

Sistem Pemantauan Kadar pH, Suhu dan Warna pada Air Sungai Melalui Web Berbasis Wireless Sensor Network

Ahmad Sabiq^{*}, Prabowo Nugroho Budisejati

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas YARSI
Jl. Let. Jend. Suprpto, Cempaka Putih, Jakarta Pusat, Indonesia 10410

Abstract - Water is a very important natural resource for human life and other living things. Water pollution, especially in river water, should be controlled because of the rapid development. One technology to monitor multiple physical quantities scattered in a region is the Wireless Sensor Network (WSN). WSN technology has the ability to transmit data from sensor readings and forward data received from other nodes. In this study, a prototype was developed to monitor pH level, temperature, and color of river water based on WSN that can be monitored through the web. The sensors at each node are connected to Arduino Uno as a processing unit. Data read from the sensor is sent to the sync node via XBee wireless device. In the sink, the PC also serves as a database server and a web server is used. Test results with two different dispersion indicate that sensor readings can be read by all nodes and received by the sync node and can be displayed on web pages that have been built.

Keywords – WSN; water pollution monitoring; web-based monitoring system

Abstrak - Air merupakan sumber daya alam yang sangat penting bagi kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya. Pencemaran air, khususnya air sungai perlu dikendalikan. Salah satu teknologi untuk melakukan pemantauan besaran fisik dalam wilayah yang tersebar adalah Wireless Sensor Network (WSN), yang memiliki kemampuan untuk mengirimkan data hasil pembacaan sensor serta meneruskan data yang diterima dari node lain. Pada penelitian ini dikembangkan purwarupa sistem pemantauan kadar pH, suhu dan warna berbasis WSN yang dapat dipantau melalui web. Sensor pada setiap node dihubungkan ke Arduino Uno sebagai unit pemroses. Data yang dibaca dari sensor dikirimkan ke node sink melalui perangkat XBee nirkabel. Pada sink digunakan PC yang berfungsi juga sebagai database server dan web server. Hasil dari pengujian dengan dua penyebaran yang berbeda didapatkan hasil bahwa pembacaan sensor dapat dibaca oleh seluruh node dan diterima oleh sink serta dapat ditampilkan melalui laman web yang telah dibangun.

Kata Kunci – WSN; pemantauan polusi air; sistem pemantau berbasis web

^{*}) Ahmad Sabiq

Email: ahmad.sabiq@yarsi.ac.id

I. PENDAHULUAN

Air merupakan salah satu sumber daya alam yang penting bagi kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya, air juga dapat mempengaruhi dan dipengaruhi oleh kondisi/komponen lainnya [1]. Air permukaan yang ada seperti sungai dan situ banyak dimanfaatkan untuk keperluan manusia seperti tempat penampungan air, alat transportasi, mengairi sawah dan keperluan peternakan, keperluan industri, perumahan, sebagai daerah tangkapan air, pengendali banjir, ketersediaan air, irigasi, tempat memelihara ikan dan juga sebagai tempat rekreasi [1].

Tetapi akibat pemanfaatan manusia tersebut, air dapat mengalami dampak kerusakan baik secara langsung maupun tidak langsung. Salah satu dampak dari kerusakan air adalah terjadinya pencemaran pada air sungai, yang umumnya berasal dari limbah domestik ataupun non domestik [2]. Dari hal tersebut, pencemaran air, khususnya air sungai, perlu dikendalikan seiring makin cepatnya pembangunan agar manfaat air sungai dapat terus dilestarikan.

Salah satu bagian dari pengendalian air sungai adalah dengan melakukan pemantauan kondisi air sungai. Beberapa model pemantauan air yang sudah pernah dikembangkan antara lain, pemantauan kualitas air sungai dengan memanfaatkan teknologi telemetri yang menggunakan jaringan GSM [3] dan pemantauan kondisi air untuk budidaya lobster [4]. Sistem lainnya adalah untuk pemantauan tingkat pencemaran air sungai yang menggunakan topologi *mesh*. Pada sistem tersebut data ditampilkan secara *realtime* pada perangkat yang berfungsi sebagai *node* koordinator atau *sink* [5].

