

SISTEM MONITORING KUALITAS AIR PADA KOLAM IKAN BERBASIS WIRELESS SENSOR NETWORK MENGGUNAKAN KOMUNIKASI ZIGBEE

Elba Lintang^{1*}, Firdaus^{1*}, Ida Nurcahyani¹

¹ Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia
Jalan Kaliurang Km 14,5 Sleman Yogyakarta

*Email : firdaus@uii.ac.id

Abstrak

Kualitas air merupakan parameter utama dalam keberhasilan usaha perikanan. Air dengan kadar keasaman (pH) yang terlalu asam atau basa dapat menyebabkan kegagalan budidaya ikan. Suhu air juga dapat mempengaruhi tingkat kematian ikan. Apabila suhu tidak sesuai maka ikan akan mati. Pada penelitian ini dibangun alat yang berfungsi untuk membantu mengontrol kualitas air kolam berbasis wireless sensor network. Piranti yang diperlukan adalah sensor keasaman (pH), sensor suhu dan Xbee PRO sebagai media komunikasi nirkabel berstandar zigbee. Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa sensor keasaman (pH) mampu menjangkau pH nilai 1 sampai dengan 14, serta memiliki akurasi diatas 90 % dengan kertas pH meter sebagai pembanding. Sensor suhu juga memiliki akurasi diatas 90 %.

Kata kunci: monitoring, pH, suhu, wireless sensor network, zigbee

1. PENDAHULUAN

Suhu panas di Cirebon menyebabkan puluhan ribu ikan mati pada November 2015. Panas yang mencapai 36 derajat celsius telah mematikan puluhan ribu benih ikan air tawar di Balai Pengembangan Budidaya Ikan Air Tawar (BPBIAT) Kota Cirebon. Kematian benih lele mencapai 100 %, sedangkan untuk benih nila tingkat kematian benihnya sekitar 60 %. Itu adalah salah satu contoh kerugian karena adanya perubahan kualitas air.

Kualitas air merupakan parameter utama dalam keberhasilan budidaya ikan. Karakteristik fisik dan kimia air ini sangat mendasar dan sangat berpengaruh pada ikan. Adapun karakteristik tersebut antara lain adalah tingkat keasaman (pH) dan suhu. Para pembudidaya ikan harus senantiasa mengontrol dan menjaga kualitas air untuk keberhasilan budidaya ikan tersebut. Mereka melakukan pengecekan dengan mengukur satu persatu kualitas air pada masing-masing kolam dengan menggunakan alat pengukur keasaman (pH) dan pengukur suhu yang pengoperasionalnya masih manual. Hal ini berpengaruh terhadap efisiensi waktu dan kerja dari para pembudidaya ikan. Maka dari itu dibutuhkan alat yang bisa membantu mengontrol kualitas air secara *real time*.

Salah satu bidang aplikasi WSN yang sangat bermanfaat adalah monitoring atau pengawasan lingkungan, misalnya dalam hal pengawasan kualitas air dengan berbagai parameternya seperti suhu, derajat keasaman, kandungan oksigen dll (Sridharan, 2014). Mulai dari skala kecil sampai pada skala besar yang mampu memonitor banyak titik pada beberapa lokasi (Jiang, 2009). Hasil pengawasan bisa digunakan lebih lanjut untuk manajemen air (Zia, 2013). Penelitian lebih spesifik sebelumnya misalnya monitoring kualitas air pantai (Flynn, 2007). Penelitian terkait pengukuran keasaman (pH) dan suhu air telah dilakukan perancangan sistem pengawasan untuk satu node dan ditempatkan terus menerus di lapangan (Mahfudz, 2008). Pengukur suhu menggunakan sensor LM35, pengukur keasaman (pH) menggunakan sensor pH meter Hanna Instrument, masing-masing mempunyai resolusi pengukuran 1°C dan 0,1. Unit data logger menggunakan komponen mikrokontroler ATmega 8535 dengan transfer data ke PC menggunakan USB. Dengan menggunakan EEPROM eksternal yang memiliki kapasitas 8 Kbyte, alat ini mampu menyimpan data hasil pengukuran sensor-sensor, data waktu dan tanggal pengukuran sampai 8192 data. Dengan jumlah data sebanyak ini, maka dengan pengaturan penyimpanan data dengan selang waktu setiap 15 menit dalam satu hari, memori akan penuh kurang lebih setelah 7 hari. Dengan pengaturan penyimpanan data dengan selang waktu setiap 30 menit dalam satu hari, memori akan penuh kurang lebih setelah 14 hari. Dengan pengaturan penyimpanan data dengan selang waktu setiap 1 jam dalam satu hari, memori akan penuh kurang lebih setelah 28 hari.

