

PEMANFAATAN KOMUNIKASI MACHINE-TO-MACHINE (M2M) UNTUK DETEKSI POLUSI UDARA

Putut Andre Luqman Besari, Maman Abdurohman, Andrian Rakhmatsyah

Fakultas Infomatika, Universitas Telkom, Bandung

andrusmagnus@gmail.com, abdurohman@telkomuniversity.ac.id,

kangandrian@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Polusi udara yang muncul di kota besar datang dari gas buang kendaraan bermotor, asap industri, asap rokok, bahkan dari debu yang beterbangan. PM adalah partikel berbentuk padat atau cair dan memiliki satuan mikrometer. CO adalah gas yang terbentuk akibat proses pembakaran bahan bakar dan emisi kendaraan bermotor. Badan Pengelola Lingkungan Hidup kota Bandung memiliki metode pemantauan polusi udara dengan membangun Stasiun Kualitas Udara Ambien yang menggunakan Indeks Standar Pencemar Udara. Kota Bandung memiliki 5 unit SKUA yang tidak beroperasi karena tingginya biaya perawatan. Teknologi *Wireless Sensor Network* yang menggunakan protokol ZigBee dapat menjadi solusi untuk mengatasi masalah pendeteksian dan pengukuran kualitas udara. Ditambah lagi dengan berkembangnya teknologi komunikasi *Machine-to-Machine*. Tugas akhir ini membangun sebuah sistem pendeteksi polusi udara yang menggunakan platform M2M OpenMTC dan menggunakan ZigBee sebagai media transmisinya. Hasil pengujian menunjukkan sensor CO memiliki perbedaan deteksi dengan CO alarm dengan rentang 66,8 – 170,2 PPM. Sensor PM mampu mendeteksi konsentrasi dan perubahan konsentrasi ketika berada di tempat yang sama dan waktu berbeda. Response time yang didapat ada di rentang 996,1 – 1011,3 ms. XBee dapat melakukan transfer data sampai jarak 500 m tanpa penghalang dan 60 m dengan penghalang.

Kata kunci : PM, CO, OpenMTC, ISPU

Abstract

Air pollution that occur in a big city come from engine exhaust, industrial fumes, smoke, and even from the dust. PM is micrometer sized solid or liquid particle. CO is a gas that occur from engine combustion and vehicle emission. Badan Pengelola Lingkungan Hidup in Bandung have a method for air pollution monitoring with developing Stasiun Kualitas Udara Ambien that used Indeks Standar Pencemar Udara. Bandung have 5 unit of SKUA, but none of these unit operating because of high maintenance cost. Wireless Sensor Network technology using the ZigBee protocol can become a solution to solve the air pollution monitoring and measurement problem. In addition, the solution can go through advanced level with the developing Machine-to-Machine technology. This final project construct a air pollution detection system with using M2M platform OpenMTC and using ZigBee as the transmission media. The test result, CO sensor have a different value of CO detection with CO alarm. The difference interval is 176,47 - 198,56 PPM. PM sensor can detect PM concentration and the PM concentration alteration in the same place and different time. Response time from the acquiring data process come from interval 996,1 - 1011,3 ms. XBee can do data transfer up to 500 meter in the non obstacle condition and up to 60 meter with obstacle condition.

Key words : PM, CO, OpenMTC, ISPU

1. Pendahuluan

Polusi udara yang muncul di kota besar seperti Bandung datang dari berbagai macam sumber. Polusi itu datang dari gas buang kendaraan bermotor, asap industri, asap rokok, bahkan dari debu yang beterbangan akibat aktifitas di jalan raya. Jenis dari polusi udara yang banyak ditemui adalah *Particulate Matter* (PM) dan Karbon Monoksida (CO). PM adalah partikel berbentuk padat atau cair dan berukuran sangat kecil dengan satuan mikrometer yang tersebar di atmosfer. CO adalah

gas yang terbentuk akibat proses pembakaran bahan bakar dan emisi kendaraan bermotor. Bahaya PM dan CO bagi manusia adalah apabila terhirup dalam jumlah tertentu akan mengakibatkan masalah kesehatan di sistem pernafasan. Untuk menjaga kualitas udara, pemerintah membentuk Badan Pengelola Lingkungan Hidup (BPLH) di setiap daerah. BPLH bertugas untuk melakukan pemantauan dan peringatan terhadap kualitas udara di daerah masing masing. Salah satu metode pemantauan dan peringatan dilakukan dengan

membangun Stasiun Kualitas Udara Ambien (SKUA) yang menggunakan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) berserta *Public Data Display* agar data pemantauan dapat dilihat langsung oleh masyarakat. Di kota Bandung terdapat 5 unit SKUA, namun saat ini semuanya tidak beroperasi. Kendala yang ditemui BPLH adalah tingginya biaya perawatan perangkat, selain itu data yang ditangkap dari stasiun harus dikirim terlebih dahulu ke *Regional Center* untuk diolah agar dapat dikirimkan lagi ke *Public Data Display*.

