

SISTEM *MONITORING* PENCEMARAN UDARA BERBASIS WIRELESS SENSOR NETWORK (WSN)

AIR POLLUTION MONITORING SYSTEM BASED ON WIRELESS SENSOR NETWORK (WSN)

Mega Dewi Nuraskar¹, Gita Indah Hapsari², Anang Sularsa³

^{1,2,3}Prodi D3 Teknik Komputer, Fakultas Ilmu Terapan, Universitas Telkom

¹megadewinuraskar@gmail.com, ²gitaindahhapsari@tass.telkomuniversity.ac.id, ³anang@tass.telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Tingkat pencemaran udara ditiap tempat berbeda-beda, perbedaan tersebut dikarenakan jumlah sumber polutan ditiap tempat tidak sama, seperti banyaknya industri, banyaknya kendaraan yang melintas, dan asap rokok. Oleh karena itu, dibutuhkan alat monitoring untuk memantau polutan agar polusi udara dapat dikurangi. Maka pada proyek akhir ini dirancang sebuah alat yang dapat memantau tingkat polutan di udara dengan teknologi sistem monitoring berbasis *Wireless Sensor Network* (WSN). Peralatan yang digunakan antara lain mikrokontroler Arduino Nano sebagai unit pusat kontrol dengan menggunakan software Arduino IDE. Sensor-sensor gas yang digunakan untuk mengukur jumlah polutan di udara adalah sensor gas MQ-7 untuk mengukur kadar CO yang dihasilkan dari proses meletusnya gunung berapi, proses biologi, dan oksidasi HC seperti metana yang berasal dari tanah basah dan kotoran makhluk hidup, serta menggunakan sensor MQ-135 untuk mengukur kadar NO₂ yang dihasilkan dari kendaraan bermotor. Pada proses pengiriman data hasil pendeteksian sensor digunakan Xbee S2C. Tampilan monitoring pencemaran udara menggunakan Visual Studio pada komputer yang akan disambungkan ke LCD Monitor kampus dengan menggunakan kabel. Pengujian alat monitoring pencemaran udara ini dilakukan di dua tempat berbeda di lingkungan Telkom University.

Kata kunci : *Monitoring Pencemaran udara, Arduino Nano, Visual Studio, Wireless Sensor Network (WSN)*

Abstract

The level of air pollution in each place is different, the difference is because the number of pollutant sources in each place is not the same, such as the number of industries, the number of passing vehicles, and cigarette smoke. Therefore, monitoring tools are needed to monitor pollutants so that air pollution can be reduced. So in this final project designed a tool that can monitor the level of pollutant in air with technology of monitoring system based on Wireless Sensor Network (WSN). The equipment used is Arduino Nano microcontroller as control center unit by using Arduino IDE software. Gas sensors used to measure the amount of pollutants in the air are MQ-7 gas sensors to measure CO levels resulting from volcanic eruptions, biological processes, and HC oxidation such as methane derived from wet soils and faeces of living things, and use sensor MQ-135 to measure NO₂ levels generated from motor vehicles. In the process of sending the results of sensor detection data used Xbee S2C. The air pollution monitoring view uses Visual Studio on the computer to be connected to the campus LCD Monitor using a cable. Testing of airborne monitoring tool is done in two different places in Telkom University.

Keywords : *Monitoring Air pollution, Arduino Nano, Visual Studio, Wireless Sensor Network (WSN)*

1.1. Latar Belakang

Pencemaran udara merupakan suatu kondisi saat kualitas udara terkontaminasi oleh zat-zat tertentu seperti, asap pembuangan dari knalpot kendaraan bermotor atau mobil, asap rokok, dan gas hasil pembakaran sampah. Meningkatnya jumlah pencemaran udara dapat memberikan dampak negatif bagi kesehatan, bahkan dapat menyebabkan kematian jika diabaikan, sehingga dibutuhkan sistem yang dapat *monitoring* pencemaran udara untuk mengetahui kualitas udara di suatu lingkungan.