Penelitian terkait dengan pengukuran keasaman (pH) air secara telemetri menggunakan zigbee (Yuwono, 2016) telah dilakukan oleh Yuwono. Penelitian ini mendesain dan membangun telemetri keasaman (pH) dan konduktivitas. Piranti yang diperlukan adalah sensor pH dan konduktivitas, RTC (*Real Time Clock*), data logger, dan XBee PRO sebagai media komunikasi nirkabel. Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa pada kondisi LOS XBee PRO mampu mentransmisikan data sejauh 500 m. Sensor keasaman (pH) mampu menjangkau pH 1 sampai dengan 14, serta memiliki akurasi 100% dengan kertas lakmus sebagai pembanding. Sensor konduktivitas dengan menggunakan elektroda 2 kutub memiliki akurasi sebesar 94,483%. Penelitian ini menggunakan satu node sehingga terbatas untuk pengaplikasiannya untuk jumlah sampel lebih dari satu.

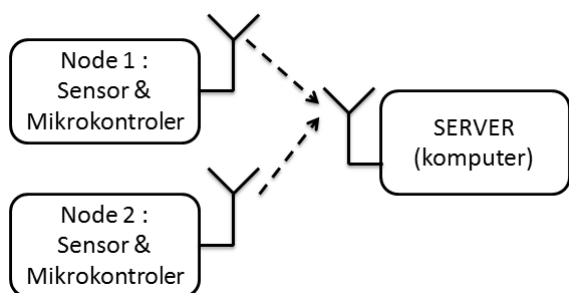
Penelitian selanjutnya oleh Umar. Dalam penelitian ini sensor yang digunakan sama yaitu sensor keasaman (pH) dan konduktivitas yang memanfaatkan *wireless sensor network* untuk komunikasi data ke server dan tetap menggunakan satu node. Tetapi kemudian pada alat ini pengaplikasiannya ditambahkan SMS gateway dan ditampilkan pada website dinamis agar data hasil pengukuran bisa langsung sampai kepada user. Pembuatan software pada bagian SMS menggunakan bahasa basic menggunakan *software Basic Compiler*, sedangkan pada bagian website pembuatannya menggunakan software phpDesigner 8 dengan bahasa pemrograman PHP. Setiap data yang masuk ke database akan langsung diproses dan dikirimkan melalui SMS dan diupload ke website (Umar, 2015)

Penelitian disempurnakan oleh Latif Adriana (Adriana, 2015). Penelitian ini merancang dan membangun sistem monitoring kualitas air dengan menggunakan 3 parameter yaitu keasaman (pH), Konduktivitas, dan Suhu. Menggunakan sensor LM35D, Analog pH Meter Kit dan 2 buah elektroda stainless steel untuk sensor konduktivitas serta menggunakan Arduino MEGA untuk mengolah data analog dari berbagai sensor tersebut yang kemudian akan dikirimkan kepada perangkat komputer dan smartphone android.

