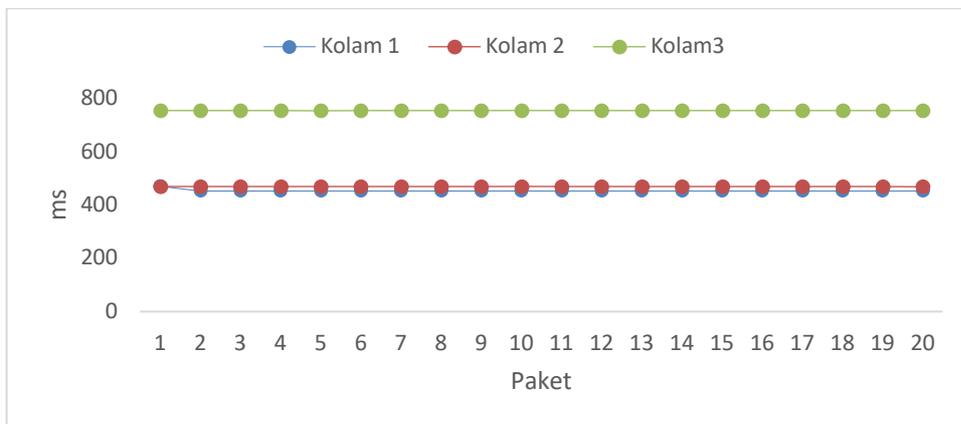
Hasil pengujian pada jenis kolam 1, kolam 2, dan kolam 3 dengan komunikasi dari coordinator menuju end device 2 diperoleh bahwa rata-rata *delay* tertinggi adalah pada kolam 3 dengan waktu *delay* rata-rata 2189.07 ms. Sedangkan rata-rata *delay* terendah secara berurutan adalah kolam 2 dengan waktu *delay* rata-rata mencapai 473.22 ms dan kolam 1 dengan waktu *delay* rata-rata mencapai 472.78 ms. Perbandingan waktu *delay* untuk masing-masing kolam ditampilkan pada Gambar 5. Komunikasi antara coordinator menuju end device 2 merupakan komunikasi data untuk meneruskan signal membuka kran air keluar. Pada kolam 3, posisi antara perangkat coordinator dengan bagian air keluar cukup jauh, yaitu mencapai 16.19 m. Apalagi di lapangan posisi lubang pembuangan air berada di bawah, sehingga perangkat ZigBee terhalang dinding kolam yang mencapai 1 m tingginya. Apabila dikonversikan menjadi detik, rata-rata *delay* sebesar 2189.07 ms sama dengan 2 detik sehingga pada kolam 3, setiap paket yang dikirim dari coordinator menuju end device 2 akan diterima dalam selang waktu 2 detik lamanya.



Gambar 5. Perbandingan *Delay* Coordinator – End Device 2

Untuk waktu *delay* pada komunikasi antara end device 1 menuju ke coordinator baik pada kolam 1, kolam 2, dan kolam 3 diperoleh bahwa rata-rata *delay* tertinggi ada pada kolam 3 dengan waktu *delay* rata-rata mencapai 754.02 ms. Sedangkan rata-rata *delay* terendah secara berurutan adalah kolam 2 dengan waktu *delay* rata-rata mencapai 468.99 ms dan kolam 1 dengan waktu *delay* rata-rata mencapai 453.87 ms. Perbandingan waktu *delay* antara end device 1 menuju ke coordinator untuk masing-masing kolam ditampilkan pada Gambar 6. Komunikasi antara end device 1 menuju coordinator merupakan komunikasi data untuk meneruskan signal ketinggian air. Pada kolam 3, posisi antara perangkat coordinator dengan sensor memiliki jarak 9.6 m. Namun komunikasi keduanya tidak terhalang oleh dinding atau barang lainnya karena perangkat sama-sama berada di ujung dinding kolam. Apabila dikonversikan menjadi detik, rata-rata *delay* sebesar 754.02 ms sama dengan hampir 1 detik sehingga pada kolam 3, setiap

paket yang dikirim dari coordinator menuju end device 2 akan diterima dalam selang waktu hampir 1 detik lamanya.

