

WIRELESS SENSOR SYSTEM UNTUK MONITORING KONSENTRASI DEBU MENGGUNAKAN ALGORITMA RULE BASED

Agus Sulistiyo dan Suryono

Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang

E-mail: : agus.sulistiyo@st.fisika.undip.ac.id

ABSTRACT

Air is the source of life required of all living beings. The level of air pollution is increasing as the development of the industrial sector. Monitoring of air pollution levels are needed to determine the air quality at a given location. One indicator of air quality is the concentration of dust, so we need a system of monitoring the concentration of dust in the air that can be monitored in realtime. The method used for system monitoring dust concentrations in this study using telemetry system utilizing a WiFi network. The use of telemetry systems have been more efficient that measurement can be done remotely and measurements can be realtime. Dust concentration measurement using DSM501A dust sensor that produces an output PWM (Pulse Width Modulation). These sensors are connected with the minimum system microcontroller. The microcontroller used is ATmega8535 where the microcontroller has features USART (Universal Synchronous and Asynchronous serial Receiver and Transmitter) as a serial communication mode. RS-232 protocol is used to connect a serial communication data to the computer Remote Terminal Unit (RTU) that located in the location of data collection. The data obtained is sent to a personal computer (PC) Control Terminal Unit (CTU) in monitoring stations with telemetry systems using WiFi networks and saved in database. The conversion result DSM501A dust sensor readings between the low ratio (%) and the value of dust concentration (mg / m^3) has a correlation coefficient $R = 0.999$. Results of the comparison between the data transmitted and received data has error = 0 so it can be concluded no data is lost or gained.

Keywords: air quality, dust sensors, telemetry, serial communication.

ABSTRAK

Udara merupakan sumber kehidupan yang dibutuhkan seluruh makhluk hidup. Tingkat pencemaran udara semakin meningkat seiring berkembangnya sektor industri. Pemantauan tingkat pencemaran udara sangat diperlukan untuk mengetahui kualitas udara pada suatu lokasi. Salah satu indikator kualitas udara adalah konsentrasi debu, sehingga dibutuhkan sebuah sistem pemantauan konsentrasi debu di udara yang dapat dipantau secara realtime. Metode yang digunakan untuk sistem pemantauan konsentrasi debu pada penelitian ini menggunakan sistem telemetri dengan memanfaatkan jaringan WiFi. Penggunaan sistem telemetri ini dipilih karena lebih efisien yaitu pengukuran dapat dilakukan dari jarak jauh dan pengukuran dapat secara realtime. Pengukuran konsentrasi debu menggunakan sensor debu DSM501A yang menghasilkan output PWM (Pulse Width Modulation). Sensor ini terhubung dengan sistem minimum mikrokontroler. Mikrokontroler yang digunakan yaitu ATmega8535 dengan fitur USART (Universal Synchronous and Asynchronous Serial Receiver and Transmitter) sebagai mode komunikasi serial. Protokol RS-232 digunakan untuk menghubungkan data komunikasi serial ke komputer Remote Terminal Unit (RTU) yang terletak dilokasi pengambilan data. Data yang diperoleh dikirim ke personal computer (PC) Control Terminal Unit (CTU) di stasiun pemantauan dengan sistem telemetri menggunakan jaringan WiFi dan disimpan ke dalam basis data. Hasil konversi pembacaan sensor debu DSM501A antara low ratio (%) dan nilai konsentrasi debu (mg/m^3) memiliki koefisien korelasi $R=0,999$. Hasil perbandingan antara data yang dikirim dan data yang diterima memiliki error = 0 sehingga dapat disimpulkan tidak ada data yang hilang atau bertambah.

Kata kunci: kualitas udara, sensor debu, telemetri, komunikasi serial.

PENDAHULUAN

Pencemaran udara adalah suatu kondisi ketika kualitas udara menjadi rusak dan terkontaminasi oleh zat-zat, baik yang tidak berbahaya maupun yang membahayakan kesehatan tubuh manusia. Pencemaran udara biasanya terjadi di kota-kota besar dan juga daerah padat industri yang menghasilkan gas-gas yang mengandung zat di atas batas kewajaran. Pada umumnya bahan pencemar udara adalah berupa gas-gas beracun (hampir 90 %) dan partikel-partikel zat padat. [1].