Perkembangan sistem pemantauan kualitas air saat ini cenderung mengarah ke sistem yang berbasis *Wireless Sensor Network* (WSN), terutama pada pemantauan kualitas air di daerah laut [6],[7]. Selain pemantauan kualitas air laut, sistem pemantauan ketinggian permukaan air sungai maupun air tanah berbasis WSN juga mulai dikembangkan [8]. WSN atau jaringan sensor nirkabel [9] merupakan jenis jaringan *ad-hoc multi-hop* nirkabel yang terdiri dari beberapa *node* tersebar yang berfungsi sebagai sensor nirkabel serta *sink* sebagai tujuan pengiriman data. Pada pemantauan air yang menggunakan WSN, kondisi dan kualitas air dapat dibaca menggunakan sensor untuk kemudian dikirimkan kepada *sink* agar dapat diolah menjadi informasi.

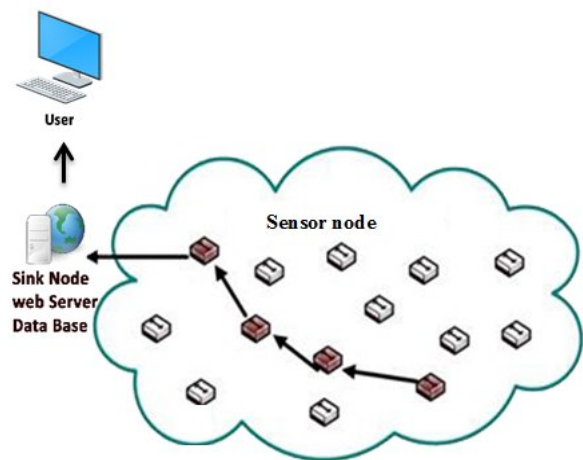
Beberapa penelitian untuk mengembangkan sistem pemantauan kualitas air berbasis WSN sudah dilakukan, seperti pada pemantauan kualitas air di Bostwana [10]. Pada penelitian tersebut dikembangkan purwarupa sistem pemantauan kualitas air minum yang tersebar menggunakan perangkat Wasmote buatan Libelium, data hasil pembacaan sensor hanya ditampilkan secara waktu nyata pada PC. Selain itu, terdapat juga penelitian yang mengembangkan purwarupa sistem pemantauan air sungai Lijiang di Guangxi, China [11]. Pada penelitian tersebut digunakan modul MSP sebagai unit pemroses dan modul CC2530 sebagai perangkat nirkabel yang menggunakan protokol ZigBee.

Pada penelitian ini, dikembangkan purwarupa sebuah sistem berbasis WSN untuk pemantauan kondisi air sungai. Sistem ini dapat memantau parameter kimia berupa pH dan parameter fisika berupa suhu dan warna yang dapat dipantau melalui web agar didapatkan informasi dari kondisi air sungai dari beberapa tempat dalam satu aliran sungai sehingga jika terjadi kondisi air dalam satu aliran sungai tersebut dapat lebih cepat diketahui tempat yang menjadi sumber penyebabnya. Pada purwarupa yang dikembangkan pada penelitian ini digunakan mikrokontroler ATmega328P sebagai unit pemroses dan Xbee Series2 nirkabel yang menggunakan protokol ZigBee. Data yang didapatkan nantinya tidak hanya akan ditampilkan secara waktu nyata pada halaman web, tetapi juga akan disimpan pada basis data, sehingga data hasil pemantauan dapat digunakan untuk keperluan lebih lanjut.