Sistem *monitoring* pencemaran udara memerlukan sensor udara sebagai alat pendeteksi pencemar udara. Parameter sensor yang digunakan adalah sensor MQ-7

untuk CO (Karbon Monoksida), dan sensor MQ-135 untuk NO₂ (Nitrogen Dioksida). Pengolahan data dari sensor udara agar menjadi nilai indeks kualitas udara dengan menggunakan Arduino Nano. Kemudian untuk sistem komunikasi nirkabel menggunakan modul Xbee Pro S2C dan kabel USB yang menghubungkan Arduino Nano dengan komputer yang sudah ter-*install* Visual Studio untuk menampilkan kadar kualitas udara agar dapat mengetahui layak atau tidak nya udara tersebut, kemudian menampilkannya pada LCD Monitor. *Software* Visual Studio akan menampilkan nilai kadar udara di dua titik lokasi yaitu di area parkir motor Fakultas Ilmu Terapan dan di area parkir Fakultas Komunikasi Bisnis Telkom University.

Dengan penjelasan yang telah diuraikan, dibutuhkan sebuah teknologi yang dapat mengamati kualitas udara secara efisien berdasarkan parameter ISPU (Indeks Standar Pencemaran Udara) dengan menggunakan pendeteksian dari sensor. Dengan demikian, hasil ini dapat menjadi solusi dari permasalahan yang ada dan sebagai acuan untuk melihat layak tidaknya udara pada sebuah lingkungan. Berkaitan dengan hal tersebut, teknologi yang diusulkan adalah Sistem Monitoring Pencemaran Udara berbasis *Wireless Sensor Network (WSN)*.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun permasalahan yang dibahas dalam penulisan proyek akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan membuat prototipe sistem *monitoring* pencemaran udara berbasis WSN ?
2. Bagaimana merancang dan membuat aplikasi monitoring menggunakan Visual studio yang dapat memberikan informasi kualitas udara?

1.3. Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah diatas maka didapat beberapa tujuan dari penyusunan proyek akhir ini sebagai berikut:

1. Merancang dan membuat prototipe sistem monitoring pencemaran udara berbasis WSN.
2. Merancang dan membuat aplikasi monitoring menggunakan Visual Studio yang dapat memberikan informasi kualitas udara.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dari pembuatan proyek akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Ruang lingkup pengujian *monitoring* kualitas udara dilakukan pada dua titik lokasi di lingkungan kampus Universitas Telkom.
2. Parameter yang digunakan dalam pemantauan kualitas udara ini adalah Karbon Monoksida (CO), dan Nitrogen Dioksida (NO₂) yang dihasilkan oleh gas buangan kendaraan, asap rokok, asap hasil pembakaran sampah.
3. Tidak membahas keamanan transfer data.
4. Tidak membahas lebih luas mengenai protokol komunikasi Xbee.

2. Dasar Teori

Sistem *Monitoring* pencemaran udara berbasis *wireless sensor network* merupakan teknologi yang dapat digunakan untuk memantau kondisi udara di beberapa titik dalam suatu wilayah dengan komunikasi antar sensor secara nirkabel. Tiap node sensor dapat mengumpulkan data dan berkomunikasi dengan node sensor lainnya [2]. Pembacaan kondisi oleh setiap node sensor ini akan di-informasikan secara *realtime* dan keamanan data yang terjamin hingga sampai ke Visual Basic sebagai *monitoring* sistem.

2.1. Arduino Nano

Arduino Nano merupakan salah satu papan pengembangan mikrokontroler yang berukuran kecil,

lengkap dan mendukung penggunaan breadboard. Arduino Nano berbasis mikrokontroler ATmega 328 untuk Arduino Nano versi 3.x atau ATmega 168 untuk Arduino Nano versi 2.x. Arduino Nano tidak menyertakan colokan DC berjenis Barrel Jack, dan dihubungkan ke komputer menggunakan port USB Mini-B, bukan port serial.



Gambar 1 Arduino Nano

2.2. Xbee Pro S2C

Modul RF Xbee Pro S2 merupakan perangkat yang berfungsi sebagai protokol komunikasi nirkabel. Perangkat wireless yang membutuhkan daya rendah ini cocok untuk implementasi pada jaringan sensor nirkabel karena harganya yang relatif murah. Modul yang beroperasi pada frekuensi band ISM (Industrial, Scientific & Medical) 2,4 GHz ini menyajikan kemampuan untuk pengiriman data antar perangkat dengan kemampuan kisaran jarak yang bervariasi tergantung pada kondisi dan tempat (indoor & outdoor). Protokol Xbee Pro ini disiapkan untuk aplikasi yang memerlukan kecepatan data dan konsumsi daya rendah.