Debu merupakan salah satu bahan yang sering disebut sebagai partikel yang melayang di udara (*Suspended Particulate Matter/SPM*) dengan ukuran 1 mikron sampai 500 mikron. *Suspended partikulat* adalah partikel halus di udara yang terbentuk pada pembakaran bahan bakar minyak. Terutama partikulat halus yang disebut *PM₁₀*. *Particulat Matter 10 (PM₁₀)* adalah partikel debu yang berukuran 10 mikron [2]. Ukuran debu juga berpengaruh terhadap terjadinya penyakit pada saluran pernapasan karena dapat mengganggu proses respirasi pada paru-paru. Pada umumnya debu yang dapat masuk ke paru-paru berukuran mikrometer. Debu yang berterbangan di udara bukan hanya berasal dari mineral seperti batuan atau tanah, tetapi juga dapat berasal dari makhluk hidup seperti daun-daun, abu, kapas dan seterusnya [3]. Kadar debu yang diizinkan terdapat di udara dan termasuk dalam kategori sehat yaitu kurang dari 150 µg/m³ [4].

Solusi untuk memecahkan permasalahan tersebut dengan melakukan pemantauan secara *realtime* menggunakan metode telemetri. Telemetri digunakan karena memiliki beberapa kelebihan antara lain dapat melakukan pengukuran dari jarak jauh sehingga tidak perlu memantau pada titik pengukuran.

Pembacaan nilai konsentrasi debu di udara dari sensor yang berupa hasil counter partikel debu diterjemahkan oleh mikrokontroler menjadi penjumlahan waktu ketika mendeteksi partikel (*sum time of low*), kemudian dibagi waktu pengambilan data dan

dikali 100 untuk memperoleh *low ratio*. Hasil *low ratio* tersebut akan dikonversi menjadi nilai konsentrasi debu yang sebenarnya.

DASAR TEORI

Partikel Debu dan Efek Negatif

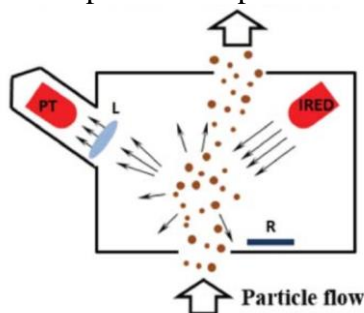
Debu adalah salah satu pencemar udara yang kita tak mungkin hindari dalam kehidupan sehari-hari. Dalam kondisi tertentu debu merupakan bahaya yang dapat menimbulkan kerugian bagi manusia. Dalam konsentrasi debu yang tinggi menyebabkan timbulnya masalah kesehatan, misalnya fungsi fatal paru-paru, atau bahkan dapat menimbulkan keracunan umum [3]. BKMKG mengklasifikasikan tingkat pencemaran PM₁₀ di udara seperti Tabel 1.

Tabel 2.1 Klasifikasi konsentrasi PM₁₀ di udara [4].

Konsentrasi PM ₁₀ (µg/m ³)	Kategori ISPU	Efek
0 – 50	Baik	Tidak ada efek
50 – 150	Sedang	Terjadi penurunan pada jarak pandang
150 – 250	Tidak Sehat	Jarak pandang turun dan terjadi pengotoran udara dimana - mana
250 – 350	Sangat Tidak Sehat	Sensitivitas meningkat pada pasien berpenyakit asma dan bronchitis
>350	Berbahaya	Tingkat berbahaya bagi semua populasi yang terpapar

Sensor Debu

Sensor debu adalah sensor untuk mengukur kepadatan partikel kompak [5]. Pengukuran kepadatan partikel kuantitatif dengan prinsip partikel *counter*. Partikel halus dari lebih besar dari satu mikron dapat dideteksi dengan sensitivitas yang tinggi. Prinsip kerja sensor debu yaitu pemanas pada sensor menginduksi aliran udara ke modul, sehingga partikel debu di udara juga mengalir ke modul. *Light Emitting Diode* (LED) berfungsi memancarkan cahaya *infrared* yang dideteksi *phototransistor* (PT) dan diubah ke dalam tegangan. Selanjutnya tegangan dikonversi ke bentuk sinyal digital sehingga ketika tidak ada partikel yang menghalangi pancaran LED dan PT maka menghasilkan output berupa sinyal *high*. Sebaliknya ketika terdapat partikel debu yang menghalangi pancaran LED maka output sensor berupa sinyal *low* [5]. Prinsip kerja sensor debu diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Prinsip kerja sensor debu [5]