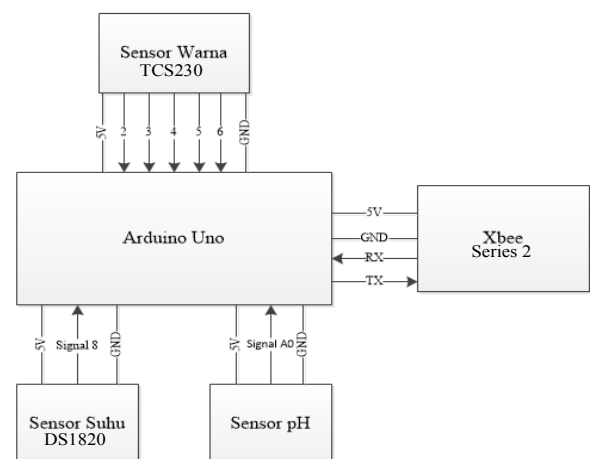
II. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, dikembangkan purwarupa dari sistem pemantauan pH, suhu dan warna yang berbasis WSN. Secara keseluruhan, desain rancangan sistem pemantauan kondisi air sungai berbasis WSN ditunjukkan pada Gambar 1. Pada sistem yang dirancang, terdapat beberapa perangkat *sensor node* WSN yang dapat mengirimkan pesan berupa data yang dibaca dari sensor yang terpasang melalui jaringan nirkabel *ad-hoc* ke *node* pusat atau *sink*. Perangkat *sensor node* WSN yang digunakan juga harus dapat meneruskan paket data dari perangkat lain ke *sink*. Sink yang menerima data dari *sensor node* berfungsi juga sebagai *database server* dan *web server*. Pada *node sink* ini data diolah menjadi informasi yang dapat diakses melalui halaman web.

Setiap *sensor node* yang digunakan dirancang agar dapat membaca nilai dari pH, suhu dan warna air sungai, serta memiliki kemampuan untuk mengirimkan data hasil pembacaan sensor serta meneruskan data yang diterima dari *node* lain hingga ke *sink node*. Desain *sensor node* yang digunakan pada penelitian ditunjukkan pada Gambar 2, pada setiap *node* terdapat tiga buah sensor yaitu sensor pH yang menggunakan analog pH Meter Kit DFRobot, modul sensor suhu digital DS18B20 dan sensor warna



Gambar 1. Desain rancangan sistem pemantauan air sungai



Gambar 2. Desain rangkaian sensor node

yang menggunakan modul TCS230. Ketiga buah sensor terhubung ke unit pengolah yang menggunakan Arduino Uno yang berbasis mikrokontroler ATmega328.

Sensor pH analog yang digunakan merupakan kit sensor pH yang diproduksi oleh DFRobot. Sensor ini dapat membaca nilai pH dari 0 sampai 14. Keluaran yang dihasilkan dari sensor ini merupakan tegangan 0 sampai 5 volt yang dihubungkan pada pin ADC pada mikrokontroler. Sensor suhu DS18B20 yang digunakan merupakan sensor suhu yang menghasilkan pulsa digital yang mengindikasikan nilai suhu yang disensor. Sensor DS18B20 yang digunakan dihubungkan ke port digital mikrokontroler pada Arduino. Pada sensor Warna TCS230, terdapat 4 jenis foto diode yang berbeda, yaitu foto diode dengan filter merah, biru, hijau dan tanpa filter yang dapat membaca nilai komposisi RGB. Hasil pembacaan warna berupa arus dikonversi menjadi frekuensi gelombang kotak dalam bentuk larik 8x8 oleh

```

<code pH>
if get milisecond - samplingTime > samplingInterval
  pHArray[pHArrayIndex++] = read analog from SensorPin
  if pHArrayIndex = ArrayLenth
    pHArrayIndex = 0
    voltage = the average of array between pHArray and ArrayLenth * 5.0/1024
    pHValue 3.5*voltage + offset
  endif
endif

<code Suhu>
request sensors
tempStr = tempStr + get sensors index 0
tempStr = tempStr + "#"
tempStr = tempStr + "$"
write tempStr

<code warna>
initialize i to zero
TCNT = 100
increment flag
if flag = 1
  counter = 0
endif
else if flag = 2
  set s2 to LOW
  set s3 to LOW
countR = counter / 1.051
  set s2 to HIGH
  set s3 to HIGH
endif
else if flag = 3
  set s2 to LOW
  set s3 to LOW
countR = counter / 1.0157
  set s2 to HIGH
  set s3 to HIGH
endif
else if flag = 4
  set s2 to LOW
  set s3 to LOW
countR = counter / 1.114
  set s2 to HIGH
  set s3 to HIGH
endif