Gambar 2 Xbee Pro S2C

2.3. Sensor Gas MQ7 dan MQ135

Sensor gas MQ-7 adalah sebuah sensor gas CO (karbon Monoksida) yang cukup mudah penggunaannya. Sensor ini sangat cocok untuk mendeteksi gas CO dengan jangkauan pendeteksian mulai dari 10 sampai 10.000 ppm (Part per Million). MQ-7 ini mempunyai sensitivitas yang tinggi terhadap karbon monoksida (CO)[10].



Gambar 3 Sensor MQ 7

Sensor gas MQ-135 (Air Quality Sensor) adalah sensor yang memonitor kualitas udara untuk mendeteksi gas amonia (NH₃), natrium dioksida (NO₂), alkohol / ethanol, benzene, karbondioksida (NO₂), gas belerang dan gas-gas lainnya. Sensor ini menginformasikan

hasil deteksi kualitas udara berupa perubahan nilai resistensi analog di pin keluarannya.



Gambar 4 Sensor MQ 135

2.4. Indeks Standar Pencemaran Udara

Saat ini indeks standar kualitas udara yang digunakan secara resmi di Indonesia adalah Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU). Penjelasan Bapedal 1998: "... keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup tentang Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) nomor KEP-45/MENLH/10/1997, ISPU didefinisikan sebagai angka yang tidak mempunyai satuan yang menggambarkan kondisi kualitas udara ambien di lokasi dan waktu tertentu yang didasarkan kepada dampak terhadap kesehatan manusia, nilai estetika dan makhluk hidup lainnya ..." [11].

Adapun parameter gas yang digunakan pada Indeks Standar Pencemaran Udara meliputi:

- a. Partikulat (PM10)
- b. Karbon monoksida (CO)
- c. Sulfur Dioksida (SO2)
- d. Nitrogen Dioksida (NO2)
- e. Ozon (O3)

Indeks Standar Pencemaran Udara ditetapkan dengan cara mengubah kadar pencemar udara yang terukur menjadi suatu angka yang tidak berdimensi [12]. Rentang Indeks Standar Pencemaran Udara dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Rentang Nilai ISPU

Indeks	Kategori	Warna
1 – 50	Baik	Hijau
51 – 100	Sedang	Biru
101 – 199	Tidak Sehat	Kuning
200 – 299	Sangat Tidak Sehat	Merah
300 – lebih	Berbahaya	Hitam

2.5. Visual Studio Enterprise

Visual Studio adalah kumpulan *development tools* dari *Microsoft* untuk membangun aplikasi *enterprise* dan kelengkapannya. Visual Studio mempunyai 5 *tools* primer yaitu Visual Basic, Visual C++, Visual Interdev, Visual Foxpro, dan Visual J++. Visual Studio tersedia dalam 2 edisi yaitu edisi *professional* dan *enterprise* [8].

3. Analisis dan Perancangan

Pada bagian analisis ini akan dijelaskan bagaimana gambaran system saat ini, blok diagram beserta cara

kerjanya. Juga menganalisis kebutuhan apa saja yang digunakan oleh system.

3.1. Gambaran Sistem Saat Ini

Saat ini banyak orang yang melakukan sistem monitoring pencemaran udara masih terbatas oleh cakupan areanya. Melakukan pemantauan kualitas udara hanya pada satu area tertentu saja dan hanya menggunakan satu sensor yang digunakan untuk mendeteksi kualitas udara lalu menampilkannya pada LCD. Cara tersebut akan sangat merepotkan dan mengakibatkan lingkungan lain yang masih dalam satu wilayah pun tidak dapat terpantau.



Gambar 5 Sistem saat ini

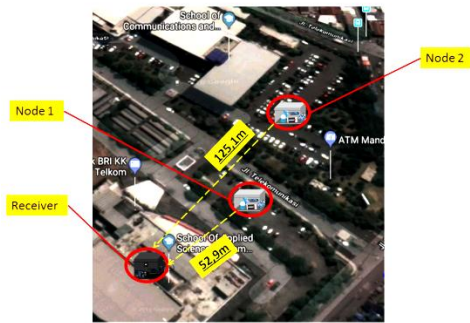
3.2. Perancangan

Perancangan sistem *monitoring* pencemaran udara terdiri dari 4 bagian yaitu Node 1 dan Node 2 sebagai pengirim, Receiver sebagai penerima, dan *Monitoring* untuk menampilkan data kualitas udara.