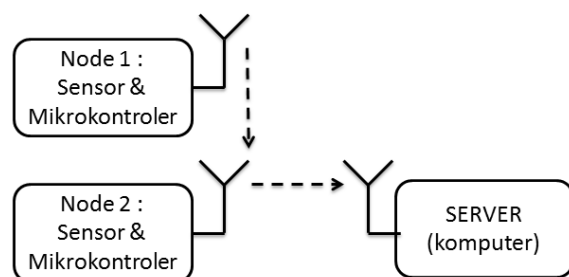
Berdasarkan penelitian terdahulu, rancangan sistem monitoring kualitas air hanya menggunakan satu node dan menggunakan topologi point to point. Hal itu menimbulkan masalah baru apabila sampel air yang digunakan lebih dari satu, serta pengembangannya hanya terfokus pada server ke user. Pada penelitian ini dirancang sistem monitoring kualitas air kolam dengan dua buah node dan dengan dua topologi yang berbeda yaitu *multipoint to point* dan bus yang dikoneksikan dengan wireless sensor network. Penelitian sebelumnya menggunakan komunikasi zigbee, pada penelitian ini akan digunakan komunikasi zigbee dengan wifi.

2. METODOLOGI

Perancangan sistem monitoring kualitas air pada kolam ikan berbasis wireless sensor network meliputi perancangan perangkat keras (hardware) dan perancangan perangkat lunak (software). Gambar skema perancangan sistem monitoring kualitas air pada kolam ikan berbasis wireless sensor network menggunakan topologi multipoint to point disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema kerja menggunakan topologi multipoint to point



Gambar 2. Skema kerja menggunakan topologi bus

Cara kerja dari alat sistem monitoring kualitas air kolam dengan topologi multipoint to point adalah sinyal input analog pada masing-masing node akan diproses oleh mikrokontroler. Setelah diproses, data dari node 1 akan ditransmisikan melalui XBee langsung kepada server. Begitu juga sebaliknya, data dari node 2 akan ditransmisikan ke server. Setelah server menerima data dari kedua

node, maka selanjutnya akan ditampilkan dalam aplikasi perangkat lunak pada server. Pada penelitian ini server berupa perangkat komputer dengan tambahan aplikasi *user interface*. Apabila salah satu node mengalami kerusakan, hal itu tidak akan berpengaruh terhadap node yang lain. Ini dikarenakan setiap node melakukan pengiriman secara sendiri-sendiri langsung kepada server.

Selanjutnya gambar skema perancangan sistem monitoring kualitas air pada kolam ikan berbasis *wireless sensor network* menggunakan topologi bus disajikan pada Gambar 2. Cara kerja dari sistem monitoring kualitas air menggunakan topologi bus adalah diawali dari sinyal input pada node 1 diolah oleh mikrokontroler kemudian data ditransmisikan kepada node 2. Setelah data dari node 1 sampai ke node 2, maka kemudian data dari sensor pada node 2 dan data yang diterima dari node 1 akan ditransmisikan bersama ke server. Apabila node 1 mengalami kerusakan, maka node 2 akan langsung mengirimkan data yang ada ke server. Sebaliknya apabila node 2 mengalami kerusakan maka data tidak akan ada yang dikirimkan ke server. Hal ini mengharuskan XBee pada node 2 harus selalu dalam kondisi online.

Dalam menyelesaikan penelitian ini dilakukan langkah-langkah sebagai berikut. Perancangan hardware meliputi perancangan sistem minimum ATMEGA 16 yang akan tersambung dengan sensor keasaman (pH), sensor suhu, dan XBee. Kemudian perancangan perangkat lunak (Software) meliputi perancangan program pada mikrokontroler sebagai pengolah data dari sensor, menampilkan ke LCD dan mengirim melalui XBee. Selanjutnya merancang program antarmuka pada komputer. Setelah hasil perancangan jadi maka selanjutnya adalah melakukan pengujian terhadap rangkaian hardware dan program yang telah dibuat, serta melakukan analisis terhadap hasil yang diperoleh.