```

Gambar 3. Pseudocode sensor node

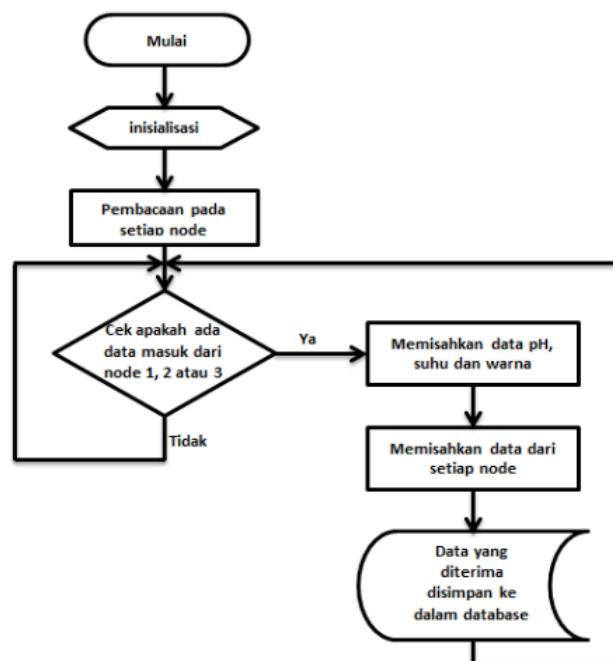
IC TCS230. Hasil pembacaan dari ketiga sensor kemudian dikirimkan menuju ke *sink node* melalui modul XBee yang terhubung ke Arduino Uno. Perangkat XBee yang digunakan pada penelitian ini adalah XBee Series2 yang memiliki kemampuan untuk meneruskan paket data dari perangkat pengirim ke perangkat penerima yang melaluinya seperti pada *router*.

Untuk mengolah hasil pembacaan sensor, Arduino Uno menjalankan program dengan alur seperti pada *pseudocode* yang ditunjukkan pada Gambar 3. *Pseudocode* tersebut mempunyai tiga bagian, yaitu kode pH, kode suhu dan kode warna. Kode pH menjelaskan nilai tegangan sebuah pH dikali 5.0/1024 dan pHValue bernilai $3.5 \times \text{voltage} + \text{offset}$. Kode suhu menjelaskan variabel tempStr + sensor index yang bernilai 0 dan akan ditulis di dalam tempStr. Kode warna menjelaskan nilai dari TCNT, dengan nilai awal 100. Jika flag 1 maka hasilnya adalah 0, flag 2 bernilai counter/1.051, flag 3 bernilai counter/1.0157 dan flag 4 bernilai counter/1.114.

Pada *sink node*, terdapat sebuah *Personal Computer* (PC) sebagai unit pengolah data yang diterima



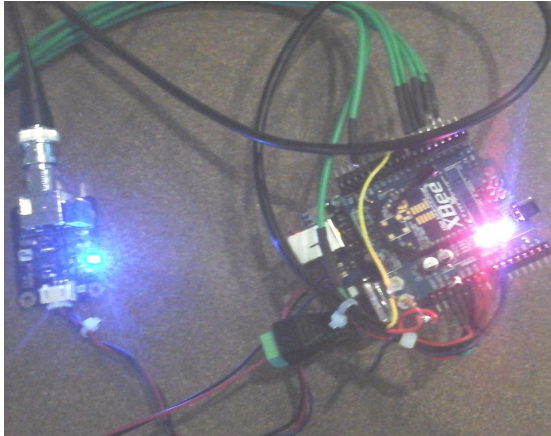
Gambar 4. XBee Series-2



Gambar 5. Diagram alir perangkat lunak sink node

dari *sensor node*. Untuk dapat menerima data yang dikirim dari *sensor node* melalui jaringan nirkabel *ad-hoc*, PC dihubungkan ke perangkat XBee Series-2 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Selain berfungsi sebagai *sink node*, PC tersebut berfungsi juga sebagai *database server* yang menyimpan data hasil pembacaan sensor dan juga sebagai *web server* yang melayani permintaan tampilan pemantauan data dari sensor secara waktu nyata. Mesin *database* yang digunakan pada *sink node* adalah MySQL 5.6, sedangkan *web server* yang digunakan adalah Apache 2.2.