Telemetri

Telemetri adalah sebuah kegiatan pengukuran yang dilakukan dari jarak jauh (Bailey, 2003). Sistem telemetri merupakan cara pengukuran jarak jauh yang memanfaatkan sarana telekomunikasi dan sistem komputer untuk pengaturan pengaksesan data dan beberapa zona penyelidikan. Pada sistem telemetri, semua informasi data diubah ke dalam bentuk informasi listrik dan diolah secara digital. Telemetri pada dasarnya menggunakan gelombang radio karena kelebihan yang dimiliki antara lain tidak adanya kabel transmisi yang bisa diputus atau patah, responnya lebih cepat, lebih murah dibandingkan menggunakan kabel, mudah

digunakan di tempat-tempat tertentu yang tidak memungkinkan menggunakan kabel, relokasi yang mudah, dan jangkauan yang lebih luas [6].

Mikrokontroler Atmega8535

Mikrokontroler adalah piranti elektronik berupa IC (*Integrated Circuit*) yang memiliki kemampuan manipulasi data (informasi) berdasarkan suatu urutan instruksi (program) yang dibuat oleh programmer [7]. Mikrokontroler merupakan contoh suatu sistem komputer sederhana yang masuk dalam kategori *embedded computer*. Salah satu tipe mikrokontroler AVR untuk aplikasi standar yang memiliki fitur memuaskan ialah ATmega8535, ATmega16, ATmega32, dan ATmega128. Mikrokontroler dapat diprogram berulang kali, baik ditulis maupun di hapus. Mikrokontroler AVR ATmega8535 memiliki fitur yang cukup lengkap. Mikrokontroler AVR ATmega8535 telah dilengkapi dengan ADC *internal*, *EEPROM internal*, *Timer/Counter*, *PWM*, *analog comparator*, port *USART*, port antarmuka *SPI*, dan lain-lain [8].

Komunikasi Serial USART

Universal Synchronous and Asynchronous Serial Receiver and Transmitter (USART) juga merupakan salah satu mode komunikasi serial yang dimiliki oleh ATmega8535. USART merupakan komunikasi yang memiliki fleksibilitas tinggi, yang dapat digunakan untuk melakukan *transfer* data baik antar mikrokontroler maupun dengan modul-modul *eksternal* termasuk PC yang memiliki fitur *UART*. USART memungkinkan transmisi data baik secara *synchronous* maupun *asynchronous* sehingga dengan demikian USART pasti kompatibel dengan *UART*. Pada ATmega8535, secara umum pengaturan mode komunikasi baik *synchronous* maupun *asynchronous* adalah sama. Perbedaannya hanyalah terletak pada sumber *clock* saja. Jika pada mode *asynchronous* masing-masing *peripheral* memiliki sumber *clock* sendiri maka

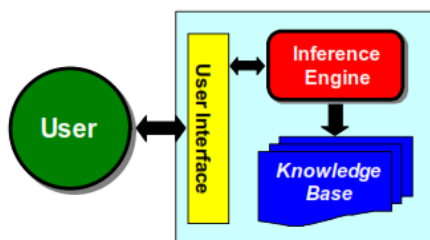
pada *synchronous* hanya ada satu sumber *clock* yang digunakan secara bersama-sama [8].

Wireless Fidelity (WiFi)

WiFi atau *Wireless Fidelity* adalah suatu standar *Wireless Networking* tanpa kabel, hanya dengan komponen yang sesuai dapat terkoneksi ke jaringan. Teknologi WiFi memiliki standar yang ditetapkan oleh sebuah institusi internasional, yang bernama *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*. Ada beberapa komponen utama pada jaringan WiFi yang harus ada pada suatu sistem networking, antara lain: *Access point, Wireless-LAN Device, Mobile/Desktop PC* dan *Ethernet LAN* [9].

