

Rancang Bangun Jaringan Sensor Nirkabel Berbasis ZigBee untuk Kasus Monitoring Kualitas Air pada Lingkungan Terdistribusi

Benito Danneswara Widyatama, dan Waskitho Wibisono
Departemen Informatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: waswib@if.its.ac.id

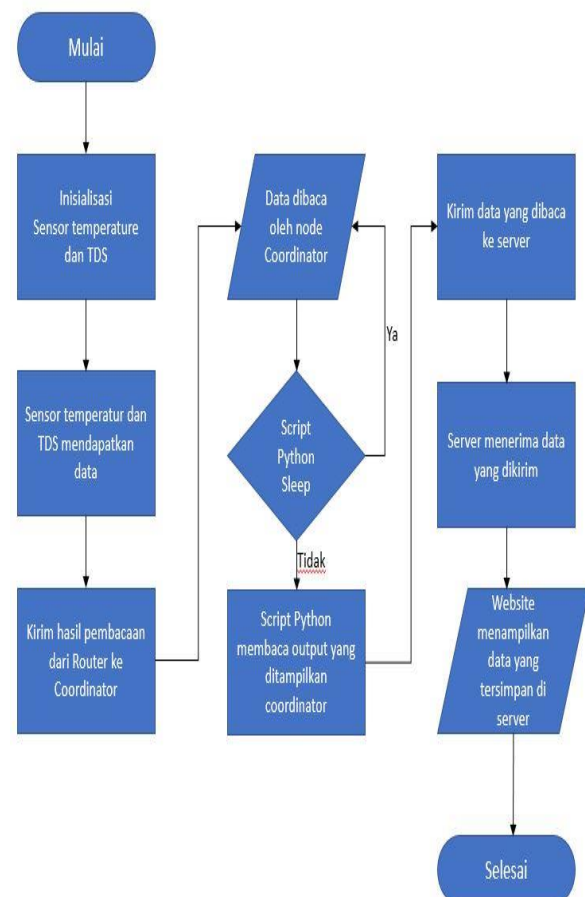
Abstrak—Dalam beberapa tahun terakhir, *Wireless Sensor Network (WSN)* mendapatkan banyak perhatian dalam bidang aplikasi monitoring dan kontrol baik pada lingkungan hidup maupun industry. Sebagai salah satu jenis komputasi pervasif menggunakan jaringan sensor, WSN menyediakan beberapa keuntungan baik dalam segi fungsi maupun biaya. Pada makalah ini sudah dibuat sebuah sistem untuk mengawasi dan mengevaluasi kualitas air secara real time, dimana nantinya sistem akan menganalisis data dari jaringan sensor nirkabel yang tersebar yang berbasis pada teknologi ZigBee. Sistem monitoring kualitas air ini menggunakan mikrokontroler Arduino Uno. Kemudian untuk mendapatkan data kualitas air, sistem monitoring ini menggunakan beberapa sensor, yaitu sensor Gravity TDS Meter, dan sensor temperatur tahan air DS18B20. Adapun untuk berkirim data antar node, sistem ini memanfaatkan modul XBee S2 Pro, dan mengirim data ke server menggunakan Python. Sistem ini diuji coba mulai dari uji coba fungsionalitas menggunakan beberapa scenario yang telah ditentukan. Semua node router dapat mengoperasikan sensornya dengan baik, membacanya kemudian mengirimkan datanya ke node coordinator. Node coordinator dapat membaca data yang dikirimkan kepadanya dengan baik, untuk kemudian dikeluarkan data serialnya. Script Python kemudian akan membaca data serial yang dikeluarkan oleh node coordinator, untuk kemudian dikirimkan ke server. Dari server data disimpan, kemudian ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik.

Kata Kunci— Kualitas Air, Mikrokontroler, Sensor, *Wireless Sensor Network*

I. PENDAHULUAN

KUALITAS air yang menurun sedang menjadi isu global sangat diperhatikan dunia. Hal ini lama kelamaan muncul karena populasi manusia yang terus bertumbuh, berkembangnya industri dan agrikultur, dan perubahan iklim. Jika diambil secara global, masalah mengenai kualitas air yang biasanya terjadi adalah eutrofikasi, dimana didalam air terdapat kandungan nutrisi yang berlebih, terutama fosfor dan nitrogen. Hal ini menyebabkan banyaknya hewan dalam air yang mati akibat kekurangan oksigen [1]. Maka dari itu, air yang sudah terkena dampak eutrofikasi juga tidak bisa digunakan oleh manusia dengan baik. Kualitas air yang buruk dapat berdampak pada kurangnya air yang bisa digunakan dalam banyak hal dalam suatu wilayah. Air yang terpolusi tidak bisa digunakan untuk minum, mandi, ataupun bercocok tanam.