Teknologi *Wireless Sensor Network* (WSN) yang menggunakan protokol ZigBee dapat menjadi solusi untuk mengatasi masalah pendeteksian dan pengukuran kualitas udara [22, 20, 19, 16]. Ditambah lagi dengan berkembangnya teknologi komunikasi *Machine-to-Machine* (M2M) yang dapat memberikan kemampuan *sensing*, *monitoring*, dan *controlling* kepada perangkat secara jarak jauh. Perangkat perangkat tadi dapat saling berkomunikasi tanpa campur tangan dari manusia. Tugas akhir ini membangun sebuah sistem pendeteksi polusi udara menggunakan perangkat keras berupa mikrokontroler dan sensor, platform M2M OpenMTC, dan menggunakan ZigBee sebagai media transmisinya.

Implementasi dari sistem pendeteksi polusi udara ini diharapkan dapat menjadi salah satu metode alternatif yang bisa digunakan BPLH dalam melakukan tugasnya. Masyarakat juga akan terbantu karena mendapatkan informasi seputar kualitas udara yang ada di sekitar mereka.

2. Landasan Teori

2.1 Wireless Sensor Network

Wireless Sensor Network (WSN) adalah sekumpulan *node* yang terorganisir menjadi sebuah jaringan yang dapat saling bekerja sama [18]. Setiap *node* memiliki kemampuan yang berbeda beda. *Node* terdiri dari komponen yang memiliki kemampuan *sensing*, *computing*, *communication*, *actuation*, dan *power* [21]. Kemampuan dari komponen *node* itu membuat WSN dapat melakukan proses pengukuran, pengamatan dan memberikan reaksi terhadap fenomena yang ada di lingkungan sekitar kita.

Untuk keperluan *sensing* terdapat *sensor node* yang dapat mengirimkan data yang ditangkap di lingkungan secara *wireless* ke *central gateway* agar data dapat diolah dan diproses lebih lanjut sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai. Teknologi WSN juga menawarkan berbagai macam keuntungan jika dibandingkan sistem terdistribusi sebelumnya. Keuntungan itu berupa media komunikasi yang *wireless*, membutuhkan daya yang kecil, *real-time*, dapat berubah secara dinamis, dan dapat menjangkau lokasi yang memiliki keterbatasan akses [18].

2.2 OpenMTC

Sistem *machine-to-machine* (M2M) merupakan sebuah sistem yang terdiri dari banyak perangkat yang saling berkomunikasi di jaringan terpadu tanpa intervensi dari manusia [13]. Domain penerapan M2M semakin berkembang contohnya di bidang kesehatan, sistem otomasi, militer dan pemantauan. Pemanfaatan M2M di domain domain tersebut akan membuka peluang baru baik dari sisi teknologi dan ekonomisnya. OpenMTC adalah sebuah *platform* M2M yang dikembangkan oleh Fraunhofer FOKUS. OpenMTC didesain berdasarkan karakteristik dari *Machine Type Communication* (MTC) dan mengacu pada standar ETSI dan 3GPP [13]. Platform ini adalah sebuah *middleware* yang berada diantara layer aplikasi dan layer jaringan. OpenMTC terdiri dari 2 *service capability layer* yaitu *gateway service capability layer* dan *network service capability layer* yang dibangun berdasarkan ETSI *Technical Committee* M2M [13].

2.3 Particulate Matter

Debu adalah partikel kecil yang dilepaskan oleh bagian yang lebih besar. Debu dilepaskan dengan cara pemotongan tingkat tinggi atau secara abrasi [17]. Cara pemotongan akan menghasilkan partikel yang besar dan kecil, sedangkan abrasi akan menghasilkan partikel yang kecil.

Particulate Matter (PM) merupakan istilah yang digunakan untuk campuran partikel solid dan cair yang berada di udara [12]. Partikel ini berasal dari berbagai sumber seperti pembangkit listrik, proses industri, kendaraan bermotor dan partikel ini dibentuk di atmosfer dengan proses transformasi dari gas dan emisi. PM dibagi menjadi 2 jenis berdasarkan ukurannya, $PM_{2.5}$ dan PM_{10} . PM_{10} atau *coarse particles* memiliki diameter diantara 2.5 μm dan 10 μm . Partikel ini dihasilkan oleh proses mekanis, evaporasi, dan debu. Sumber dari partikel ini paling banyak datang dari jalan raya, industri, pertanian, konstruksi, penghancuran bangunan dan debu yang beterbangan dari gas buang kendaraan bermotor. Usia PM_{10} dapat dihitung dengan skala menit sampai jam dan memiliki kemampuan perjalanan antara 1 km sampai 10 km [12]. $PM_{2.5}$ atau *fine particles* memiliki diameter kurang dari 2.5 μm . Partikel ini berasal dari gas dan kondensasi yang datang dari proses pembakaran. $PM_{2.5}$ memiliki kandungan *sulfate compounds*, *nitrate compounds*, *carbon compounds*, *ammonium*, *hydrogen ion*, *organic compounds*, *metals*, dan *particle bound waters*. Sumber utama dari $PM_{2.5}$ datang dari pembakaran bahan bakar fosil, pembakaran tumbuhan dan proses dari pelelehan metal. Usia $PM_{2.5}$ dapat dihitung dengan skala hari sampai minggu dan memiliki kemampuan perjalanan antara 100 km sampai 1000 km [12]. Semua orang dapat terkena dampak dari PM yang menyerang sistem pernafasan, namun ada beberapa