Diagram alir dari kerja *node sink* yang dirancang untuk melakukan penerimaan data dan penyimpanan data ke dalam tabel *database* ditunjukkan pada Gambar 5. Penerimaan data dari modul XBee Series-2 dilakukan



Gambar 6. Implementasi sensor node

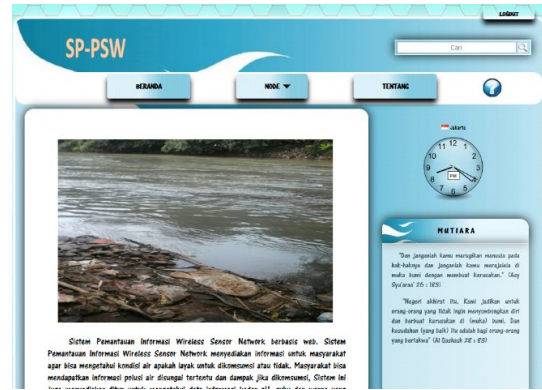
setelah inialisasi awal. Data tersebut diseleksi dan dipisahkan antara data pH, suhu dan warna. Setelah dilakukan pemisahan, data akan diseleksi kembali, data yang berasal dari *node 1*, *node 2* atau *node 3* akan dipisahkan. Setelah data dari semua sensor di setiap *node* dipisahkan, data disimpan ke dalam tabel *database*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

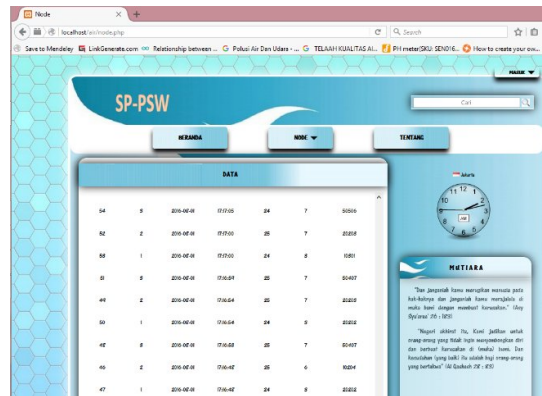
Sistem yang telah dirancang pada tahap sebelumnya, diimplementasikan dengan menggunakan *color module* TCS230, analog pH meter Kit DFRobot, *digital temperatur* DS18B20, Arduino Uno dan modul XBee Series-2 pada *sensor node* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Bagian *sink node* diimplementasikan menggunakan PC yang ditambahkan modul XBee Series-2, serta dibuatkan program menggunakan pemroses yang dapat menerima data dari *sensor node* yang dikirim ke *sink node* melalui perangkat XBee, data yang dibaca tersebut kemudian disimpan di tabel *database* yang ada pada *sink node*.

Melalui halaman web yang disediakan oleh *web server* yang ada pada *sink node*, data dapat ditampilkan melalui browser dengan mengakses web server pada *sink node* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7 dan Gambar 8. Hasil pembacaan sensor secara *realtime* dapat ditampilkan di halaman web. Data ditampilkan dalam bentuk tabel.

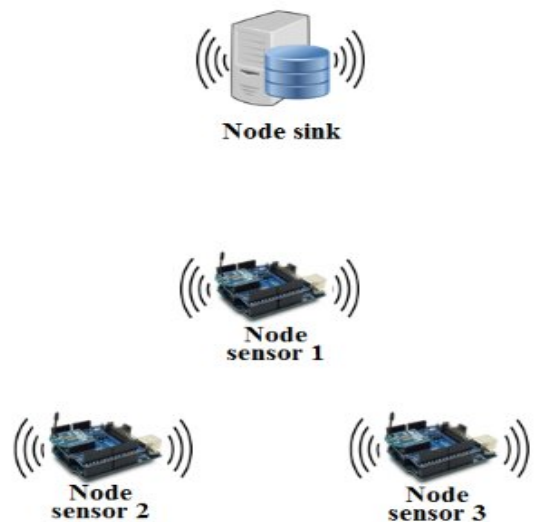
Dari sistem yang sudah diimplementasikan, dilakukan pengujian menggunakan dua skenario dengan penyebaran *node sensor* yang berbeda. Pada pengujian di skenario pertama, tiga buah *sensor node* digunakan untuk membaca besaran fisik yang akan diukur. Ketiga *sensor node* disebar dengan posisi seperti pada Gambar 9. Jarak antara Node sensor 1 dan Node sensor 2, Node sensor 1 dan Node sensor 3, Node sensor 2 dan Node sensor 3 adalah 50 meter, sedangkan jarak antara Node sensor 1 dan Node sink adalah 40 meter. Pada pengujian ini, dilakukan pengambilan data