Jaringan sensor nirkabel, atau *Wireless Sensor Network (WSN)* adalah sekumpulan sensor yang saling bekerjasama dalam sebuah jaringan untuk mengawasi satu lingkungan yang luas. Didalam jaringan ini node sensor tidak hanya

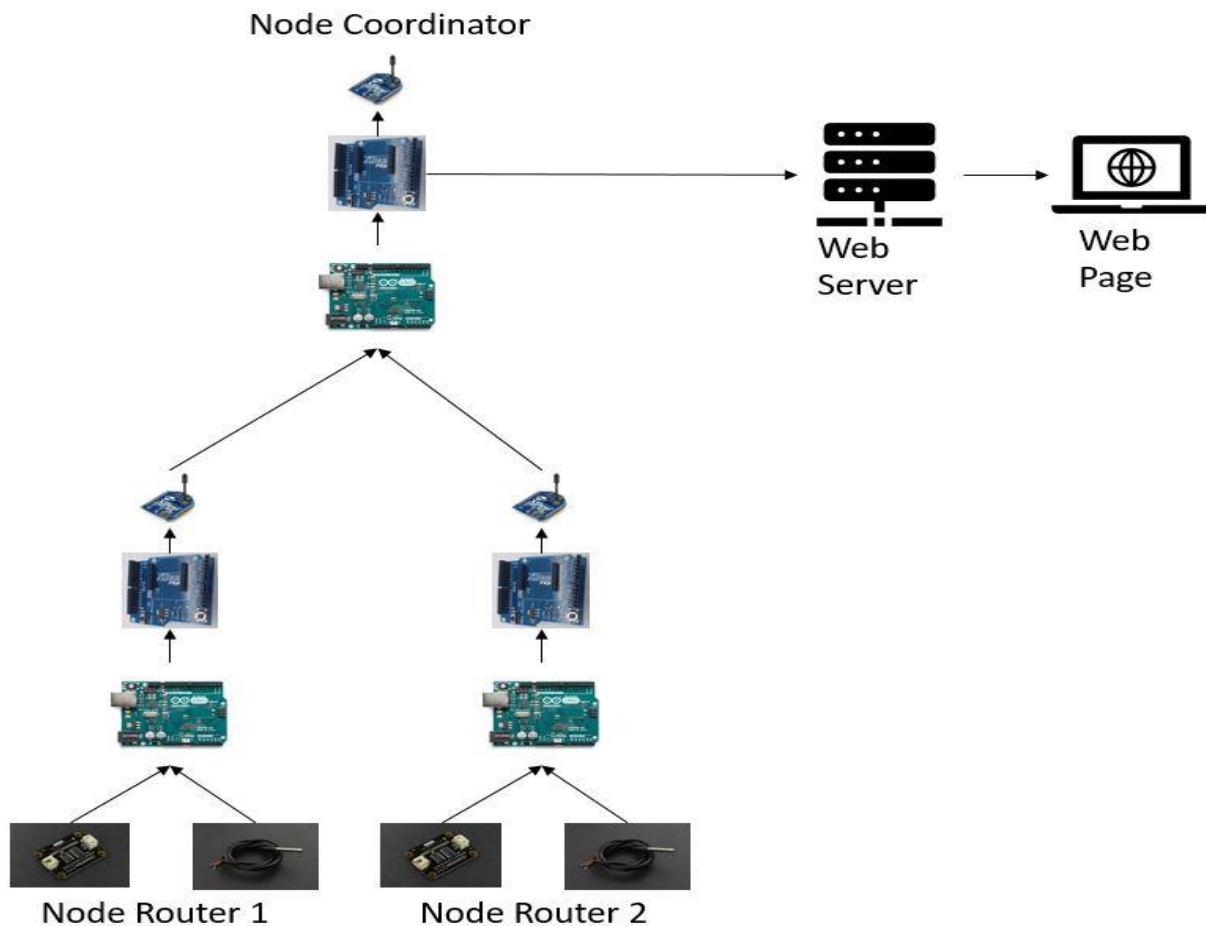


Gambar 1. Diagram Alir Data Seluruh Sistem

saling berkomunikasi satu sama lain, melainkan mereka berkomunikasi dengan sebuah *Base Station (BS)* secara nirkabel.