kategori yang memiliki resiko tinggi kesehatannya terganggu, diantaranya[2]:

- Remaja dengan usia kurang dari 18 tahun.
- Orang dewasa dengan usia lebih dari 65 tahun.
- Siapapun yang memiliki penyakit paru paru kronis, seperti asma dan bronkitis.
- Siapapun yang memiliki penyakit *cardiovascular*.
- Siapapun yang memiliki penyakit diabetes.

2.4 Carbon Monoxide

Carbon Monoxide (CO) merupakan gas beracun yang tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa yang dapat menyebabkan manusia masuk ke dalam keadaan sakit dan meninggal seketika [3]. CO berasal dari proses pembakaran tidak sempurna dari gas natural dan material lain yang mengandung karbon. Material itu berupa bensin, minyak tanah, minyak, metan, batu bara, atau kayu [5]. Sumber yang paling besar porsinya berasal dari gas buang mesin pembakaran internal, terutama oleh kendaraan bermotor. Sumber lainnya berasal dari proses industri, pembangkit listrik yang menggunakan batu bara, dan proses pembakaran sampah [1].

Bentuk dari CO yang tidak dapat dirasakan oleh panca indera manusia menjadikan CO sebagai gas beracun yang berbahaya. Ketika terhirup oleh manusia, sel darah merah lebih dulu mengikat CO dan membentuk *carboxyhaemoglobin* (COHb) [1]. Pengikatan itu menyebabkan oksigen tidak dapat masuk ke darah untuk beredar ke organ tubuh. Darah yang sudah mengikat CO akan menghilangkan kandungan oksigen di organ organ vital, seperti jantung dan otak [1]. Banyaknya CO yang beredar di dalam tubuh menyebabkan manusia kehilangan kesadaran, bahkan dapat mengakibatkan mati lemas [1].

2.5 Indeks Standar Pencemar Udara

Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) adalah laporan kualitas udara kepada masyarakat untuk menerangkan seberapa bersih atau tercemarnya kualitas udara dan bagaimana dampak terhadap kesehatan setelah udara itu dihirup. Penetapan

ISPU ini mempertimbangkan tingkat mutu udara terhadap kesehatan manusia, hewan, tumbuhan, bangunan, dan nilai estetika. ISPU ditetapkan berdasarkan 5 pencemar utama, yaitu karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO₂), nitrogen dioksida (NO₂), Ozon permukaan (O₃) dan partikel debu (PM₁₀)[11]. Di Indonesia ISPU diatur

berdasarkan Keputusan Badan Pengendalian Dampak Lingkungan (Bapedal) Nomor KEP-107/Kabapedal/11/1997[11]. Tabel dibawah akan menjelaskan angka dan kategori ISPU.

Tabel 2.1 Indeks dan Kategori ISPU[11]

Indeks	Kategori
1-50	Baik
51-100	Sedang
101-199	Tidak Sehat
200-299	Sangat Tidak Sehat
300-lebih	Berbahaya

Setiap komponen pencemar udara memiliki konsentrasi satuan masing masing dan tingkat berbahaya yang berbeda sesuai dengan nilai dari satuannya tersebut. Bapedal membuat batas indeks standar pencemar udara untuk PM dan CO dalam satuan SI.

Tabel 2.2 Batas ISPU dalam satuan SI[11]

Indeks Standar Pencemar Udara	24 jam PM10 µg/m ³	8 jam CO mg/m ³
10	50	5
100	150	10
200	350	17
300	420	34
400	500	46
500	600	57,5

Batas indeks standar pencemar udara dapat digunakan dalam perhitungan dari konsentrasi satuan masing masing komponen pencemar. Hasil perhitungan akan menggolongkan nilai komponen pencemar ke indeks Baik, Sedang, Tidak Sehat, Sangat Tidak Sehat, dan Berbahaya. Nilai konsentrasi PM dan CO akan dikonversi dari µg/m³ dan mg/m³ menjadi ISPU menggunakan regresi linier dengan menggunakan data dari tabel 2.2.