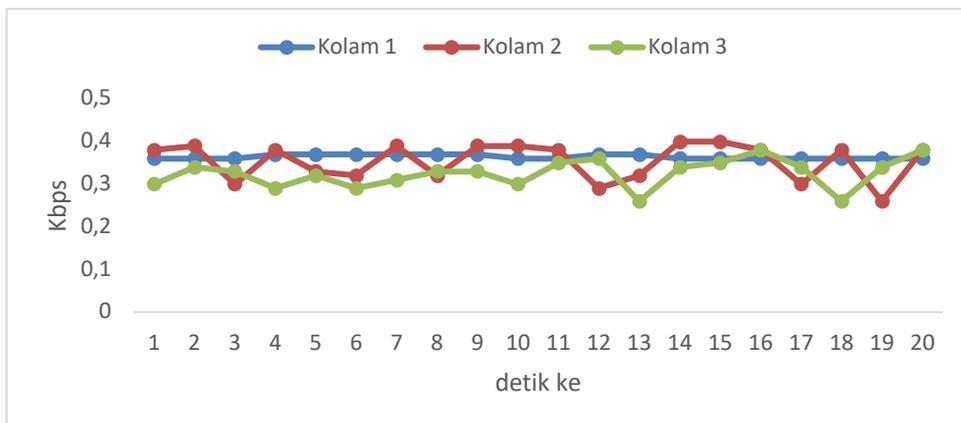


Gambar 6. Perbandingan Delay End Device 1 – Coordinator

Secara garis besar, waktu *delay* komunikasi antara coordinator menuju end device 2 dengan end device 1 menuju coordinator cenderung lebih tinggi waktu *delay* antara coordinator menuju end device 2, karena memang posisi perangkat coordinator (air masuk) lebih jauh dengan end device 2 (air keluar) dibandingkan dengan end device 1 (sensor ketinggian air). Dan juga dimensi kolam 3 yang paling lebar dibandingkan kolam lainnya membuat waktu *delay* secara keseluruhan paling tinggi.