Kemampuan masing-masing *node* sensor dalam WSN dapat bervariasi, seperti misalnya, *node* bersensor yang digunakan dirancang untuk hanya dapat merekam satu jenis data, atau ada juga *node* lain yang dapat merekam lebih banyak data dengan kombinasi beberapa sensor. *Node* yang berada dalam jaringan ini juga dapat menggunakan pilihan komunikasi yang berbeda, misal, menggunakan *ultrasound*, inframerah, atau frekuensi radio [2].

Dalam implementasi jaringan sensor nirkabel, *node* sensor dapat berkomunikasi menggunakan beberapa metode yang berbeda. Dalam makalah ini *node* sensor yang ada akan berkomunikasi menggunakan protokol *ZigBee*. *ZigBee* sendiri merupakan sebuah standar komunikasi nirkabel yang dikembangkan dari standar IEEE 802.15.4. Peralatan yang



Gambar 2. Rancangan Arsitektur Detail Sistem

digunakan untuk menggunakan protokol *ZigBee* adalah *XBee Shield* yang dipasang tepat di atas mikrokontroler, dan modul *XBee Pro S2* yang dipasang di *XBee Shield* pada masing-masing *node*.

Untuk sensor yang digunakan *node*, akan digunakan dua jenis sensor. Sensor pertama adalah Gravity TDS Meter. Sensor ini berguna untuk mendeteksi konduktivitas elektrik yang dimiliki air, untuk kemudian dihitung bersama dengan temperatur air untuk menghasilkan nilai *part per milimeter* (ppm) pada air. Sementara itu, akan digunakan sensor temperatur tahan air DS18B20 untuk mendeteksi suhu pada air.

Pada makalah ini, penulis mengusulkan salah satu cara untuk melakukan pengawasan pada kualitas air dengan cara membuat sistem jaringan sensor nirkabel dengan menggunakan protokol *ZigBee*, dengan menggunakan sensor TDS Meter dan sensor temperatur tahan air.

II. ANALISIS DAN PERANCANGAN

Pada bagian ini akan dijelaskan analisis dan rancangan keseluruhan dari sistem pengawasan kualitas air pada lingkungan terdistribusi yang menggunakan jaringan sensor nirkabel berbasis *ZigBee*.

A. Rancangan Sistem

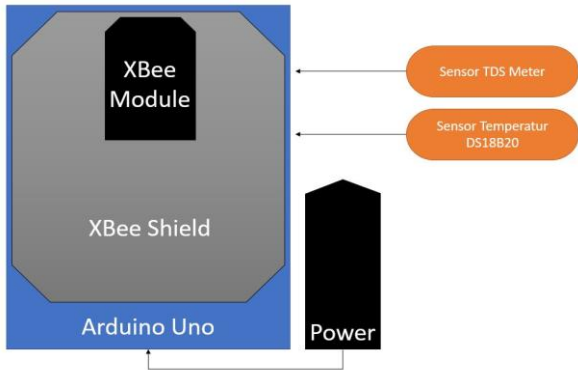
Pada perancangan sistem, sistem pemantau kualitas air akan dibuat menggunakan alur komunikasi jaringan nirkabel, dimana mikrokontroler yang tersambung dalam satu jaringan akan menjadi satu kesatuan sistem yang saling berkomunikasi

menggunakan protokol komunikasi *ZigBee*. Pada tahap komunikasi sistem, sistem akan menggunakan teknologi *Wireless Sensor Network* berbasis *ZigBee*. Untuk itu, setiap *node* akan menggunakan perangkat *XBee S2 Pro* yang akan berperan membantu komunikasi antar *node* dengan standar komunikasi *ZigBee*. Pada sistem ini akan dibutuhkan dua jenis *node*, yaitu *node Coordinator* dan *node Router*. Perangkat *node Router* berfungsi untuk membaca kondisi *part per milimeter* (ppm) dan temperatur air, yang mana akan dilakukan pengecekan secara simultan. *Node* ini akan menggunakan dua buah sensor dan modem *XBee*. Selanjutnya, data yang telah direkam oleh *node Router* akan dikirimkan ke *node Coordinator*. Setelah data diterima oleh *node Coordinator*, data akan dikeluarkan secara *serial* oleh *node Coordinator*, dimana nanti akan ditangkap *script Python* untuk dikirimkan kepada *server*.