(2.1)

Rumus 2.1 Persamaan Hasil Regresi Linier Untuk PM

(2.2)

Rumus 2.2 Persamaan Hasil Regresi Linier Untuk CO

Rumus 2.3 Perhitungan ISPU[11] (2.3)

Dimana :

- I : ISPU terhitung
- Ia : ISPU batas atas
- Ib : ISPU batas bawah
- Xa : Ambien batas atas
- Xb : Ambien batas bawah
- Xx : Kadar Ambien nyata hasil pengukuran

Pemerintah Kota Bandung melakukan kegiatan pemantauan pencemaran kualitas udara ambien dengan membangun infrastruktur sebagai berikut[10]:

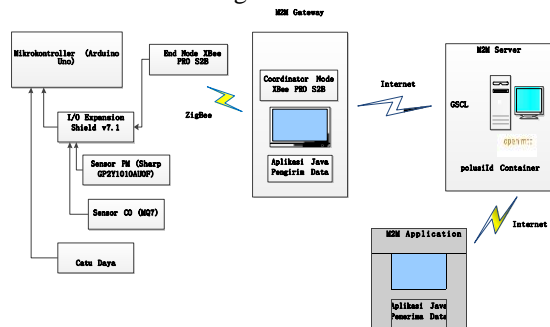
- 5 Stasiun Kualitas Udara Ambien atau *Fixed Monitoring Station* yang berada di Dago Pakar, Aria Graha, Tirtalega, Batununggal, dan Cisaranten Wetan.
- 5 *Public Data Display* yang berada di Setiabudi, Bundaran Cibiru, Alun Alun, Taman Tegalega, dan Terusan Pasteur.
- *Regional Centre* dan *Regional Calibration Centre* yang berlokasi di Jl. Wastukencana No. 2 Bandung.

Centre yang berlokasi di Jl. Wastukencana No. 2 Bandung.

3. Perancangan dan Implementasi

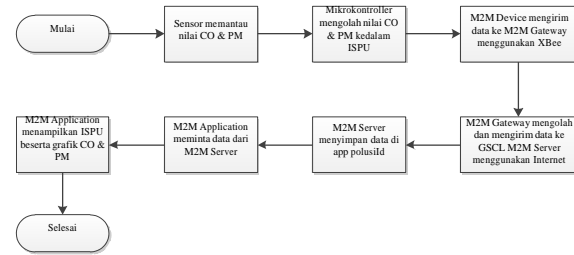
3.1 Deskripsi Sistem

Sistem deteksi polusi udara ini terbagi menjadi 4 bagian yaitu *M2M Device*, *M2M Gateway*, *M2M Server* dan *M2M Application*. *M2M Device* merupakan gabungan perangkat yang terdiri dari 2 sensor (PM dan CO), mikrokontroler, catu daya, XBee sebagai *End Node*, dan *Expansion Shield*. *Expansion Shield* digunakan untuk menghubungkan sensor dan XBee dengan mikrokontroler.



Gambar 3.1 Topologi Sistem

M2M Gateway terdiri dari *Coordinator Node* XBee dan komputer. Data yang dikirim oleh *M2M Device* melalui jaringan ZigBee akan masuk ke dalam aplikasi Java di komputer. Komputer akan melakukan pengolahan dan pengiriman data. Data akan dikirim ke GSCL OpenMTC. *M2M Server* berada di Laboratorium UC (*Unified Communication*) Telkom University yang terdiri dari komputer yang dilengkapi dengan *M2M platform* OpenMTC. Sebuah aplikasi penerima yang menggunakan Express dibuat terlebih dahulu di OpenMTC agar data dapat ditampung dan diolah lebih lanjut. *M2M Application* adalah program Java yang akan meminta OpenMTC untuk mengirimkan data polusi udara ke aplikasi tersebut. Tampilan data di aplikasi Java tersebut berupa kategori ISPU dan grafik konsentrasi dari CO dan PM yang ada di lokasi pemantauan pada saat itu.



Gambar 3.2 Flowchart Sistem

Pada proses pertama sensor akan memantau konsentrasi PM dan CO. Data yang diperoleh mikrokontroler dari sensor masih berupa data analog. Data analog tadi diubah menjadi satuan $\mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk PM dan satuan mg/m^3 untuk CO. Setelah itu data dikonversi ke Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU). Proses konversi satuan PM dan CO berada di mikrokontroler.

XBee yang berperan sebagai *End Node* akan mengirimkan data ke XBee yang berperan sebagai *Coordinator Node*. Data yang dikirim berupa data konsentrasi PM dan CO yang sudah berupa ISPU. *Coordinator Node* XBee tersambung dengan komputer yang menjadi *M2M Gateway* pada sistem ini. Komputer akan mengambil data dari XBee dan melakukan pengolahan data menggunakan aplikasi Java penerimaan data. Proses berikutnya, komputer akan mengirim data menuju GSCL *M2M Server* OpenMTC menggunakan jaringan Internet. Di *M2M Server* sudah dibuat aplikasi penampung data di GSCL dengan ID polusiId di port 7373. Data yang sudah masuk ke dalam *containerInstances* dari polusiId selanjutnya akan diminta oleh *M2M Application*. *M2M Application* merupakan aplikasi Java yang dapat menampilkan ISPU dan grafik dari konsentrasi PM dan CO di lokasi pemantauan.