Gambar 3 merupakan flowchart program mikrokontroler untuk node 1 dan node 2 pada topologi multipoint to point. Pada pemrograman dengan topologi multipoint to point program untuk node 1 dan node 2 sama. Cara kerja node 1 dan node 2 pada topologi *multipoint to point* adalah sama. Pertama mikrokontroler akan membaca sinyal masukan yang berasal dari sensor dan diolah menjadi data digital. Kemudian mikrokontroler akan menampilkan data tersebut ke LCD dan mengirimkan kepada server melalui XBee.

Pada perancangan program mikrokontroler menggunakan topologi bus ada beberapa program yang sama dengan program pada mikrokontroler dengan menggunakan topologi *multipoint to point*. Program yang sama adalah pendeklarasian mikrokontroler, konfigurasi LCD, pendeklarasian variabel, mengirim data ke LCD dan server, membaca sensor suhu, membaca sensor keasaman (pH).

Gambar 4 akan menyajikan flowchart dari node 1 menggunakan topologi bus. Skema cara kerja dari node 1 yaitu pertama-tama mikrokontroler akan membaca sensor, baik itu sensor suhu dan sensor keasaman (pH). Tahap selanjutnya mikrokontroler akan mengirimkan data dari pembacaan sensor kepada node 2 melalui XBee. Gambar 5 menyajikan flowchart dari node 2 menggunakan topologi bus. Urutan proses yang akan terjadi di node 2 adalah pertama kali mikrokontroler akan membaca sensor, kemudian mikrokontroler akan membaca apakah ada data serial masuk dari node 1. Apabila tidak ada data serial masuk, maka selanjutnya data dari sensor akan dikirimkan kepada server. Apabila ada data serial masuk, maka akan dibaca terlebih dahulu kemudian data serial dan data sensor akan dikirimkan kepada server.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian meliputi pengujian perangkat dan pengujian sistem. Pengujian dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja perangkat dan sistem yang telah dirancang. Pengujian perangkat pada penelitian ini meliputi pengujian perangkat keras dan pengujian perangkat lunak. Pengujian sistem meliputi pengujian topologi *multipoint to point* dan topologi *bus*, menggunakan standar komunikasi zigbee. Pengujian bisa dirinci sebagai berikut:

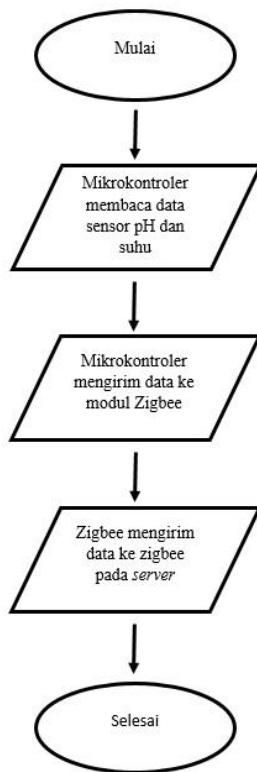
3.1 Pengujian Perangkat Keras (Hardware)

Pengujian perangkat keras meliputi pengujian rangkaian catu daya sistem, pengujian rangkaian catu daya XBee, pengujian akurasi pengukuran keasaman (pH), dan pengujian akurasi pengukuran suhu.

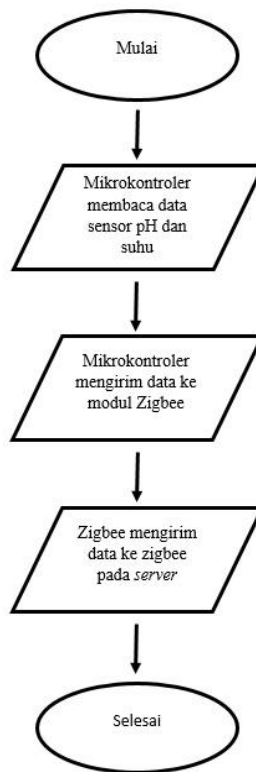
Pengujian rangkaian catu daya sistem dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran (*Vout*) dari rangkaian tersebut. Berdasarkan spesifikasi sistem yang dirancang catu daya yang digunakan

untuk mensuplai rangkaian sistem adalah 5 volt. Dari hasil pengukuran diperoleh tegangan keluaran 4,29 volt untuk catu daya rangkaian sistem minimum ATmega16. Rangkaian tersebut dapat bekerja dengan baik, dengan demikian rangkaian catu daya ini sudah dapat bekerja dengan baik.