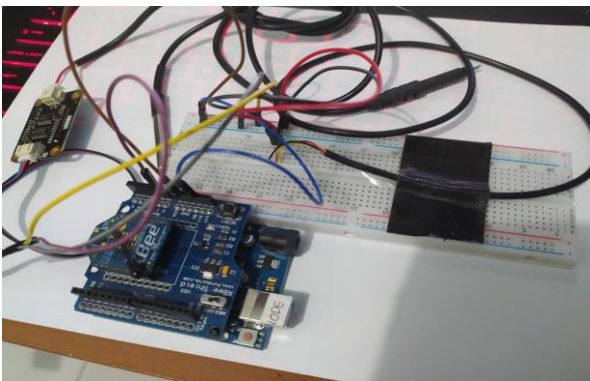
Gambar 1 merupakan alur data pada seluruh sistem yang menjelaskan seluruh aliran progress sistem dari mulainya inialisasi sensor hingga munculnya data di *website*. Gambar 2 merupakan rancangan arsitektur detail sistem. Pada sistem monitoring kualitas air ini akan menggunakan 3 buah mikrokontroler *Arduino Uno*. Pada semua mikrokontroler akan dilengkapi dengan modul *ZigBee Pro S2*, yang dipasang di atas *XBee Shield* yang dipasang tepat di atas *Arduino Uno*. Salah satu mikrokontroler akan bertindak sebagai *node coordinator* sementara yang lainnya bertindak sebagai *node router* yang tersambung dengan *node coordinator* menggunakan jaringan *ZigBee*. Untuk *node router*, akan dipasang juga dua sensor untuk mengukur kondisi air,

Tabel 1.
Daftar Spesifikasi Sensor

No.	Sensor	Merk	Model	Range / Jarak
1	EC / TDS	DFRobot	SEN0244	0 ~ 1000ppm
2	Temperature	DFRobot	DS18B20	-55 ~ 125°C



Gambar 3. Arsitektur dari Node Router



Gambar 4. Hasil Perancangan Node Router

sementara itu untuk *node coordinator* hanya akan dipasang modul Xbee dan shieldnya saja, sementara *node* itu tersambung ke komputer.

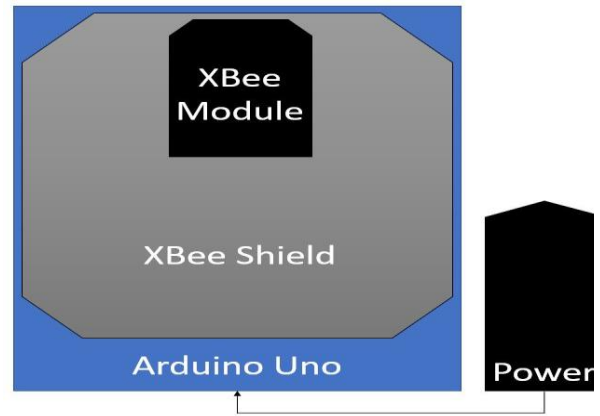
B. Rancangan Node Router

Dalam sistem pengawasan kualitas air dengan jaringan berbasis nirkabel, *node router* merupakan salah satu jenis *node* dari WSN yang memiliki tugas besar dalam jaringan. *Node* ini akan dilengkapi dengan sebuah mikrokontroler *Arduino Uno*, sensor TDS Meter dan suhu, sebuah *XBee Shield* serta modem XBee S2 Pro. Tabel 1 akan menunjukkan spesifikasi dari sensor yang akan digunakan dalam *node router* ini.