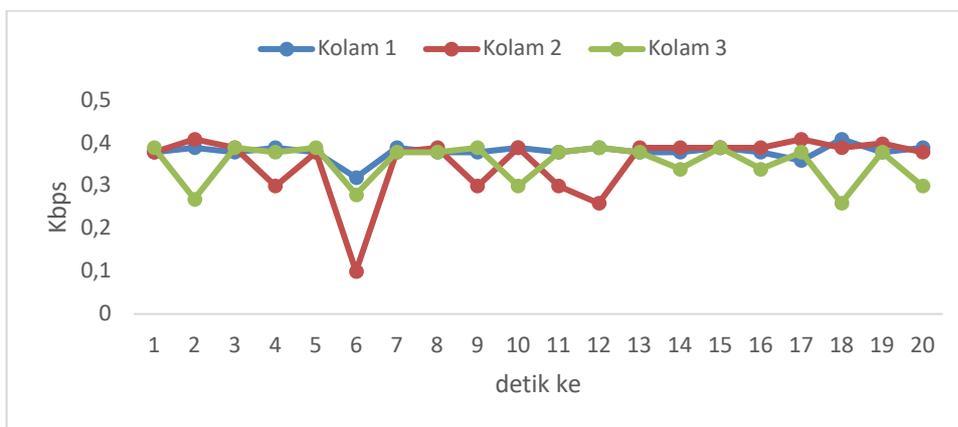
**B. Throughput**

Hasil pengujian pada jenis kolam 1, kolam 2, dan kolam 3 dengan komunikasi dari coordinator menuju end device 2 diperoleh bahwa rata-rata *throughput* tertinggi adalah pada kolam 1 dengan nilai *throughput* rata-rata 0.36 Kbps. Sedangkan rata-rata *throughput* terendah secara berurutan adalah kolam 2 dengan nilai *throughput* rata-rata mencapai 0,35 Kbps dan kolam 3 dengan nilai *throughput* rata-rata mencapai 0.33 Kbps. Perbandingan nilai *throughput* untuk masing-masing kolam ditampilkan pada Gambar 7. Komunikasi antara coordinator menuju end device 2 merupakan komunikasi data untuk meneruskan signal membuka kran air keluar. Pada kolam 1, meskipun terhalang dinding kolam, posisi antara perangkat coordinator dengan bagian air keluar hanya mencapai kurang lebih 4.5 m saja. Dari Gambar 7 menunjukkan bahwa *throughput* komunikasi coordinator menuju end device 2 pada kolam 1 masih stabil, sedangkan pada kolam 2 dan kolam 3 komunikasi terlihat semakin tidak stabil dikarenakan semakin jauhnya jarak antar perangkat.



Gambar 7. Perbandingan Throughput Coordinator – End Device 2

Untuk nilai *throughput* pada komunikasi antara end device 1 menuju ke coordinator baik pada kolam 1, kolam 2, dan kolam 3 diperoleh bahwa rata-rata *throughput* tertinggi ada pada kolam 1 dengan nilai *throughput* rata-rata mencapai 0.38 Kbps. Sedangkan rata-rata *throughput* terendah secara berurutan adalah kolam 2 dengan nilai *throughput* rata-rata mencapai 0.36 Kbps dan kolam 3 dengan nilai *throughput* rata-rata mencapai 0.35 Kbps. Perbandingan nilai *throughput* antara end device 1 menuju ke coordinator untuk masing-masing kolam ditampilkan pada Gambar 8. Komunikasi antara end device 1 menuju coordinator merupakan komunikasi data untuk meneruskan signal ketinggian air. Pada kolam 1, posisi antara perangkat coordinator dengan sensor memiliki jarak kurang lebih hanya 2.8 m saja. Gambar 8 menunjukkan bahwa *throughput* komunikasi end device 1 menuju coordinator pada kolam 1 masih stabil, sedangkan pada kolam 2 dan kolam 3 komunikasi terlihat semakin tidak stabil dikarenakan semakin jauhnya jarak antar perangkat.



Gambar 8. Perbandingan *Throughput* End Device 1 – Coordinator

Secara garis besar, nilai *throughput* antara komunikasi coordinator menuju end device 2 cenderung lebih rendah daripada nilai *throughput* komunikasi antara end device 1 menuju coordinator. Hal ini dikarenakan memang posisi perangkat *coordinator* (air masuk) lebih jauh dengan end device 2 (air keluar) dibandingkan dengan end device 1 (air keluar) baik pada kolam 1, kolam 2, maupun kolam 3. Dan juga dimensi kolam 1 yang paling sempit dibandingkan kolam lainnya membuat nilai *throughput* secara keseluruhan paling tinggi.

C. *Packet Loss*

Hasil pengujian pada jenis kolam 1, kolam 2, dan kolam 3 dengan komunikasi dari coordinator menuju end device 2 diperoleh bahwa persentase *packet loss* tertinggi adalah pada kolam 3 dengan persentase *packet loss* sebesar 20%. Sedangkan persentase *packet loss* komunikasi dari coordinator menuju end device 2 baik pada kolam 1 maupun kolam 2 sama-sama sebesar 0% yang artinya seluruh paket yang dikirim sampai ke tujuan semua. Perbandingan persentase *packet loss* untuk masing-masing kolam ditampilkan pada Tabel II. Persentase *packet loss* tinggi pada kolam 3 untuk komunikasi antara coordinator menuju end device 2 dikarenakan memang posisi antara perangkat coordinator dengan bagian air keluar cukup jauh yaitu mencapai lebih dari 16.19 m dan terhalang dinding kolam 1 m. Hal tersebut membuat pelemahan terhadap sinyal sehingga paket yang terkirim terdapat error sebesar 20%.