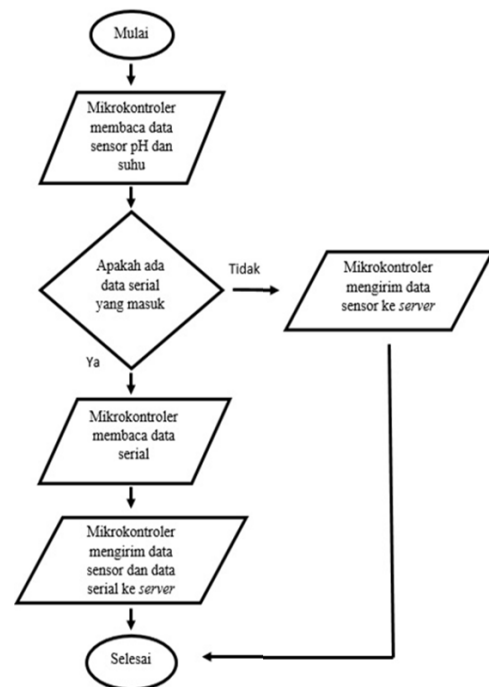
Pengujian rangkaian catu daya XBee dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran (V_{out}) dari rangkaian tersebut. Berdasarkan spesifikasi sistem yang dirancang catu daya yang digunakan untuk mensuplai rangkaian XBee adalah 3,3 volt. Dari hasil pengukuran diperoleh tegangan keluaran 2,83 volt untuk catu daya rangkaian XBee. Rangkaian tersebut dapat bekerja dengan baik, dengan demikian rangkaian catu daya ini sudah dapat bekerja dengan baik.



Gambar 3. Flowchart untuk topologi multipoint to point



Gambar 4. Flowchart node 1 menggunakan topologi bus



Gambar 5. Flowchart node 2 menggunakan topologi bus

Pengujian akurasi pengukuran keasaman (pH) bertujuan untuk mengetahui akurasi dari perangkat pengukuran keasaman (pH) yang telah dibuat. Pengujian menggunakan dua sampel yaitu menggunakan air sumur dan di ujicoba langsung pada kolam ikan lele. Kemudian hasilnya akan dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan pH meter. Hasil pengujian akurasi pengukuran keasaman (pH) dengan sampel air sumur disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengujian pengukuran keasaman (pH) menggunakan air sumur

Sensor keasaman (pH) 1	Sensor keasaman (pH) 2	pH meter	Error sensor pH 1 (%)	Error sensor pH 2 (%)
7,1	7,2	7,3	2,7	1,3
7,1	7,2	7,4	4,0	2,7
7,1	7,1	7,3	2,7	2,7
7,2	7,3	7,4	2,7	1,3
7,0	7,1	7,4	5,4	4,0
7,0	7,1	7,3	4,1	2,7
7,1	7,2	7,4	4,0	2,7
7,2	7,3	7,4	2,7	1,3
Rata-rata			3,5	2,3

$$\text{Error (\%)} = \frac{\text{selisih nilai sensor dengan pH meter}}{\text{nilai pH meter}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{Akurasi} = 100\% - \text{rata-rata error} \quad (2)$$

Berdasar persamaan 1 dan 2 maka diperoleh nilai rata-rata *error* sensor keasaman (pH) 1 adalah 3,5% , atau bisa dikatakan bahwa akurasi adalah 96,5%. Sedangkan nilai rata-rata *error* sensor keasaman (pH) 2 adalah 2,3% atau bisa dikatakan bahwa akurasi adalah 97,7%. Pengujian sensor keasaman (pH) selanjutnya yaitu di uji secara langsung pada kolam ikan lele. Kolam yang digunakan untuk pengujian adalah kolam ikan lele terletak di Kecamatan Karanglewas Kabupaten Banyumas. Tabel 2 menyajikan hasil pengukuran keasaman (pH) pada kolam ikan lele.