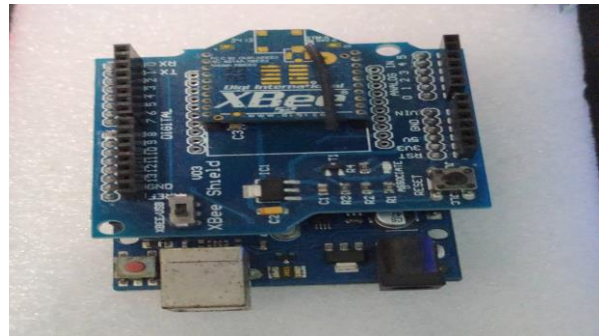
Untuk alur penyusunan peralatannya, awalnya *XBee Shield* dipasangkan tepat diatas mikrokontroler. Kemudian modem *ZigBee* dipasangkan di tempat yang disediakan pada *shield*. Kemudian untuk pemasangan sensor, untuk sensor TDS langsung tersambung pada mikrokontroler. Untuk sensor suhu, kabel dari sensor suhu dipasangkan pada *breadboard*, setelah itu dipasang resistor 4.7k diantara kabel data dan vcc, setelah itu masing-masing disambungkan ke *Arduino*. Pada Gambar 3 akan ditunjukkan arsitektur dari *node router*, dan pada Gambar 4 akan ditunjukkan hasil dari rancangan *node Router*.

C. Rancangan Node Coordinator

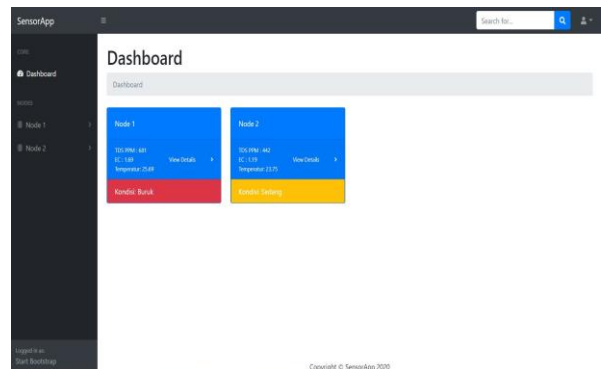
Dalam sistem pengawasan kualitas air dengan jaringan berbasis nirkabel, *node coordinator* merupakan salah satu



Gambar 5. Arsitektur dari Node Coordinator



Gambar 6. Hasil Perancangan Node Coordinator

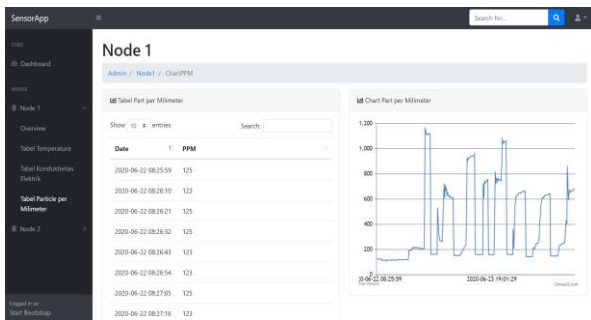


Gambar 7. Antarmuka Halaman Awal

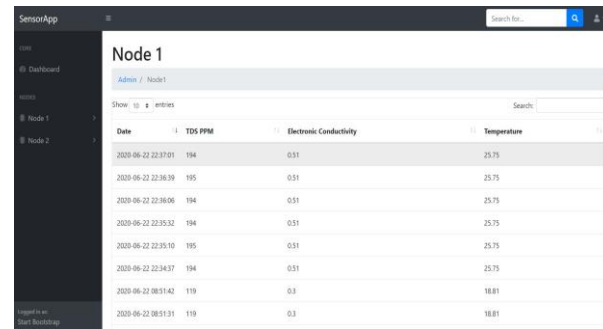
jenis *node* dari WSN yang paling penting dalam jaringan. *Node* ini bertugas untuk menerima data yang dikirimkan dari *node-node r outer*. *Node* ini akan dilengkapi dengan sebuah mikrokontroler *Arduino Uno*, sensor TDS Meter dan suhu, sebuah *XBee Shield* serta modem XBee S2 Pro. Kemudian *node coordinator* akan disambungkan dengan komputer menggunakan kabel. Pada Gambar 5 akan ditunjukkan arsitektur dari *node Coordinator*, dan pada Gambar 6 akan ditunjukkan hasil dari rancangan *node Coordinator*.