3.2 Skenario Pengujian Sistem

Setelah sistem selesai dibangun, maka akan dilanjutkan dengan melakukan pengujian terhadap sistem. Sistem perlu diuji untuk mengetahui kinerja dari implementasi sistem deteksi polusi udara agar berjalan dengan baik. Terdapat 2 skenario pengujian, skenario 1 untuk menguji validasi dari sensor dan skenario 2 untuk menguji performansi dari komunikasi ZigBee. Detail dari skenario pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

3.2.1 Skenario 1

Skenario 1 proses pengujian sistem deteksi polusi udara ini bertujuan untuk membandingkan ketepatan kadar polutan yang ditangkap oleh sensor CO dan sensor PM. Skenario validasi untuk sensor CO terdiri dari 2 bagian, bagian pertama adalah proses kalibrasi yang dilakukan dengan deskripsi berikut :

- Proses kalibrasi sensor dengan menggunakan CO alarm sebagai pembanding yang memiliki *ouput* dengan satuan PPM.
- Kalibrasi dilakukan di kotak tertutup.

- Sensor dan CO alarm ditempatkan di dalam kotak tertutup.
- Kotak akan dipenuhi asap yang menjadi sumber CO.
- Konsentrasi asap berasal dari kertas koran yang dibakar dengan tingkat bakar mulai dari ringan sampai berat.
- Sensor dan CO alarm akan mendeteksi konsentrasi CO di kotak tertutup.
- Data yang diperoleh dimasukkan ke Matlab.

Tujuan dilakukannya pembakaran dengan intensitas ringan sampai berat agar data dapat mencakup semua tingkat konsentrasi CO yang terjadi. Data dari sensor dan CO alarm akan diolah di Matlab dengan metode *curve fitting* yang menghasilkan fungsi konversi dari data analog sensor menuju satuan PPM. Bagian kedua dalam skenario validasi sensor CO adalah melakukan tes sensor MQ-7 yang sudah dikalibrasi dengan memberikan asap knalpot dari sepeda motor. Deskripsi bagian kedua adalah sebagai berikut :

- Tes dilakukan di kotak tertutup yang sudah tersambung dengan selang ke knalpot sepeda motor.
- Asap motor akan diberikan ke kotak tertutup selama 3 detik.
- Sensor dan CO alarm ditempatkan di dalam kotak tertutup tersebut.

Tes sensor MQ-7 yang sudah dikalibrasi ini dilakukan sebanyak 2 kali, dengan masing masing mengambil 15 data. Data keluaran sensor MQ-7 akan dibandingkan dengan nilai yang keluar di CO alarm.

Sensor PM tidak dapat dilakukan pengujian dengan membandingkan dengan alat lain sebagai acuan. Alasannya karena faktor biaya, alat yang ditemukan memang digunakan sebagai alat ukur resmi oleh lembaga seperti BPLH. Sebagai alternatif maka dilakukan pengukuran konsentrasi PM di 3 lokasi pada pagi dan sore hari. Lokasi tersebut antara lain di Jalan Cisangkuy, Jalan Buah Batu, dan area kampus Telkom University.

3.2.2 Skenario 2

Skenario 2 bertujuan untuk menguji performansi komunikasi sistem yang menggunakan media transmisi ZigBee dengan kondisi LOS dan NLOS. Parameter yang digunakan adalah *response time* penerimaan data *end device* yang ditangkap oleh aplikasi Java di komputer. *Response time* diperoleh menggunakan sintaks *System.curentTimeMillis()* ketika data masuk di aplikasi Java. Selisih waktu antara data pertama dan data kedua yang masuk menjadi nilai *response time* yang akan digunakan. Satuan *response time* menggunakan milliseconds.

4. Pengujian dan Analisis

4.1.1 Analisis Skenario 1

Tabel 4.1 Tabel Pengukuran CO 3 Detik Pertama

No	MQ7 (PPM)	CO Alarm (PPM)	Δ
1	767,12	569	198,12
2	764,67	569	195,67
3	762,22	569	193,22
4	759,77	575	184,77
5	757,32	575	182,32
6	754,88	579	175,88
7	754,88	579	175,88
8	752,43	582	170,43
9	752,43	582	170,43
10	752,43	582	170,43
11	752,43	584	170,43
12	749,98	584	165,98
13	749,98	584	165,98
14	749,98	584	165,98
15	747,53	584	163,53
Rata-Rata	755,20	578,73	176,47