Tabel 2. Pengujian pengukuran keasaman (pH) pada air kolam ikan lele

Sensor keasaman (pH) 1	Sensor keasaman (pH) 2	pH meter	Error sensor pH 1 (%)	Error sensor pH 2 (%)
6,7	6,7	6,9	2,8	2,8
6,9	6,9	7,1	2,8	2,8
7,0	7,1	7,4	4,0	2,7
6,6	6,8	7,3	9,5	6,8
6,8	6,7	7,0	2,8	4,2
6,8	6,7	6,9	1,4	2,8
6,9	6,9	7,2	4,1	4,1
6,8	6,8	7,0	2,8	2,8
Rata-rata			3,7	3,6

Nilai rata-rata *error* sensor keasaman (pH) 1 adalah 3,7 % dan nilai keakuratan pembacaan 96,3 %. Sedangkan nilai rata-rata *error* sensor keasaman (pH) 2 adalah 3,6 %, nilai keakuratan pembacaan 96,4 %.

Pengujian akurasi pengukuran suhu digunakan untuk menguji apakah sensor suhu dapat membaca sampel dengan baik. Selanjutnya hasil tersebut akan dibandingkan menggunakan alat ukur suhu air, dalam hal ini menggunakan termometer untuk cairan. Pada pengujian ini akan dilakukan menggunakan sampel air sumur dan di uji coba langsung pada kolam ikan lele. Tabel 3 akan menyajikan hasil pengukuran suhu pada sampel air sumur

Tabel 3. Pengujian pengukuran suhu pada air sumur

Sensor suhu (°C) 1	Sensor suhu (°C) 2	Termometer (°C)	Error sensor suhu (%)	Error sensor suhu (%)
23,7	23,7	26,1	9,1	9,1
24,2	24,3	26,0	6,9	6,5
24,0	23,9	26,1	8,7	7,6
24,0	24,0	26,1	8,7	8,7
24,3	24,3	26,0	6,5	6,5
24,1	24,2	26,2	8	7,6
23,6	23,8	26,0	9,2	8,4
24,1	24,1	26,1	7,6	7,6
Rata-rata			8,0	7,7

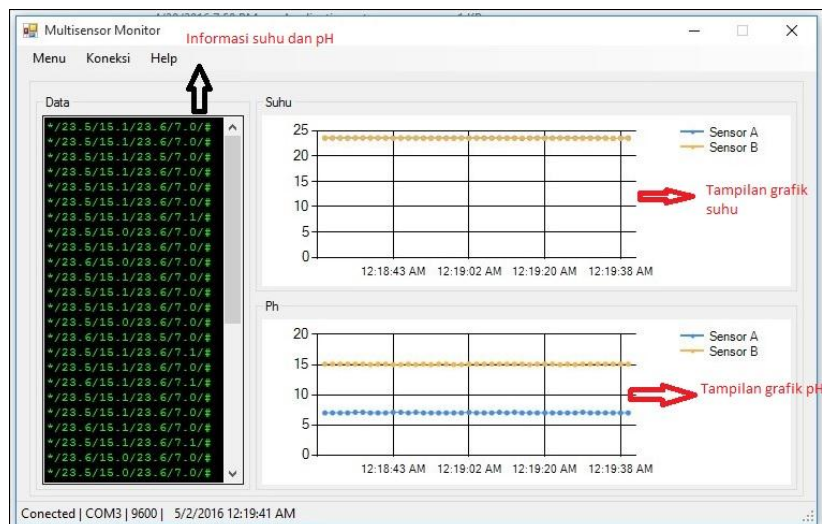
Nilai rata-rata *error* sensor suhu 1 adalah 8,0% dan nilai keakuratan pembacaan 92%. Nilai rata-rata *error* sensor suhu 2 adalah 7,7% dan nilai keakuratan pembacaan 92,3%. Pengujian sensor suhu selanjutnya langsung di aplikasikan pada kolam ikan lele. Tabel 4 akan menyajikan hasil pengukuran suhu air pada kolam ikan lele. Nilai rata-rata *error* sensor suhu 1 adalah 6,9 % dan nilai keakuratan pembacaan 93,1 %. Nilai rata-rata *error* sensor suhu 2 adalah 7,1 % dan nilai keakuratan pembacaan 92,9 %.