D. Rancangan Aplikasi Antarmuka Sistem

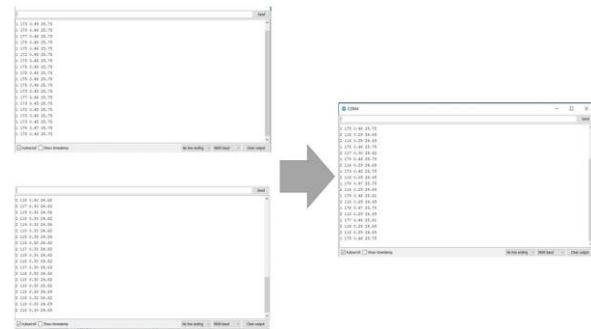
Pada penelitian ini akan dirancang antarmuka untuk menampilkan data yang tersimpan dalam server. Antarmuka ini dirancang menggunakan MySQL, PHP, HTML, dan *JavaScript*. Antarmuka ini akan menunjukkan halaman awal, dimana ditunjukkan data terakhir yang terekam dalam *server*, beserta kondisi dari air berdasarkan data terakhir yang dimiliki *node* tersebut. Antarmuka ini juga dapat menunjukkan semua rekaman data yang ada dalam *server*, bersama dengan grafik yang menunjukkan salah satu data. Contoh dari antarmuka dapat dilihat di Gambar 7 dan 8.



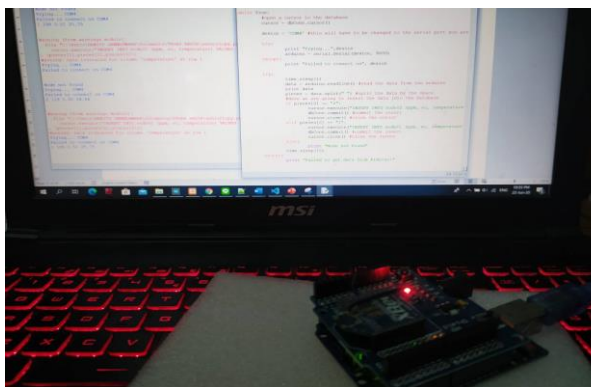
Gambar 8. Antarmuka Tabel dan Chart



Gambar 11. Percobaan Node Router Mengirim Data ke Server, Data Berhasil Masuk ke Server



Gambar 9. Hasil Uji Coba Komunikasi Antar Node ZigBee



Gambar 10. Percobaan Node Router Mengirim Data ke Server

III. PENGUJIAN

A. Pengujian Komunikasi Node ZigBee Router dan Node ZigBee Coordinator

Pengujian ini memiliki tujuan yaitu menyambungkan *node ZigBee Router* dengan *ZigBee Coordinator*. Pengujian fungsi komunikasi ini dilakukan dengan cara semua *node ZigBee Router* mengirimkan data pembacaan sensor yang dihasilkan oleh masing-masing *node ZigBee Router*.

ZigBee Coordinator akan menampilkan data dari kedua *node router* dalam *serial monitor*. Data dari setiap *node* akan ditandai dengan angka awal pada setiap baris data yang masuk. Angka 1 berarti data berasal dari *node router 1*, sedangkan angka 2 berasal dari *node router 2*. Gambar 9 akan menunjukkan hasil dari pengujian komunikasi antar *node router* dengan *coordinator*.

B. Pengujian Pengiriman Data Keapada Server

Pada pengujian ini memiliki tujuan yaitu mengirimkan data yang diterima *node coordinator* kepada *server*. Pengujian pengiriman data dari *node ZigBee Coordinator* kepada *server* dilakukan dengan cara *node ZigBee* mengirimkan data ke *database server* dengan menggunakan

Tabel 2. Hasil Ujicoba Performa Pertama

Keadaan	Ujicoba Performa - Pertama			
	Waktu Terjadi	Pergantian Status N1	Pergantian Status N2	Server Terima
Normal	06.21	-	-	06.21
Tambahan#1	06.22	06.23	06.24	06.23
Tambahan#2	06.23	06.24	-	06.24

Tabel 3. Hasil Ujicoba Performa Kedua

Keadaan	Ujicoba Performa - Kedua			
	Waktu Terjadi	Pergantian Status N1	Pergantian Status N2	Server Terima
Normal	06.42	-	-	06.42
Tambahan#1	06.43	06.44	06.43	06.43
Tambahan#2	06.44	06.45	06.45	06.45