Gambar 7. Tampilan awal laman web



Gambar 8. Hasil pembacaan sensor pada laman web



Gambar 9. Skenario pengujian pertama

dari ketiga buah sensor pada setiap *sensor node* setiap 5 detik sekali dan setiap 10 detik sekali yang dikirim ke *sensor node*.

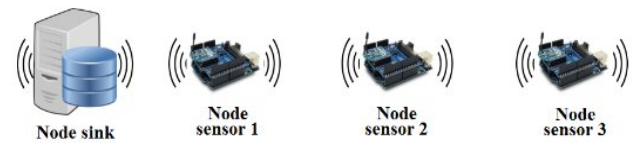
Tabel 1. Hasil pengujian skenario pertama dengan interval 5 detik

Node	Waktu	Delay (detik)	Suhu	pH	Warna
1	17:16:48	0	24	3	20202
3	17:16:48	0	25	7	50407
2	17:16:49	0	25	7	20203
1	17:16:53	0	24	3	20202
3	17:16:53	0	25	7	50407
2	17:16:55	1	25	7	20203
1	17:16:58	0	24	3	10301
3	17:17:59	1	24	7	50506
2	17:17:00	0	25	7	20203
1	17:17:03	0	24	3	20202
3	17:17:04	0	25	7	50407
2	17:17:06	1	25	7	20203
1	17:17:08	0	24	3	20202
3	17:17:10	1	25	7	50407
2	17:17:10	0	25	7	20203
1	17:17:13	0	24	3	20202
3	17:17:15	0	25	7	50407
2	17:17:15	0	25	7	20203
1	17:17:19	0	24	3	20202
3	17:17:21	1	25	7	50407
2	17:17:21	1	25	7	20203

Tabel 2. Hasil pengujian skenario pertama dengan interval 10 detik

Node	Waktu	Delay (detik)	Suhu	pH	Warna
1	18:06:08	0	24	3	20202
3	18:06:08	1	25	7	50407
2	18:06:09	0	25	7	20203
1	18:06:18	0	24	3	20202
3	18:06:19	1	25	7	50407
2	18:06:19	0	25	7	20203
1	18:06:28	0	24	3	10301
3	18:06:29	0	24	7	50506
2	18:06:29	0	25	7	20203
1	18:06:38	0	24	3	20202
3	18:06:39	0	25	7	50407
2	18:06:40	1	25	7	20203
1	18:06:48	0	24	3	20202
3	18:06:50	1	25	7	50407
2	18:06:50	0	25	7	20203
1	18:06:58	0	24	3	10301
3	18:07:00	0	24	7	50506
2	18:07:00	0	25	7	20203
1	18:07:08	0	24	3	20202
3	18:07:09	0	25	7	50407
2	18:07:10	0	25	7	20203

Dari dua pengujian yang telah dilakukan pada skenario pertama masing-masing selama 5 menit, didapatkan hasil pembacaan data sensor yang diperoleh



Gambar 10. Skenario pengujian kedua.

dari sink node seperti ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Hasil pengujian skenario pertama tersebut terdapat *delay* pada penerimaan data di beberapa node. Pada interval pengiriman 5 detik terjadi *delay* pengiriman sebanyak 6 kali dari Node sensor 2 dan Node sensor 3 masing-masing selama 1 detik. Pada interval pengiriman 10 detik, *delay* yang terjadi lebih sedikit, yaitu 3 kali. Semakin besar interval pengiriman, *delay* yang terjadi menjadi lebih sedikit.

Pada skenario kedua, digunakan tiga buah sensor node untuk membaca besaran fisik yang akan diukur, tiga buah sink node disusun secara berjajar seperti yang terlihat pada Gambar 10. Jarak antara Node sensor 1 dan Node sensor 2, Node sensor 2 dan Node sensor 3 serta Node sensor 1 dan Node sink adalah 50 meter. Pada pengujian di skenario kedua ini, ketiga buah sensor node masing-masing melakukan pengambilan data dari ketiga buah sensor yang terpasang untuk dikirim ke sink node. Pengujian pada skenario kedua ini dilakukan dua kali dengan interval pengiriman yang berbeda, yaitu 5 detik dan 10 detik.