Rule Based System

Rule based system atau sistem berbasis aturan merupakan model yang relatif sederhana yang dapat disesuaikan dengan sejumlah masalah. *Rule based system* merupakan bagian dari *Artificial Intellegent (AI)*. Sistem berbasis aturan ini mempunyai keunggulan dan keterbatasan yang perlu dipertimbangkan sebelum memutuskan apakah itu merupakan teknik yang tepat digunakan dalam pemecahan masalah yang ada. Sistem berbasis aturan atau *rule based system* hanya dapat digunakan untuk masalah dengan pengetahuan dan aturan-aturan dalam permasalahan tersebut dapat ditulis dalam bentuk aturan *if-then* saja dan area permasalahan ini tidak terlalu besar [10]. Arsitektur *rule based system* ditunjukkan pada Gambar 2.

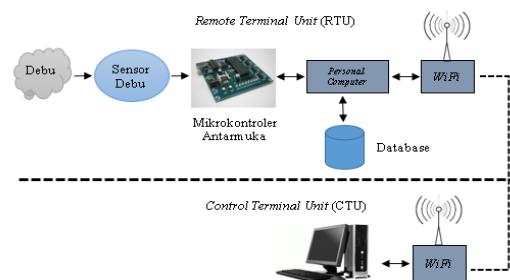


Gambar 2. Arsitektur rule based system [10]

METODE PENELITIAN

Penelitian sistem monitoring kualitas udara dengan menggunakan WiFi dilakukan dengan beberapa tahap. Tahap awal yaitu merangkai sistem stasiun telemetri yang terbagi menjadi dua bagian. Bagian pertama mendesain *Remote Terminal Unit (RTU)* yaitu sistem pemancar (*transmitter*) yang dipasang di lokasi pengambilan data konsentrasi debu di udara. Desain ini terdiri dari tiang penyangga, kotak instrumen, aki kering, komputer, dan *WiFi outdoor*. Bagian kedua yaitu *Control Terminal Unit (CTU)* yang terdiri dari *personal computer (PC)* dan *WiFi*. Tahap kedua yaitu pembuatan sistem minimum mikrokontroler dan konverter RS-232 untuk komunikasi serial. Tahap ketiga yaitu uji coba sistem minimum mikrokontroler untuk membaca sensor. Tahap keempat melakukan akuisisi data yang terbaca sensor berdasarkan *datasheet*. Tahap kelima pembuatan basis data dan antarmuka komputer untuk menyimpan dan menampilkan data konsentrasi debu secara *realtime*.

Diagram Sistem



Gambar 3. Diagram wireless sensor system

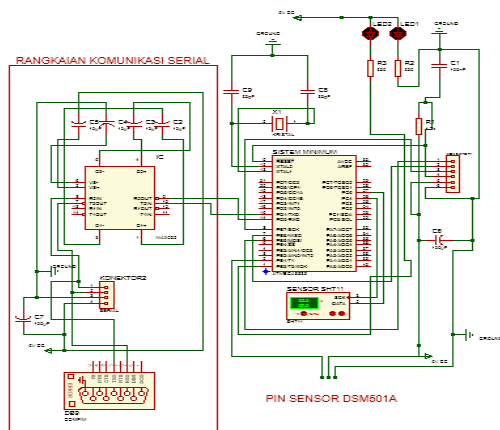
Diagram sistem pemantauan kualitas udara terdiri dari dua bagian yaitu *Remote Terminal Unit (RTU)* dan *Control Terminal Unit (CTU)* seperti terlihat pada Gambar 3. Pada perangkat keras di stasiun *Remote Terminal Unit* didesain untuk skala lapangan yang dibuat dengan bentuk sesuai dengan kebutuhan dilapangan. Desain perangkat pada RTU berorientasi pada bentuk, peletakan

sensor, dan kebutuhan catu daya. Perangkat yang digunakan pada RTU antara lain sensor debu, mikrokontroler ATmega8535, komputer, catu daya, dan pemancar WiFi. Sensor debu DSM501A berfungsi mendeteksi partikel debu di udara kemudian mengirimkan hasil *counter* partikel debu dengan program yang sudah dimasukkan ke mikrokontroler. Data yang sudah terbaca oleh mikrokontroler dikirim melalui sistem komunikasi serial dengan menggunakan protokol RS-232. Konverter RS-232 terhubung ke sebuah komputer yang digunakan untuk menyimpan hasil data yang diperoleh ke dalam basis data. Jaringan WiFi digunakan sebagai media transfer basis data dari komputer RTU ke CTU.