Tabel 4. Hasil Ujicoba Performa Ketiga

Keadaan	Ujicoba Performa - Ketiga			
	Waktu Terjadi	Pergantian Status N1	Pergantian Status N2	Server Terima
Normal	06.54	-	-	06.54
Tambahan#1	06.55	06.55	06.55	06.55
Tambahan#2	06.56	06.56	06.56	06.56

script Python yang menggunakan *cursor* dan *dbConn* yang telah dipersiapkan. Kondisi awal adalah diaktifkannya *node ZigBee Coordinator*. Kemudian *node ZigBee Coordinator* menerima data yang dikirim oleh semua *node router*. Setelah menerima datanya, *node coordinator* akan mengeluarkan data yang dibaca secara *serial*. Data *serial* yang dikeluarkan *node router* akan ditangkap oleh *script Python* yang berjalan, dan kemudian akan dikirimkan ke tabel dalam *server* sesuai asal *node* menggunakan *library dbConn*. Hasilnya dapat dilihat di *website*, dengan data terbaru dari kedua *node* ditampilkan di halaman utama. Para Gambar 10 dan Gambar 11 akan ditampilkan hasil dari percobaan tersebut.

C. Pengujian Performa Sistem

Pengujian dilakukan untuk mengetahui seberapa akurat dan tepat sistem yang dibangun. Uji coba performa sistem yang dilakukan meliputi berapa keputusan yang dihasilkan bersesuaian dengan kondisi sebenarnya, seberapa lama delay yang dibutuhkan untuk sistem peringatan, dan seberapa banyak sistem peringatan yang bekerja dengan semestinya.

Pada uji coba performa ini dilakukan sebanyak sepuluh kali percobaan. Di setiap uji cobanya, dibuat skenario pada 1 menit pertama untuk kondisi air biasa, kemudian setelahnya dikondisikan terjadi penambahan kadar garam, dan setelahnya lagi dikondisikan tambahan kadar garam lagi. Pada setiap aktifitas tambahan, seharusnya sistem akan

Tabel 5.
Hasil Ujicoba Performa Keempat

Keadaan	Ujicoba Performa - Keempat			
	Waktu Terjadi	Pergantian Status N1	Pergantian Status N2	Server Terima
Normal	07.00	-	-	07.01
Tambahan#1	07.02	07.02	07.02	07.02
Tambahan#2	07.03	07.03	07.03	07.03

Tabel 6.
Hasil Ujicoba Performa Kelima

Keadaan	Ujicoba Performa – Kelima			
	Waktu Terjadi	Pergantian Status N1	Pergantian Status N2	Server Terima
Normal	07.13	-	-	07.13
Tambahan#1	07.14	07.14	07.14	07.14
Tambahan#2	07.15	-	07.16	07.16

Tabel 7.
Hasil Ujicoba Performa Keenam

Keadaan	Ujicoba Performa – Keenam			
	Waktu Terjadi	Pergantian Status N1	Pergantian Status N2	Server Terima
Normal	07.23	-	-	07.23
Tambahan#1	07.24	07.24	-	07.24
Tambahan#2	07.25	07.25	07.25	07.25

Tabel 8.
Hasil Ujicoba Performa Ketujuh

Keadaan	Ujicoba Performa – Ketujuh			
	Waktu Terjadi	Pergantian Status N1	Pergantian Status N2	Server Terima
Normal	07.33	-	-	07.33
Tambahan#1	07.34	07.35	07.36	07.35
Tambahan#2	07.36	07.27	-	07.36

memberi tampilan naiknya kondisi air dari bagus menjadi sedang setelah terjadinya pengiriman data ke *server*. Kemudian jika kadar garam ditambah lagi, tampilan yang ditampilkan pada halaman web akan berbeda, yaitu menginformasikan kondisi air lebih buruk daripada sebelumnya. Hasil pengujian performa sistem dapat dilihat pada Tabel 2 – Tabel 11.

Dengan menganalisis semua pengujian performa yang telah dilakukan, maka didapatkan akurasi untuk sistem monitoring kualitas air ini. Untuk menentukan besaran nilai akurasi dan presisi sistem, maka dibuat pembagian seperti yang ditunjukkan Tabel 12 dan Tabel 13.