Dari dua pengujian yang telah dilakukan pada skenario kedua, didapatkan hasil pembacaan data sensor yang diperoleh dari sink node pada Tabel 3 dan Tabel 4. Dari hasil pengujian skenario kedua tersebut terdapat *delay* pada penerimaan data di beberapa node. Pada interval pengiriman 5 detik terjadi *delay* pengiriman sebanyak 8 kali dari ketiga buah node sensor masing-masing selama 1 detik. Pada interval pengiriman 10 detik, *delay* yang terjadi lebih sedikit, yaitu 3 kali. Seperti halnya di skenario pertama, semakin besar interval pengiriman, *delay* yang terjadi menjadi lebih sedikit.

Dalam pengujian dengan menggunakan dua skenario yang berbeda, diperoleh hasil bahwa semua sensor dapat membaca data dan semua data dari sensor node dapat dikirimkan ke sink node. Pada skenario kedua, *delay* yang didapatkan pada pengiriman data terlihat lebih tinggi dibandingkan pada skenario pertama, terutama pada percobaan dengan interval pengiriman 5 detik. Hal tersebut bisa disebabkan karena pada skenario kedua data hanya bisa dikirimkan dengan melewati 1 node saja yaitu Node sensor 1, berbeda dengan skenario pertama yang saling berkomunikasi satu sama lain pada setiap node, sehingga tingkat pengiriman data pada skenario kedua lebih padat dibandingkan skenario pertama.

Tabel 3. Hasil pengujian skenario kedua dengan interval 5 detik

Node	Waktu	Delay (detik)	Suhu	pH	Warna
2	18:59:52	0	26	5	20304
3	18:59:53	0	25	7	50405
1	18:59:55	0	25	5	30001
2	18:59:58	1	26	6	20304
3	18:59:59	1	25	7	50404
1	19:00:01	1	25	5	10000
2	19:00:04	1	26	6	20305
3	19:00:06	1	25	7	50405
1	19:00:06	0	25	6	10000
2	19:00:09	0	26	5	20304
1	19:00:11	0	25	5	30001
3	19:00:12	1	25	7	50405
2	19:00:15	1	26	5	20304
1	19:00:16	0	25	5	30001
3	19:00:17	0	25	7	50405
2	19:00:20	0	26	5	20304
1	19:00:21	0	25	5	30001
3	19:00:22	0	25	7	50405
2	19:00:26	1	26	5	20304
1	19:00:26	0	25	5	30001
3	19:00:27	0	25	7	50405

Tabel 4. Hasil pengujian skenario kedua dengan interval 10 detik

Node	Waktu	Delay (detik)	Suhu	pH	Warna
2	19:49:52	1	26	5	20304
3	19:49:53	0	25	7	50405
1	19:49:55	0	25	5	30001
2	19:50:03	0	26	6	20304
3	19:50:04	1	25	7	50404
1	19:50:05	0	25	5	10000
2	19:50:13	0	26	6	20305
3	19:50:14	0	25	7	50405
1	19:50:15	0	25	6	10000
2	19:50:23	0	26	6	20304
3	19:50:25	1	25	7	50404
1	19:50:25	0	25	5	10000
2	19:50:33	0	26	6	20305
1	19:50:35	0	25	6	10000
3	19:50:35	0	25	7	50405
2	19:50:43	0	26	6	20304
1	19:50:45	0	25	5	10000
3	19:50:45	0	25	7	50404
2	19:50:53	0	26	6	20305
1	19:50:55	0	25	6	10000
3	19:50:55	0	25	7	50405

Secara keseluruhan, semua data *sensor node* yang dikirimkan ke *sink node* dapat direkam ke tabel *database* dan dapat ditampilkan melalui halaman web secara *realtime* seperti [5] dan [10]. Dari penelitian yang sudah

dilakukan ini, diharapkan purwarupa yang dibangun dapat dikembangkan lebih lanjut menjadi sistem pemantauan kualitas air pada daerah aliran sungai [11] yang siap digunakan. Sistem pemantauan kualitas air dengan menggunakan WSN [6]-[9] pada aliran sungai yang memanjang diharapkan dapat lebih maksimal karena menggunakan topologi *mesh* [5] yang bersifat *multi-hop* dibanding dengan menggunakan topologi *star* yang bersifat *single-hop* [3],[4].