Modul komunikasi yang digunakan pada sistem yang diusulkan adalah Xbee Pro S2C. Sistem *monitoring* pencemaran udara ini memanfaatkan sensor gas MQ7 sebagai pendeteksi gas CO di udara dan sensor gas MQ135 sebagai pendeteksi gas NO2. Mikrokontroler di kedua Node dan Receiver menggunakan Arduino Nano. Sumber listrik yang digunakan untuk mikrokontroler pada kedua Node adalah baterai, sedangkan mikrokontroler di *Receiver* langsung tersambung ke laptop. Untuk menampilkan data berupa nilai ISPU dari pendeteksian sensor dan status yang ditunjukkan sesuai kadar gas diudara dari kedua Node menggunakan Visual Studio.



Gambar 6 Gambar sistem usulan



Gambar 7 Peta Sistem usulan

3.3. Cara Kerja Sistem

Cara kerja sistem *monitoring* pencemaran udara berbasis *wireless sensor network*, berdasarkan topologi sistem usulan. Pada sistemnya diletakkan dua node sensor pada posisi berbeda dengan jarak antara node 1 ke receiver 52,97 m dan jarak node 2 ke receiver 125,1 m. Kedua node dapat berkomunikasi secara nirkabel dengan menggunakan Xbee Pro S2C. Satu receiver untuk menerima data yang dikirim oleh kedua node sensor, dan komputer untuk melihat hasil data dari pendeteksian sensor yang datanya telah diolah menggunakan Visual Studio kemudian ditampilkan pada LCD monitor di Fakultas Ilmu Terapan. Untuk setiap node sensor terdapat sensor MQ-7, sensor MQ-135, Arduino Nano, dan Xbee Pro S2C. Setelah node-node sensor mendeteksi kadar CO dan NO₂ di udara yang disebabkan oleh gas buangan kendaraan, asap rokok, dan asap hasil pembakaran sampah. Data yang dihasilkan dari sensor akan dikirimkan ke receiver. Receiver berfungsi sebagai jembatan antara node sensor dengan komputer. Receiver terhubung pada komputer dengan menggunakan kabel USB. Selanjutnya akan ditampilkan pada komputer menggunakan Visual Studio sebagai antarmuka user dengan komputer.

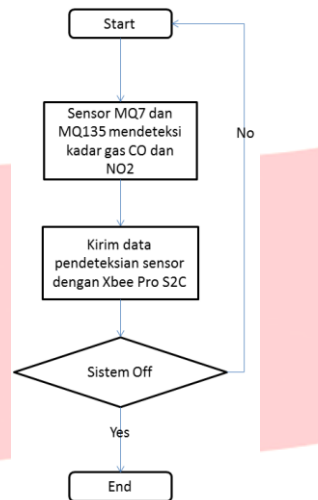
3.4. Kebutuhan Sistem

Adapun kebutuhan Perangkat Peras & Perangkat Lunak yang dibutuhkan ialah sebagai berikut :

Tabel 2 Kebutuhan Sistem

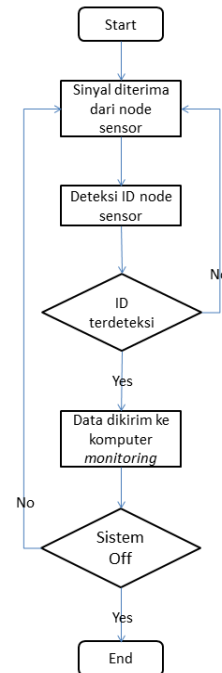
Perangkat Keras	Perangkat Lunak
1. Arduino Nano	1. IDE Arduino
2. Xbee S2C	2. Visual Studio
3. Sensor MQ-7	
4. Sensor MQ-135	
5. Kabel USB	
6. LED RGB	
7. Komputer	
8. LCD Monitor	

3.5. Flowchart Sistem Usulan



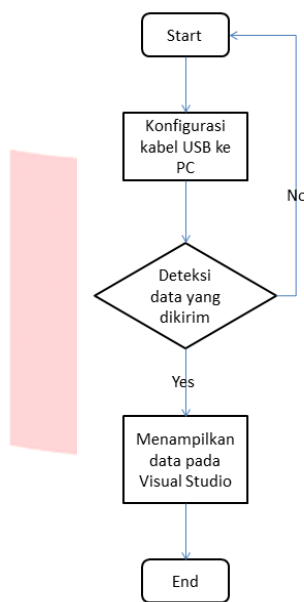
Gambar 8 Flowchart Node

Dimulai dari sensor MQ7 dan sensor MQ135 mendeteksi kada gas CO dan NO₂ diudara yang dihasilkan dari asap kendaraan, asap rokok, dan asap hasil pembakaran sampah. Pendektesian sensor menghasilkan data digital. Kemudian data tersebut dikirimkan dengan menggunakan Xbee Transmitter ke Xbee Receiver melalui jaringan nirkabel.