TABEL II  
PERBANDINGAN PER COORDINATOR – END DEVICE 2

| Jenis Kolam | Packet Sent | Packet Received | PER |
|-------------|-------------|-----------------|-----|
| Kolam 1     | 50          | 50              | 0%  |
| Kolam 2     | 50          | 50              | 0%  |
| Kolam 3     | 50          | 40              | 20% |

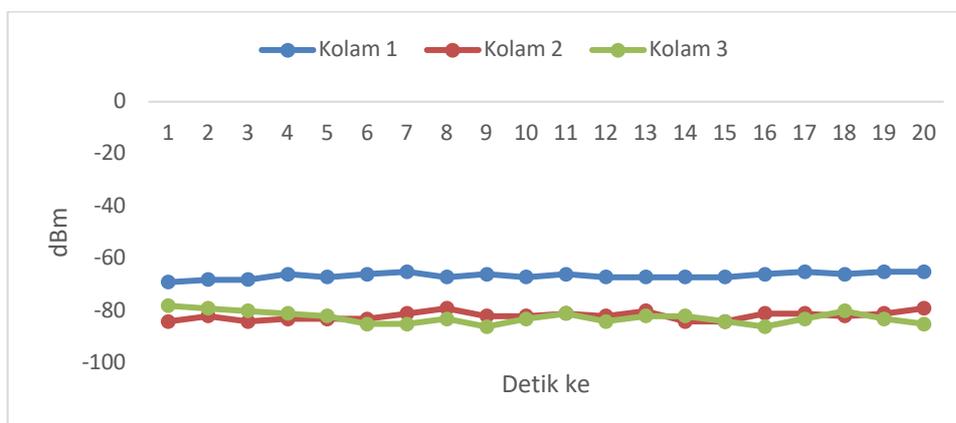
Untuk nilai persentase *packet loss* pada komunikasi antara end device 1 menuju ke coordinator baik pada kolam 1, kolam 2, dan kolam 3 diperoleh nilai yang sama yaitu sebesar 0%. Artinya seluruh komunikasi antara end device 1 menuju ke coordinator pada setiap kolam pada kondisi yang baik. Perbandingan nilai persentase *packet loss* antara end device 1 menuju ke coordinator untuk masing-masing kolam ditampilkan pada Tabel III. Hal ini terjadi dikarenakan memang perangkat coordinator dengan perangkat end device 1 sebagai sensor ketinggian air, sama sama ditaruh pada ujung dinding kolam dimana antar perangkat tidak ada penghalang. Dan juga jarak antara perangkat coordinator dan perangkat end device 1 secara garis besar lebih dekat baik pada kolam 1, kolam 2, maupun kolam 3.

TABEL III  
PERBANDINGAN PER END DEVICE 1 – COORDINATOR

| Jenis Kolam | Packet Sent | Packet Received | PER |
|-------------|-------------|-----------------|-----|
| Kolam 1     | 50          | 50              | 0%  |
| Kolam 2     | 50          | 50              | 0%  |
| Kolam 3     | 50          | 50              | 0%  |