Tabel 4.2 Tabel Pengukuran CO 3 Detik Kedua

No	MQ7 (PPM)	CO Alarm (PPM)	Δ
1	794,04	557	237,04
2	791,6	564	227,6
3	786,7	564	222,7
4	784,25	564	220,25
5	781,8	573	208,8
6	779,36	573	206,36
7	776,91	573	203,91
8	776,46	580	194,46
9	772,01	580	192,01
10	769,56	580	189,56
11	767,12	580	187,12
12	764,67	587	177,67
13	762,22	587	175,22
14	759,77	587	172,77
15	754,88	592	162,88
Rata-Rata	774,62	576,07	198,56

Kalibrasi sensor menghasilkan fungsi untuk melakukan konversi dari satuan ADC sensor menuju satuan PPM. Dari hasil tes sensor dapat dilihat bahwa terdapat selisih nilai PPM yang didapat oleh sensor dengan nilai PPM yang didapat oleh CO alarm. Pada setiap pengukuran terlihat bahwa nilai yang didapat dari sensor dan alarm cenderung stabil. Hal ini terjadi karena sensor sudah terkalibrasi dengan CO alarm dan menghasilkan nilai PPM yang stabil mengikuti CO alarm. Selisih (Δ) dari nilai CO yang dideteksi antara keduanya semakin kecil dengan standar deviasi untuk pengukuran pertama sebesar 11,24 PPM dan untuk pengukuran kedua sebesar 21,23 PPM. Pada pengukuran dengan 3 detik pertama asap knalpot memiliki rata-rata Δ sebesar 176,47 PPM. Pengukuran dengan 3 detik kedua asap knalpot memiliki rata-rata Δ sebesar 198,56 PPM.

Pengukuran yang dilakukan di 3 lokasi memberikan nilai konsentrasi PM yang berbeda-beda pada setiap waktu dan lokasi pengukuran. Analisa dilakukan dengan melihat selisih antara nilai rata-rata konsentrasi PM di satu lokasi pada pagi dan sore hari. Selisih nilai rata-rata konsentrasi PM terkecil terdapat pada pengukuran di Cisangkuy sebesar $0,44 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Di Buah Batu, selisih nilai rata-rata konsentrasi PM sebesar $19,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Di gazebo gedung F Telkom University selisih nilai rata-rata konsentrasi PM sebesar $3,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Dari hasil tersebut dapat dianalisa bahwa terdapat perbedaan antara konsentrasi PM di suatu tempat di pagi dan sore hari. Di Cisangkuy, selisih rata-rata cenderung kecil karena lokasi pengukuran selalu ramai dari pagi hingga sore hari. Meskipun selisihnya kecil, nilai konsentrasi PM di Cisangkuy lebih tinggi daripada di lokasi pengukuran lainnya. Hal ini disebabkan oleh kondisi lingkungan tempat pengukuran. Selain dilalui oleh kendaraan, juga dipenuhi pedagang makanan seperti sate dan roti bakar yang mengakibatkan banyak asap di sekitar lokasi pengukuran.

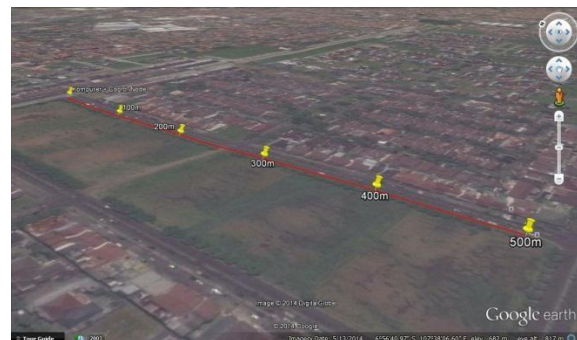
Selisih rata-rata di Buah Batu lebih besar daripada tempat pengukuran lain karena turun hujan deras sebelum dilakukan pengukuran pada sore hari. Hal ini mengakibatkan turunnya konsentrasi PM di udara pada sore hari. Nilai konsentrasi PM lebih kecil daripada Cisangkuy disebabkan oleh tempat pengukuran berada di sisi jalan yang mengarah ke selatan. Pada pagi dan sore hari, kepadatan kendaraan di sisi jalan yang mengarah ke selatan lebih lengang daripada sisi jalan yang mengarah ke utara.

Hasil pengukuran di gazebo dekat Gedung F Telkom University memperlihatkan bahwa nilai konsentrasi PM di sore hari lebih tinggi daripada pagi hari. Pada sore hari, pengukuran dilakukan saat hujan gerimis ringan. Mahasiswa yang beraktivitas di sekitar lokasi pengukuran tidak terlalu ramai karena jalur di dekat gedung F memang bukan akses utama yang menghubungkan kantin dengan gedung perkuliahan. Nilai konsentrasi PM di sore hari lebih tinggi karena ada kemungkinan lubang sensor dilewati oleh serangga yang banyak berada di lokasi pengukuran. Hal ini membuktikan bahwa sensor PM belum dapat membedakan antara debu yang sebenarnya dengan sesuatu lain yang masuk ke lubang deteksi sensor.