Gambar 9 Flowchar Receiver

Pada receiver digunakan Arduino Nano sebagai pusat penerimaan data kiriman dari node sensor. Aplikasi receiver dirancang dengan alur seperti pada **Error! Reference source not found.** Setelah receiver mengirim sinyal permintaan data ke node sensor, dilakukan pengecekan ID secara berulang agar node sensor dapat mengirimkan data dan receiver dapat menerimanya.



Gambar 10 Flowchart Monitoring

Setelah menghubungkan kabel USB dari Arduino Nano ke komputer, kemudian xbee mendeteksi data yang dikirim dan data diolah oleh arduino. Selanjutnya data *monitoring* akan ditampilkan dengan pengolahan data Visual Studio dan menampilkannya ke LCD Monitor.

4. Pengujian dan Implementasi

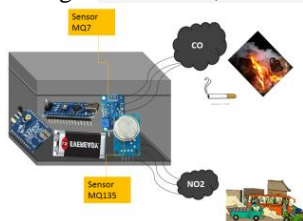
Tahap pengujian yang dilakukan untuk sistem *monitoring* pencemaran udara berbasis WSN ini ialah sebagai berikut:

4.1. Pengujian Sensor Gas MQ7 dan MQ135

Pengujian pada sensor MQ7 dan sensor MQ135 dilakukan untuk mengetahui pengukuran kadar gas di udara pada lokasi yang berbeda.

a. Skenario Pengujian

Data pendeteksian sensor MQ7 dan MQ135 yang menentukan status kualitas udara dihasilkan berdasarkan rumus perhitungan nilai ISPU yang sudah ditentukan oleh pemerintah. Pengujian dilakukan di parkir FIT dan parkir FKB. Pengujian sensor menggunakan asap-asap yang menyebabkan pencemaran udara seperti, asap hasil dari pembakaran sampah, asap buangan kendaraan, dan asap rokok.



Gambar 11 Skenario Pengujian Sensor

b. Hasil Pengujian

Pada Tabel, hasil pengujian sensor yang dilakukan di tempat yang berbeda dengan pendeteksian 3 macam gas.

Tabel 3 Hasil Pengujian Sensor

Waktu	Gas Pencemar Udara	Node 1 (Parkiran FIT)	Node 2 (Parkiran FKB)
		CO, NO2	CO, NO2
14:15	Asap pembakaran kertas	MQ-7 Value: 8.56 ISPU: 85 Sedang MQ-135 Value: 1.35 ISPU: 13 Baik MQ-7 Value: 8.53 ISPU: 85 Sedang	MQ-7 Value: 8.56 ISPU: 85 Sedang MQ-135 Value: 1.35 ISPU: 13 Baik MQ-7 Value: 8.53 ISPU: 85 Sedang
15:00	Asap kendaraan motor/mobil	MQ-7 Value: 5.53 ISPU: 200 Sangat Tidak Sehat MQ-135 Value: 0.37 ISPU: 3 Baik MQ-7 Value: 5.53 ISPU: 200 Sangat Tidak Sehat	MQ-135 Value: 0.26 ISPU: 2 Baik MQ-7 Value: 5.34 ISPU: 200 Sangat Tidak Sehat
17:15	Asap rokok	MQ-7 Value: 5.60 ISPU: 200 Sangat Tidak Sehat MQ-135 Value: 0.34 ISPU: 3 Baik	MQ-7 Value: 8.56 ISPU: 85 Sedang MQ-135 Value: 1.35 ISPU: 13 Baik MQ-7 Value: 8.53 ISPU: 85 Sedang

4.2. Pengujian Komunikasi Alat

Pengujian komunikasi Xbee dilakukan untuk mengetahui hasil pengiriman data dari node 1 yang terletak di parkir FIT dan node 2 yang terletak di parkir FKB dapat terkirim ke *receiver* yang berada di ruangan FIT.

a. Skenario Pengujian

Skenario pengujian komunikasi data dilakukan secara nirkabel dengan menggunakan Xbee yang terdapat pada node 1 di parkir Fakultas Ilmu Terapan (FIT), node 2 di parkir Fakultas Komunikasi Bisnis (FKB), dan *receiver* sebagai penerima data yang berada di *lobby* Fakultas Ilmu Terapan (FIT).

b. Hasil Pengujian

Hasil pengujian komunikasi data dari node 1 ke *receiver*, node 2 ke *receiver*, dan kedua node ke *receiver* dapat dilihat pada tabel Tabel .