Tabel 4. Pengujian pengukuran suhu pada air kolam ikan lele konfigurasi

Sensor suhu (°C) 1	Sensor suhu (°C) 2	Termometer (°C)	Error sensor suhu (%)	Error sensor suhu (%)
26,2	26,1	28,1	6,7	7,1
26,3	26,2	28,0	6,0	6,4
26,1	26,0	28,0	6,7	7,1
26,0	26,0	28,1	7,4	7,4
26,1	26,1	28,2	7,4	7,4
26,2	26,1	28,1	6,7	7,1
26,2	26,3	28,2	7,0	6,7
26,1	26,0	28,2	7,4	7,8
Rata-rata			6,9	7,1

3.2 Pengujian Perangkat Lunak

Pengujian perangkat lunak disini adalah menguji *user interface*. Ada dua buah *user interface* yaitu salah satunya untuk menampilkan hasil pengukuran yang dikirim menggunakan XBee dengan topologi *multipoint to point* dan *user interface* lain yang digunakan untuk menampilkan hasil pengukuran menggunakan topologi *bus*. Secara tampilan dua buah *user interface* ini sama, hanya terdapat perbedaan pada pemrograman. Pada gambar 6 disajikan gambar dari *user interface* yang telah di ujicoba dengan semua perangkat secara keseluruhan.

**Gambar 6. Tampilan user interface**

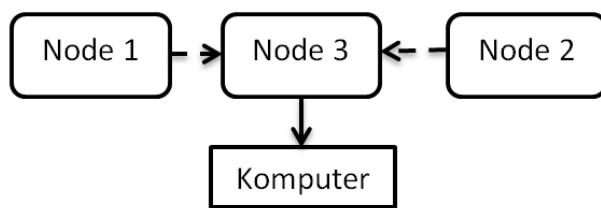
Pada gambar diatas dapat dilihat tampilan dari aplikasi untuk *user interface* yang telah dibuat menggunakan visual studio. Ada 3 bagian utama dari aplikasi *user interface* ini. Pertama adalah bagian pada sebelah kiri yang menampilkan hasil dari pengukuran sensor keasaman (pH) dan suhu. Data yang ditampilkan adalah suhu dan keasaman (pH) yang ditampilkan di depan berasal dari *node 2* dan suhu dan keasaman (pH) yang ditampilkan dibelakang berasal dari *node 1*. Kedua adalah bagian pada sebelah kanan atas yang menampilkan grafik dari pengukuran suhu baik itu suhu dari *node 1* dan *node 2*. Sensor A merupakan *node 1* dan sensor B merupakan *node 2*. Ketiga adalah bagian pada kanan bawah yang menampilkan grafik dari pengukuran keasaman yang berasal dari *node 1* dan *node 2*. Seperti pada grafik suhu, sensor A disini berasal dari *node 1* dan sensor B merupakan *node 2*.

Data yang masuk pada aplikasi *user interface* ini akan selalu ditampilkan pada layar utama. Hal ini juga mengakibatkan grafik dari sensor suhu dan keasaman (pH) akan senantiasa berubah mengikuti data yang masuk.

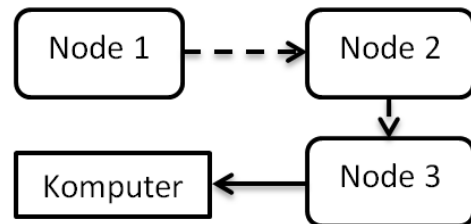
3.3 Pengujian Sistem Komunikasi

Sistem terdiri dari 3 buah node, node 1 dan node 2 terhubung dengan sensor dan dipasang dilapangan, sedangkan node 3 terhubung pada server (komputer). Topologi jaringan yang digunakan ada 2 jenis, yaitu *multi point to point* dan *bus*.