D. RSSI

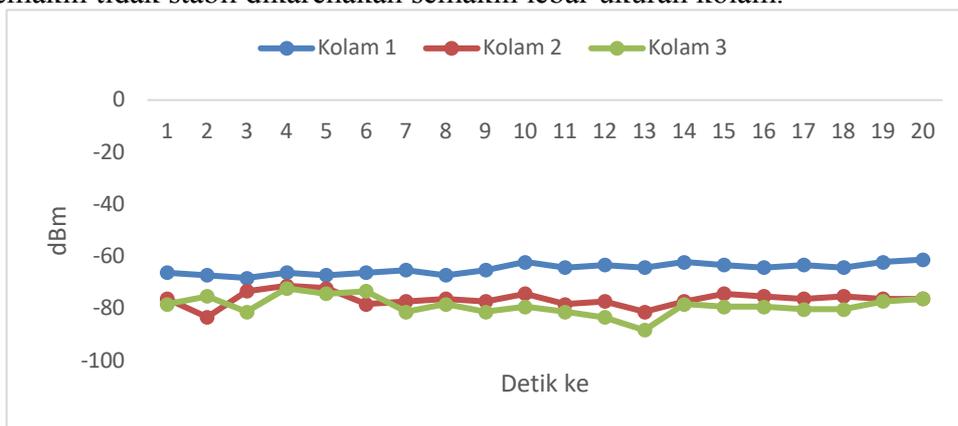
Hasil pengujian pada jenis kolam 1, kolam 2, dan kolam 3 dengan komunikasi dari coordinator menuju end device 2 diperoleh bahwa rata-rata RSSI tertinggi adalah pada kolam 1 dengan nilai RSSI rata-rata mencapai -67 dBm. Sedangkan rata-rata RSSI terendah secara berurutan adalah kolam 2 dengan nilai RSSI rata-rata mencapai -82 dBm dan kolam 3 dengan nilai RSSI rata-rata mencapai -83 dBm. Perbandingan nilai RSSI untuk masing-masing kolam ditampilkan pada Gambar 9. Komunikasi antara coordinator menuju end device 2 merupakan komunikasi data untuk meneruskan signal membuka kran air keluar. Pada kolam 1, meskipun terhalang dinding kolam, posisi antara perangkat coordinator dengan bagian air keluar hanya mencapai kurang lebih 4.5 m saja, sehingga kekuatan sinyal yang diterima coordinator masih cukup besar dari end device 2. Berdasarkan Gambar 9, RSSI pada kolam 2 dan kolam 3 terlihat tidak stabil hal ini dikarenakan jarak antara coordinator dengan end device 2 cukup jauh.



Gambar 9. Perbandingan RSSI Coordinator – End Device 2

Untuk nilai RSSI pada komunikasi antara end device 1 menuju ke coordinator baik pada kolam 1, kolam 2, dan kolam 3 diperoleh bahwa rata-rata RSSI tertinggi ada pada kolam 1 dengan nilai RSSI rata-rata mencapai -64 dBm. Sedangkan rata-rata RSSI terendah secara berurutan adalah kolam 2 dengan nilai RSSI rata-rata mencapai -76 Kbps dan kolam 3 dengan nilai RSSI rata-rata mencapai -79 Kbps. Perbandingan nilai RSSI antara end device 1 menuju

ke coordinator untuk masing-masing kolam ditampilkan pada Gambar 10. Komunikasi antara end device 1 menuju coordinator merupakan komunikasi data untuk meneruskan signal ketinggian air. Pada kolam 1, posisi antara perangkat coordinator dengan end device 1 sebagai sensor memiliki jarak kurang lebih hanya 2 m tanpa adanya penghalang. Sehingga kekuatan sinyal yang diperoleh end device 1 cukup kuat dengan pelemahan sinyal normal pada ruang terbuka. Gambar 10 menunjukkan bahwa nilai RSSI komunikasi end device 1 menuju coordinator pada kolam 1 masih stabil, sedangkan pada kolam 2 dan kolam 3 komunikasi terlihat semakin tidak stabil dikarenakan semakin lebar ukuran kolam.