4.1.2 Analisis Skenario 2

Tabel 4.3 Tabel Pengukuran Response Time LOS

Response Time (milliseconds)					
Data	100m	200m	300m	400m	500m
1	858	1014	1014	1014	1030
2	1014	1014	1014	999	983
3	1014	999	1014	1014	1014
4	1014	1014	1060	1014	1014
5	1014	1014	952	1014	1014
6	999	1014	1014	1014	998
7	1014	998	1014	1014	1014
8	1014	1014	1014	998	1014
9	1014	1014	998	1014	1014
10	1014	1014	1014	1014	1014
Min	858	998	952	998	983
Max	1014	1014	1060	1014	1014
Rata-rata	996,9	1010,9	1010,8	1010,9	1010,9



Gambar 4.1 Pengujian Response Time Kondisi LOS

Tabel 4.4 Tabel Pengukuran Response Time NLOS

Response Time (milliseconds)			
Data	20 m	40 m	60 m
1	872	881	1008
2	1014	1011	1016
3	1010	1011	1007
4	1011	1008	1012
5	1036	1016	1011
6	975	1008	1012
7	1008	1011	1012
8	1011	1012	1011
9	1012	1012	1012
10	1012	1011	1012
Minimal	872	881	1007
Maksimal	1036	1016	1016
Rata-rata	996,1	998,1	1011,3



Gambar 4.2 Pengujian Response Time Kondisi NLOS

Hasil *response time* yang didapat dari pengujian dengan LOS dan NLOS memperlihatkan bahwa XBee dapat melakukan pengiriman data dengan kondisi lapangan tanpa penghalang dan dengan penghalang namun dengan jarak tertentu. XBee yang digunakan adalah versi Pro S2B yang memiliki kemampuan transmisi *indoor/urban area* sejauh 90m dan *outdoor* sejauh 1600 m. Pengujian LOS yang dilakukan di area perumahan Batu Nunggal memperlihatkan XBee hanya dapat menjangkau jarak 500 m. Meskipun tidak ada penghalang fisik namun masih ada faktor lain yang mengganggu transmisi data.

Pengujian NLOS yang dilakukan di area perumahan Griya Bandung Asri 1 juga memperlihatkan XBee hanya dapat menjangkau jarak 60 m dari seharusnya 90 m. Hal ini dikarenakan ada tembok penghalang yang membuat XBee tidak dapat saling terhubung dan melakukan komunikasi.

5 Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis sistem deteksi polusi udara yang dibangun, maka dapat ditarik kesimpulan :

1. Hasil pengujian skenario 1 tentang validasi sensor, didapatkan bahwa sensor CO sudah terkalibrasi dengan baik dengan CO alarm. Proses kalibrasi menggunakan metode *curve fitting* cocok digunakan dalam kalibrasi sensor CO ini. Dengan mengambil nilai Δ dari rata-rata 2 kali tes sensor, perbedaan deteksi CO berada di rentang 176,47 – 198,56 PPM. Nilai yang didapat oleh sensor stabil mengikuti nilai yang didapat oleh CO alarm. Melihat adanya kesamaan karakteristik dalam mendeteksi CO antara sensor dengan alarm, maka sensor CO layak digunakan di sistem. Tingkat konsentrasi PM di suatu tempat dipengaruhi kondisi lalu lintas, lingkungan, aktivitas manusia, dan cuaca. Sensor PM memiliki kemampuan untuk mendeteksi konsentrasi dan perubahan konsentrasi ketika dilakukan pengujian di tempat yang sama dan waktu

yang berbeda sehingga layak untuk digunakan di sistem.

2. Hasil pengujian skenario 2 didapatkan rata rata *response time* tercepat pada jarak 20 m berpenghalang dan waktu terlama pada jarak 60 m berpenghalang. Pada kondisi tanpa penghalang, sistem dapat mengirimkan data maksimal sejauh 500 m sedangkan pada kondisi berpenghalang sistem dapat mengirimkan data maksimal sejauh 60 m. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa *response time* dari XBee Pro S2B berpengaruh terhadap jarak dan penghalang di kondisi lapangan tertentu. XBee dapat melakukan komunikasi dengan *response time* yang baik di rentang 996,1 – 1011,3 ms dengan kondisi tanpa penghalang maupun berpenghalang dengan catatan *coordinator node* dan *end node* harus terhubung. XBee dapat melakukan transfer data di jarak 500 m tanpa penghalang namun hanya dapat menembus 60 m dengan kondisi berpenghalang.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian dan pengerjaan Tugas Akhir ini penulis menyarankan untuk pengembangan yang dapat dilakukan selanjutnya, yaitu :

1. Perlu diteliti lagi untuk kalibrasi sensor CO dan PM, terutama untuk sensor CO karena membutuhkan proses kalibrasi yang lebih mendalam.
2. Perlu diteliti lagi untuk menambahkan 3 parameter polusi udara di ISPU untuk melengkapi sistem ini, yaitu SO₂, O₃, dan NO₂.
3. Perlu diteliti lagi dalam sisi transmisi data dengan menggunakan media lain seperti GPRS.