Pada *multi point to point*, node 1 mengirim data ke node 3 secara langsung, dan juga node 2 mengirim data secara langsung ke node 3 (gambar 7). Sedangkan pada jaringan dengan topologi bus, node 1 mengirim data pada node 2, kemudian node 2 mengirimkan data-data tersebut kepada node 3 (gambar 8). Pada pengujian ini, node 2 memiliki peran yang penting, karena begitu node 2 rusak, maka sistem akan berhenti bekerja. Pada kedua percobaan tersebut, sistem berjalan dengan lancar, data dari node 1 dan node 2 bisa ditampilkan dengan benar pada komputer. Masing-masing node mengirimkan dua jenis data, data suhu dan data nilai pH. Standar komunikasi yang digunakan adalah zigbee. Zigbee unggul dari sisi penggunaan atau konsumsi daya.



Gambar 7. Pengujian dengan topologi jaringan multipoint to point



Gambar 8. Pengujian dengan topologi jaringan bus

4. KESIMPULAN

Telah berhasil dirancang sistem monitoring kualitas air pada kolam ikan berbasis *wireless sensor network* menggunakan konfigurasi topologi *multipoint to point* dan *bus*. Standar komunikasi yang digunakan adalah zigbee. Akurasi perangkat pengukuran keasaman (pH) diatas 90 %. Kelemahan dari sensor ini adalah masih berupa sensor analog dengan sinyal keluaran berupa tegangan. Apabila menggunakan sensor digital maka hasil pengukuran akan jauh lebih akurat dan memiliki noise yang lebih sedikit. Akurasi perangkat pengukuran suhu memiliki tingkat keakuratan diatas 90 %.

Beberapa saran untuk pengembangan sistem dalam penelitian selanjutnya, diantaranya: sensor keasaman (pH) diganti menggunakan sensor yang cara kerjanya sudah digital agar lebih tahan dari gangguan, penggunaan sistem monitoring ini akan lebih baik jika setiap node alat ditambahkan baterai dan suplai daya mandiri (misalnya solar cell).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Universitas Islam Indonesia atas hibah penelitian yang telah diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adriana, S.L., (2015), Rancang Bangun Monitoring Kualitas Air Berbasis Smartphone Android. Skripsi. Fakultas Teknik Industri (FTI), Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Flynn, B., Martínez, R., (2007), SmartCoast A Wireless Sensor Network for Water Quality Monitoring, 32nd IEEE Conference on Local Computer Networks.
- Jiang, P., Xia, H., He, Z. & Wang, Z., (2009), Design of a Water Environment Monitoring System Based on Wireless Sensor Networks, *Sensors*, 9(8), 6411-6434.
- Mahfudz, S. & Rahardjo, P.M., (2008), Pengukur Suhu dan pH Tambak Air Terintegrasi dengan Data Logger,” *Jurnal EECCIS*. Vol. II: hal 22-25.
- Sridharan, S., (2014), Water Quality Monitoring System Using Wireless Sensor Network, *International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering (IJARECE)* Volume 3, Issue 4.
- Umar, (2015), Rancang Bangun Telemetri pH dan Konduktivitas Air Berbasis SMS Gateway dan Website, Skripsi, Fakultas Teknik Industri, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

- Yuwono, T., Hakim, L., Ardi, I., & Umar, (2016), The Application of Internet of Things System for Water Quality Monitoring, *Internetworking Indonesia Journal*, Vol.8, No.1.
- Zia, H., Harris, N.R., Merrett, G.V., Rivers, M., Coles, N, (2013), The impact of agricultural activities on water quality: A case for collaborative catchment-scale management using integrated wireless sensor networks, *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 96.