Tabel 4 Hasil Pengujian

	Node 1 ke Receiver	Node 2 ke Receiver	Kedua Node ke Receiver
Data Serial Monitor	(10089) (4) (10089) (4) (10089) (4)	(20177) (30227) (20177) (30228)	10130 8 1 30272 390 3 20395
Keterangan	Pada node 1 terdapat nilai (4) dari sensor MQ135 dan nilai (10089) dari sensor MQ7.	Pada node 2 terdapat nilai (20177) dari sensor MQ135 dan nilai (30288) dari sensor MQ7.	Receiver menerima data dari node 1 dan node 2 yang pengiriman datanya dilakukan secara bersamaan.

4.3. Pengujian Montoring

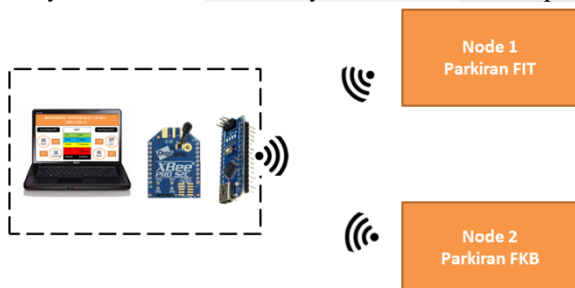
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui data dari arduino dapat diterima dan diolah oleh aplikasi yang dibuat, dan mengetahui kesesuaian data yang dikirim oleh Arduino ke aplikasi *monitoring*.



Gambar 12 Mockup Monitoring

a. Skenario Pengujian

Skenario pengujian komunikasi data dilakukan dengan menampilkan data dan nilai pencemaran udara pada layar LCD. Nilai yang keluar pada layar LCD akan sesuai dengan nilai dari hasil pengolahan data sensor dan arduino dan dapat dengan mudah dimengerti oleh masyarakat Telkom khususnya Fakultas Ilmu Terapan.



Gambar 13 Pengujian Komunikasi

b. Hasil Pengujian

Hasil pengujian *monitoring* Visual Studio berupa presentase nilai kadar gas dari pengolahan data sensor dan arduino yang ditampilkan pada layar LCD *Monitoring*.

Tabel 5 Hasil Pengujian

ISPU	Node 1	Node 2																		
<table border="1"> <tr><td>1-50</td><td>Baik</td></tr> <tr><td>51-100</td><td>Sedang</td></tr> <tr><td>101-199</td><td>Tidak Sehat</td></tr> <tr><td>200-299</td><td>Sangat Tidak Sehat</td></tr> <tr><td>300-lebih</td><td>Berbahaya</td></tr> </table>	1-50	Baik	51-100	Sedang	101-199	Tidak Sehat	200-299	Sangat Tidak Sehat	300-lebih	Berbahaya	<table border="1"> <tr><td>CO</td><td>31 Baik</td></tr> <tr><td>NO2</td><td>74 Sedang</td></tr> </table>	CO	31 Baik	NO2	74 Sedang	<table border="1"> <tr><td>CO</td><td>41 Baik</td></tr> <tr><td>NO2</td><td>38 Baik</td></tr> </table>	CO	41 Baik	NO2	38 Baik
1-50	Baik																			
51-100	Sedang																			
101-199	Tidak Sehat																			
200-299	Sangat Tidak Sehat																			
300-lebih	Berbahaya																			
CO	31 Baik																			
NO2	74 Sedang																			
CO	41 Baik																			
NO2	38 Baik																			

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Dari serangkaian pengujian yang dilakukan pada penelitian sistem *monitoring* pencemaran udara berbasis *Wireless Sensor Network* (WSN) ini dapat disimpulkan bahwa:

- Sistem dapat digunakan untuk mendeteksi kadar gas CO dan NO2 diudara dengan sensor MQ7 dan sensor MQ135 dan menampilkan klasifikasi pencemaran udara berdasarkan parameter ISPU.
- Berdasarkan pengujian yang dilakukan, sistem jaringan *wireless* pada setiap node dapat terkirim ke *receiver* dan ditampilkan pada aplikasi desktop Visual Studio dalam bentuk informasi parameter ISPU.
- Sistem dapat berkomunikasi dengan sistem *monitoring* dengan mengirimkan kode informasi secara nirkabel dengan *delay* penerimaan data di *receiver monitoring* sekitar 50ms - 1 detik.

5.2. Saran

Untuk pengembangan lebih lanjut pada penelitian sistem *monitoring* pencemaran udara ini, disarankan menggunakan lebih banyak sensor yang sesuai dengan kadar gas yang terdapat pada ketentuan ISPU, menggunakan *power supply* selain battery agar sistem dapat bekerja lebih lama.

6. Daftar Pustaka

- [1] B. Yoga, P. Putra, A. Rakhmatsyah, S. Prabowo, F. Informatika, and U. Telkom, "Perancangan Sistem Komunikasi Dan Pengolahan Data Pada Monitoring Kualitas Udara," *e-Proceeding Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 2989–2996, 2017.
- [2] A. Sabiq and T. Alfari, "Sistem Wireless Sensor Network Berbasis Arduino Uno dan Raspberry Pi untuk Pemantauan Kualitas Udara di Cempaka Putih Timur , Jakarta

- Pusat,” pp. 301–305, 2017.
- [3] R. S. Lukito, D. Susilo, and F. D. Setiaji, “Sistem Monitoring Energi Lampu Penerangan Jalan Umum Berbasis Wireless Sensor Network dengan Topologi Mesh,” pp. 39–46.
- [4] M. I. Sani, “Implementasi ZigBee Transceiver untuk Akuisisi Data Sensor Inersia pada Wireless Body Area Network (WBAN),” vol. 9, no. 1, p. 8, 2017.
- [5] R. Susana, A. R. D, and S. Aqli, “IMPLEMENTASI WIRELESS SENSOR NETWORK PROTOTYPE SEBAGAI FIRE DETECTOR MENGGUNAKAN ARDUINO UNO PROTOTYPE IMPLEMENTATION OF WIRELESS SENSOR,” pp. 53–60, 2015.
- [6] S. Siregar and M. I. Sani, “Queue system based-on wireless sensor network for Puskesmas Baleendah, Bandung,” *Adv. Sci. Lett.*, vol. 23, no. 5, pp. 3879–3882, 2017.
- [7] A. Sabiq and P. N. Budisejati, “Sistem Pemantauan Kadar pH, Suhu dan Warna pada Air Sungai Melalui Web Berbasis Wireless Sensor Network,” *J. Teknol. dan Sist. Komput.*, vol. 5, no. 3, p. 94, 2017.
- [8] S. Penggunaan *et al.*, “UNTUK PENGEMBANGAN SISTEM INFORMASI BERKELAS ENTERPRISE Djoni Haryadi Setiabudi Ibnu Gunawan,” vol. 4, no. 1, pp. 30–38, 2003.
- [9] T. Pustaka, “Pengujian protokol ieee 802.15.4 / zigbee di lingkungan,” vol. 2012, no. semnasIF, pp. 24–31, 2012.
- [10] B. Web and D. I. Kota, “Prosiding SENTIA 2016 – Politeknik Negeri Malang Volume 8 – ISSN: 2085-2347,” vol. 8, pp. 116–122, 2016.
- [11] Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan, “Keputusan Kepala Bapedal No. 107 Tahun 1997 Tentang : Perhitungan Dan Pelaporan Serta Informasi Indeks Standar Pencemar Udara,” no. 107, 1997.
- [12] R. Prahardis, D. Syauqi, and S. R. Akbar, “Implementasi Sistem Monitoring Polusi Udara Berdasarkan Indeks Standar Pencemaran Udara Dengan Pemodelan Finite State Machine,” vol. 2, no. 9, 2018.
- [13] V. Maarif and N. I. Fadlilah, “Pembuatan Alat Pengukur Tingkat Polusi Udara Berbasis Mikrokontroler At89s51 Menggunakan Sensor Tgs 2600,” pp. 110–116, 2012.