Gambar 10. Perbandingan RSSI End Device 1 - Coordinator

Secara garis besar, nilai RSSI antara end device 1 menuju coordinator cenderung lebih tinggi daripada nilai RSSI komunikasi antara komunikasi coordinator menuju end device 2. Hal ini dikarenakan memang posisi perangkat end device 1 sebagai sensor ketinggian air lebih dekat dengan coordinator yang berada di air masuk dibandingkan dengan end device 2 yang berada pada posisi air keluar, baik pada kolam 1, kolam 2, maupun kolam 3.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian pada perangkat ZigBee dalam mendukung WSN pada sistem pengurusan air kolam ikan air tawar diperoleh bahwa ukuran kolam mempengaruhi kinerja dari jaringan ZigBee. Semakin besar kolam ikan maka akan memperbesar jarak instalasi antar perangkat. Waktu *delay* akan semakin tinggi berbanding lurus dengan semakin besarnya jarak antar perangkat ZigBee. Sedangkan nilai *throughput* dan nilai RSSI akan semakin tinggi berbanding terbalik dengan jarak antar perangkat ZigBee. Pemasangan antena perangkat ZigBee dalam kondisi NLOS membuat terjadinya pelemahan sinyal antar perangkat. Sedangkan persentase *packet loss* terjadi hanya pada perangkat ZigBee yang berkomunikasi pada jarak yang cukup jauh yaitu komunikasi antara coordinator dengan end device 2 pada kolam 3. Hal tersebut dikarenakan memang perangkat end device 2 sebagai pengatur air keluar, terinstalasi di dinding kolam bagian bawah dimana terhalang dinding kolam. Namun demikian meskipun terdapat *packet loss*, secara garis besar teknologi ZigBee mampu mendukung WSN karena dengan rendah tenaga dan rendah biaya tetap mampu menjangkau area kolam yang sesuai ukuran dengan kebutuhan budidaya ikan air tawar skala industri rumah tangga.

Pada penelitian berikutnya penelitian bisa dilakukan pada kolam-kolam dengan ukuran yang lebih besar yang sesuai dengan skala industri besar. Penggunaan perangkat ZigBee dievaluasi dengan meningkatkan daya sinyal antena seperti memodifikasi fisik antena serta mengatur antena dalam kondisi posisi LOS. Evaluasi kinerja jaringan ZigBee bisa dilakukan dengan menggunakan channel frekuensi yang berbeda serta memberikan kondisi booster agar kekuatan sinyal meningkat. Konsumsi perangkat dilakukan evaluasi untuk mendukung teknologi yang ramah lingkungan.