Pada sistem *Control Terminal Unit* berfungsi untuk membaca data yang tersimpan pada basis data di *Remote Terminal Unit* yang berada di lapangan. Data dari lapangan dikirimkan dari RTU ke CTU melalui jaringan WiFi. Antarmuka penampil data dibuat dengan bahasa pemrograman *php* sehingga dibutuhkan *web browser* pada PC untuk memasukkan alamat IP *address* dari komputer yang menyimpan basis data dari kualitas udara.

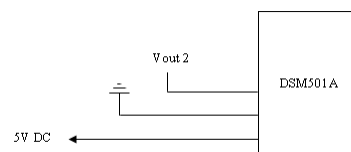
Rancangan dan Analisa Sistem

Rancangan sistem minimum monitoring konsentrasi debu terdiri dari beberapa komponen utama seperti regulator tegangan, sistem minimum mikrokontroler ATmega8535 dan sensor debu DSM501A.



Gambar 4. Rangkaian sistem minimum mikrokontroler

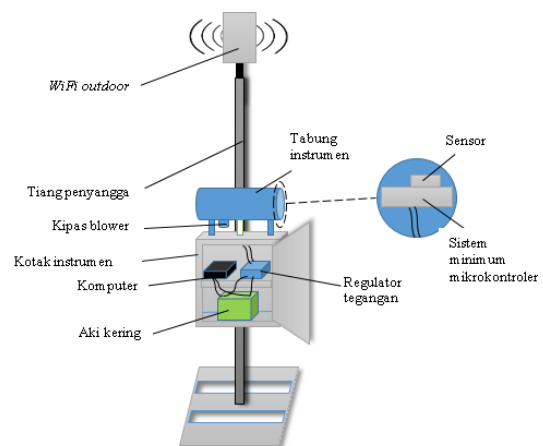
Pada Gambar 4. terdapat 2 rangkaian yaitu rangkaian mikrokontroler ATmega8535 dan rangkaian komunikasi serial. Rangkaian sensor debu DSM501A terdiri dari 3 pin utama yaitu vcc, ground dan Vout 2. Pin vcc dihubungkan dengan tegangan output 5V DC yang berasal dari regulator tegangan, pin ground terhubung dengan ground dari rangkaian sistem minimum mikrokontroler, dan pin Vout 2 dihubungkan dengan T1 pada mikrokontroler ATmega8535.



Gambar 5. Konfigurasi rangkaian sensor debu DSM501A

Rancangan Desain Sistem Pemancar dan Sistem Penerima

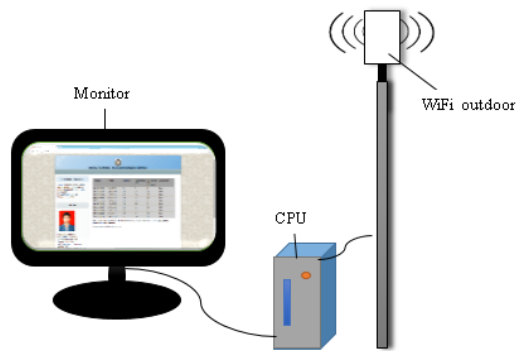
Rancang bangun sistem telemetri monitoring konsentrasi debu dengan menggunakan jaringan WiFi. Pada bagian *Remote Terminal Unit* (RTU) terdiri dari tiang penyangga, kotak instrumen dan tiang pemancar untuk WiFi outdoor seperti terlihat pada Gambar 6



Gambar 6. Desain sistem RTU

Dalam sistem monitoring konsentrasi debu terdapat stasiun pemantauan atau *Control Terminal Unit* (CTU) yang berfungsi menampilkan data yang diperoleh dari lokasi pemantauan. Data yang diterima ditampilkan

menggunakan *web browser* dari PC dengan memasukkan alamat *IP address* dari komputer. Pada bagian ini terdapat sistem penerima telemetri yang terdiri dari *personal computer* (PC) dan *WiFi outdoor*. Sistem CTU ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Desain sistem CTU