Daftar Pustaka

- [1] Anonymous. Air Quality Guidelines – Second Edition. Chapter 5.5 Carbon Monoxide. 2000. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark.
- [2] Anonymous. Background: What is Particulate Matter?. American Lung Association®
- [3] Anonymous. [Carbon Monoxide Poisoning, 2006. Department of Health and Human Services CDC.](#)
- [4] Anonymous. IO Expansion Shield for Arduino V7.1. http://www.dfrobot.com/wiki/index.php/IO_Expansion_Shield_for_Arduino_V7_SKU:DFR02_65 (diakses pada tanggal 22 November 2014)
- [5] Anonymous. [OSHA Fact Sheet Carbon Monoxide Poisoning, 2002. Occupational Safety and Health Administration, U.S. Department of Labor.](#)

- [6] Anonymous. Product Manual XBee / XBee-PRO ZB RF Modules Digi International Inc.
- [7] Anonymous. Specification Sheet Compact Optical Dust Sensor GP2Y1010AU0F . Sharp.
- [8] Anonymous. Technical Data MQ-7 Gas Sensor. Hanwei Electronics Co., Ltd.
- [9] Anonymous.
<http://www.skinc.com/converter/converter.asp> (diakses pada tanggal 21-11-2014)
- [10] Badan Pemeriksa Keuangan Republik Indonesia. 2007. Hasil Pemeriksaan Semester II Tahun Anggaran 2007 atas Kegiatan Pengendalian Pencemaran Udara Dari Kendaraan Bermotor Tahun Anggaran 2005, 2006 dan 2007 Pada Pemerintah Kota Bandung. Auditorat Utama Keuangan Negara V Perwakilan BPK RI di Bandung.
- [11] Badan Pengendalian Dampak Lingkungan, 1998. Pedoman Teknis Perhitungan Dan Pelaporan Serta Informasi Indeks Standar Pencemar Udara. [http://www.cets-uuu.org/BML/Udara/ISPU/ISPU%20\(Index%20Standar%20Pencemar%20Udara\).htm](http://www.cets-uuu.org/BML/Udara/ISPU/ISPU%20(Index%20Standar%20Pencemar%20Udara).htm) (diakses pada tanggal 6 April 2014)
- [12] Fierro, Marian. 2000. Particulate Matter. Air Info Now.
- [13] Fraunhofer FOKUS. OpenMTC Platform – A Generic M2M Communication Platform. Fraunhofer Institute for Open Communication Systems FOKUS. Berlin, Germany.
- [14] Krishnamachari, Bhaskar., 2005. An Introduction to Wireless Sensor Networks. USC Viterbi School of Engineering.
- [15] Nafis, Chris.
<http://www.howmuchsnow.com/arduino/airquality/> (diakses pada tanggal 28-11-2014)
- [16] Peter, Manoj A dan Pravin, Renold A., 2011. Pervasive Ambient Intelligence System: a ZigBee based Sensor Networks for Ambient Monitoring, in *International Conference on Signal Processing, Communication, Computing and Networking Technologies 2011* On. pp. 619-622.
- [17] Rayon, Dennis. I Love My Job I Love The People I Hate The Dust. Solid Surface International Expo.
- [18] Stankovic, John A., 2006. Wireless Sensor Network. University of Virginia.
- [19] Tambe, Darshana N dan Chavhan, Nekita A., 2013. Performance of IEEE 802.15.4 in WSN for Monitoring Real Time Air Pollution Parameters, in *International Journal of Computer Science and Network, Volume 2, Issue 3, June 2013* On. pp. 61-66.
- [20] Won Kwon, Jong., Man Park, Yong., Jun Koo, Sang., Kim, Hiesik., 2007. Design of Air Pollution Monitoring System using ZigBee Networks for Ubiquitous-City, in: *International Conference on Convergence Information Technology 2007* On. pp. 1024-1031.
- [21] Yu, Yang., Prasanna, Viktor K., Krishnamachari, Bhaskar., 2006. *Information Processing and Routing in Wireless Sensor Networks*. Singapore : World Scientific Pub. Co. Inc.
- [22] Zhi-gang, Han dan Cai-hui, Cui., 2009. The Application of Zigbee Based Wireless Sensor Network and GIS in the Air Pollution Monitoring, in: *International Conference on Environmental Science and Information Application Technology 2009* On. pp. 546-549.