## REFERENSI

- [1] A. W. Primaningtyas, S. Hastuti and Subandiyono, "Performa Produksi Ikan Lele (*Clarias gariepinus*) yang Dipelihara dalam Sistem Budidaya Berbeda," *Journal of Aquaculture Management and Technology*, vol. 4, no. 4, pp. 51-60, 2015.
- [2] T. K. Panggabean, A. D. Sasanti and Yulisman, "Kualitas Air, Kelangsungan Hidup, Pertumbuhan, dan Efisiensi Pakan Ikan Nila yang Diberi Pupuk Hayati Cair pada Air Media Pemeliharaan," *Jurnal Akuakultur Rawa Indonesia*, vol. 4, no. 1, pp. 67-79, 2016.
- [3] Kementerian Kelautan dan Perikanan, *Kelautan dan Perikanan dalam Angka Tahun 2015*, Jakarta: Pusat Data, Statistik, dan Informasi Kementerian Kelautan dan Perikanan, 2015.
- [4] J. B. Dahmus and T. G. Gutowski, "Efficiency and Production," in *3rd Biennial Conference of the US Society for Ecological Economics*, Washington, 2005.
- [5] M. Erdelj, N. Mitton and E. Natalizio, "Applications of Industrial Wireless Sensor Networks," in *Industrial Wireless Sensor Networks: Applications, Protocols, and Standards*, Boca Raton, CRC Press, 2017, pp. 4-23.
- [6] J. A. Luis, J. A. G. Galán, F. G. Bravo, M. S. Raya, J. A. Espigado and P. M. T. Rovira, "An Efficient Wireless Sensor Network for Industrial Monitoring and Control," *Sensors*, vol. 18, no. 182, pp. 1-15, 2018.
- [7] E. Lintang, Firdaus and I. Nurcahyani, "Sistem Monitoring Kualitas Air pada Kolam Ikan Berbasis Wireless Sensor Network Menggunakan Komunikasi ZigBee," in *SNATIF*, Kudus, 2017.
- [8] K. G. Sutar and R. T. Patil, "Wireless Sensor Network System to Monitor The Fish Farm," *Journal of Engineering Research and Application*, vol. 3, no. 5, pp. 194-197, 2013.
- [9] L. Parra, S. Sendra, L. García and J. Lloret, "Design and Deployment of Low-Cost Sensors for Monitoring the Water Quality and Fish Behavior in Aquaculture Tanks during the Feeding Process," *Sensors*, vol. 18, no. 750, pp. 1-23, 2018.
- [10] P. Dhillon and H. Sadawarti, "A Review Paper on Zigbee (IEEE 802.15.4)," *IJERT*, vol. 3, no. 4, pp. 141-145, 2014.
- [11] P. A. Khilare, "A Review on Wireless Networking Standard-Zigbee," *IRJET*, vol. 3, no. 6, pp. 754-757, 2016.
- [12] B. Santoso and A. D. Arfianto, "Sistem Pengganti Air Berdasarkan Kekeruhan dan Pemberi Makan Ikan pada Akuarium Air Tawar secara Otomatis Berbasis Mikrokontroler ATMega 16," *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Informasi ASIA*, pp. 33-48, 2014.
- [13] P. Y. Merucahyo, A. B. Sadewo, C. Karuru, Martanto and A. T. Priantoro, "Pengendali Otomatis Kualitas Air Kolam Ikan Berbasis Wireless dengan RFM12-433S," *Jurnal Ilmiah Widya Teknik*, vol. 15, no. 2, pp. 88-98, 2016.
- [14] R. A. Wadu, Y. S. B. Ada and I. U. Panggalo, "Rancang Bangun Sistem Sirkulasi Air pada Akuarium/bak Ikan Air Tawar Berdasarkan Kekeruhan Air secara Otomatis," *Jurnal Ilmiah Flash*, vol. 3, no. 1, pp. 1-10, 2017.
- [15] K. Nomura and F. Sato, "A Performance Study of ZigBee Network under Wi-Fi Interference," in *International Conference on Network-Based Information Systems*, Salerno, 2014.
- [16] S. S. Wagha, A. Morea and P. R. Kharote, "Performance Evaluation of IEEE 802.15.4 Protocol Under Coexistence of WiFi 802.11b," in *International Conference on Recent Trends in Computing*, Ghaziabad, 2015.

- [17] R. Chaloo, A. Oladeinde, N. Yilmazer, S. Ozcelik and L. Chaloo, "An Overview and Assessment of Wireless Technologies and Coexistence of ZigBee, Bluetooth and Wi-Fi Devices," *Procedia Computer Science*, vol. 12, pp. 386-391, 2012.
- [18] F. M. Sallabi, A. M. Gaouda, A. H. El-Hag and M. M. A. Salama, "Evaluation of ZigBee Wireless Sensor Networks Under High Power Disturbances," *Transactions on Power Delivery*, vol. 29, no. 1, pp. 13-20, 2014.
- [19] R. C. Perdana and F. a. Wibowo, "Quality of Service for XBee in Implementation of Wireless Sensor Network," *Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 11, no. 8, pp. 692-697, 2016.
- [20] R. Piyare and S.-r. Lee, "Performance Analysis of XBee ZB Module Based Wireless Sensor Networks," *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 4, no. 5, 2013.

#### **UCAPAN TERIMA KASIH**

Ucapan terimakasih diberikan kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia (DRPM Ristekdikti) yang telah memberikan dukungan secara penuh baik moril maupun materiil sehingga penelitian ini bisa terlaksana dengan baik. Ucapan terimakasih juga diberikan kepada UPT P2M Polinema Kediri karena turut mendukung penelitian agar berjalan dengan lancar.