TP = True Positive
 FN = False Negative
 FP = False Positive
 TN = True Negative

$$Presisi = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$Akurasi = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

$$Presisi = \frac{36}{36 + 4} = 0.9 = 90\%$$

$$Akurasi = \frac{36 + 10}{36 + 10 + 4 + 0} = 0.92 = 92\%$$

Berdasarkan data dan perhitungan diatas, nilai presisi dari

Tabel 9.
Hasil Ujicoba Performa Kedelapan

Keadaan	Ujicoba Performa – Kedelapan			
	Waktu Terjadi	Pergantian Status N1	Pergantian Status N2	Server Terima
Normal	07.43	-	-	07.43
Tambahan#1	07.44	07.44	07.44	07.44
Tambahan#2	07.45	07.45	07.45	07.45

Tabel 10.
Hasil Ujicoba Performa Kesembilan

Keadaan	Ujicoba Performa – Kesembilan			
	Waktu Terjadi	Pergantian Status N1	Pergantian Status N2	Server Terima
Normal	07.53	-	-	07.53
Tambahan#1	07.54	07.54	07.54	07.54
Tambahan#2	07.56	07.55	07.55	07.55

Tabel 11.
Hasil Ujicoba Performa Kesepuluh

Keadaan	Ujicoba Performa – Kesepuluh			
	Waktu Terjadi	Pergantian Status N1	Pergantian Status N2	Server Terima
Normal	08.03	-	-	08.03
Tambahan#1	08.04	08.04	08.04	08.04
Tambahan#2	08.05	08.05	08.05	08.05

Tabel 12.
Rumusan Confusion Matrix

Keputusan Sistem	Kondisi Sebenarnya	
	True	False
True	TP	FP
False	FN	TN

Tabel 13.
Confusion Matrix Sistem Monitoring Kualitas Air

Keputusan Sistem	Kondisi Sebenarnya	
	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi
Terdeteksi	36	4
Tidak Terdeteksi	0	10

sistem yaitu 90%, dan nilai keakuratan keseluruhan sistem dalam menampilkan keputusan yang benar yaitu 92%.

IV. EVALUASI

Berikut adalah evaluasi dari hasil pengujian yang telah dilakukan: (1)*Node Router* dapat merekam data sensor dari sensor suhu dan TDS dengan baik. *Node router* kemudian dapat mengirim data hasil perekaman ke *node Coordinator*; (2)*Script Python* dapat berfungsi dengan baik untuk menangkap data serial yang dikeluarkan *node Coordinator*, untuk kemudian memasukkannya ke *database server*; (3) Dari pengujian performa sistem berhasil menampilkan perubahan kondisi pada kualitas air pada suatu *node* dengan tepat waktu sebanyak 92%. Sedangkan ada beberapa waktu dimana terjadi *delay* pada pengiriman data ke *server*.

V. KESIMPULAN

Setelah melakukan perancangan dan pengujian pada sistem pengawasan kualitas air menggunakan jaringan nirkabel berbasis *ZigBee*, pada makalah ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut: (1) Sistem sudah berhasil menyediakan rancangan sistem pengawasan kualitas air menggunakan jaringan sensor berbasis nirkabel berbasis *ZigBee*.

Perancangan dimulai dari pembuatan alur komunikasi pada sistem agar komponen yang digunakan saling berkomunikasi satu sama lain sehingga menghasilkan sebuah sistem yang diharapkan; (2)Metode yang digunakan untuk mendeteksi kualitas air dapat dilakukan dengan beberapa node Router yang mengirimkan data serial menggunakan *ZigBee* kepada satu *node Coordinator* yang kemudian mengirimkan datanya kepada *server*; (3)Sistem dapat mendeteksi kualitas air dengan mengandalkan sensor TDS Meter yang dilengkapi sensor suhu; (4)Sistem dapat memantau kualitas air melalui

aplikasi dengan *script python*, yang kemudian diolah dalam web.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Un Water, "UN-water policy brief: water quality," Jenewa, 2011. [Online]. Available: <https://www.unwater.org/publications/un-water-policy-brief-water-quality/>.
- [2] W. Dargie and C. Poellabauer, *Fundamentals of Wireless Sensor Networks: Theory and Practice*. John Wiley and Sons, 2010.