IV. KESIMPULAN

Pada penelitian ini, purwarupa sistem pemantauan kadar pH, suhu dan warna yang berbasis WSN telah dapat dirancang dan dikembangkan. Sensor pada setiap node dihubungkan ke arduino sebagai unit pemroses, data yang dibaca dari sensor dikirimkan ke *sink node* melalui perangkat XBee nirkabel. Pada *sink node* digunakan PC yang berfungsi juga sebagai *database server* dan *web server*. Hasil dari pengujian dengan dua penyebaran yang berbeda didapatkan hasil bahwa pembacaan sensor dapat dibaca oleh seluruh *sensor node* dan diterima oleh *sink node* serta dapat ditampilkan melalui laman web yang telah dibangun.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Hendrawan, "Kualitas Air Sungai dan Situ di DKI Jakarta," *Makara Teknologi*, vol. 9, no. 1, pp. 13-19, April 2005.
- [2] S. Yudo, "Kondisi Kualitas Air Sungai Ciliwungdi Wilayah DKI Jakarta Ditinjau dari Parameter Organik, Amoniak, Fosfat, Deterjen dan Bakteri Coli," *Jurnal Air Indonesia*, vol. 6, no. 1, pp. 34-42, 2010.
- [3] D. Syamsi, "Pemanfaatan Teknologi Telemetry Untuk Pengawasan dan Pengendalian Pencemaran Air Sungai," *INKOM*, vol. 6, no. 2, pp. 103-111, 2012.
- [4] R. Wiguna, N. Hendrarini, and R. Handayani, "Manajemen Jaringan *Wireless Sensor Network* (Wsn) pada Budidaya Lobster Air Tawar," *eProciding Telkom University*. 2015. [Online] https://openlibrary.telkomuniversity.ac.id/pustaka/files/104439/jurnal_eproc/jurnal_eproc.pdf. [Diakses 4 Februari 2017].
- [5] Y. E Saputra, J. Jusak, "Rancang Bangun *Wireless Sensor Network* untuk Monitoring Pencemaran Air Sungai Menggunakan Topologi *Mesh Network*," *Journal of Control and Network Systems*, vol. 3, no. 2, pp. 98-106, 2014.
- [6] K. S. Adu-Manu, C. Tapparelo, W. Heinzelman, F. A. Katsriku, and J.D. Abdulai, "Water Quality Monitoring Using *Wireless Sensor Networks*: Current Trends and Future Research Directions," *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)*, vol. 13, no. 1, February 2017.

- [7] S. P. Shahid, and S. S. Kumar, "Sea Water Quality Monitoring Using Smart Sensor Network," In *2015 in International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT)*, Kumaracoil, India, 18-19 Dec 2015.
- [8] N. M. Phuong, M. Schappacher, A. Sikora, Z. Ahmah, and A. Muhammad, "Real-time water level monitoring using low-power wireless sensor network," in *Embedded World Conference*. Nuremberg, Germany, 24-26 Feb 2015.
- [9] R. Priyanka, D. S. Kamal, C. Hakima, and M. B. Jean, "Wireless sensor networks: a survey on recent developments and potential synergies," *The Journal of Supercomputing*, vol. 68, no. 1, pp. 1-48, April 2014.
- [10] P. Mompoloki, Y. Abid, and C. Joseph, "A Wireless Sensor Network Solution for Monitoring Water Quality in Botswana," in *2016 3rd National Foundation for Science and Technology Development Conference on Information and Computer Science (NICS)*, Danang, Vietnam, 14-16 Sept 2016.
- [11] Z. Lieping, C. Peng, and P. Fei, "Design of Lijiang Water Environment Monitoring System Based on WSN," in *2016 Eighth International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA)*, Macau, China, 11-12 March 2016.