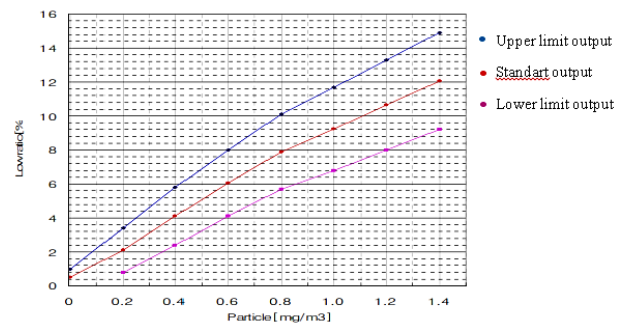
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perhitungan Konversi Nilai Konsentrasi Debu

Nilai dari pembacaan sensor debu DSM501A yang ditampilkan pada antarmuka masih dalam *time of low* yang harus dikonversi ke bentuk *low ratio*. *Time of low* merupakan sinyal *low* yang terbaca oleh sensor ketika ada partikel berada didepan optik dari sensor. Berdasarkan *datasheet* sensor debu DSM501A untuk mendapatkan nilai *low ratio* maka *time of low* yang terbaca selama periode 30 sekon dibagi periode itu sendiri dan dikali 100 seperti ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$\text{Low ratio (\%)} = \frac{\text{sum time of low (t sec)}}{30 \text{ sec}} \times 100$$

Kemudian pada sistem antarmuka dilakukan konversi hasil pembacaan sensor berdasarkan grafik *low ratio* (%) terhadap konsentrasi partikel (mg/m^3) dari *datasheet* sensor DSM501A. Grafik konversi konsentrasi debu ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik konversi konsentrasi *particle* vs *low ratio datasheet*

Persamaan yang dihasilkan dari perhitungan grafik adalah $y = 0.0021x^2 + 0.0913x - 0.0251$ dengan y merupakan nilai konsentrasi partikel sedangkan x merupakan nilai *low ratio* dari pembacaan sensor. Untuk mendapatkan nilai konsentrasi debu yang sebenarnya dilakukan operasi matematika terhadap persamaan $y = 0.0021x^2 + 0.0913x - 0.0251$ yang kemudian akan dimasukkan ke dalam program akuisisi data.

Hasil Akuisisi Data Sensor

Dalam sistem antarmuka pembacaan sensor debu DSM501A ditampilkan ke dalam program konversi yang dibuat menggunakan *Delphi 7*. Hasil pembacaan sensor ditampilkan terlebih dahulu ke *EditText* kemudian di proses menjadi tingkat level debu sesuai basis aturan (*rule based*) yang diprogram pada sistem antarmuka sesuai tabel 1. Setelah proses selesai maka data disimpan ke dalam tabel yang sudah terhubung ke basis data *MySQL*. Data konsentrasi debu tersimpan dengan nomor urut berdasarkan tanggal dan waktu pengambilan data agar mudah diidentifikasi. Dengan demikian data bisa dipantau dengan baik kapan saat kualitas udara mengalami perubahan yang signifikan. Tabel basis data tersebut juga langsung ditampilkan pada aplikasi penerima secara *realtime*. Sistem akuisisi dan basis data dapat dilihat pada Gambar 9



Gambar 9. Hasil sistem akuisisi pembacaan sensor

Hasil Pengujian Sistem Telemetri

Pada pengujian sistem telemetri dilakukan komunikasi antara RTU dan CTU dengan beberapa tahap. Pertama dilakukan setting koneksi pada WiFi dengan cara memasukkan MAC address antar WiFi yang digunakan sebagai media transmisi data di RTU dan CTU dan diatur supaya berada pada satu channel yang sama.

Data konsentrasi debu ditampilkan di stasiun pemantauan CTU dengan aplikasi penerima data atau antarmuka web yang dibuat menggunakan bahasa pemrograman php dan software Adobe Dreamweaver. Selanjutnya antarmuka web dihubungkan dengan basis data MySQL. Sistem kerja dari antarmuka web ini yaitu mengambil basis data dari komputer yang berada di titik pemantauan RTU dengan cara memanggil IP address dari komputer tersebut. Perbandingan data yang dikirim dari komputer di RTU dengan data yang diterima pada PC di stasiun pemantauan CTU dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan data dalam pengujian sistem telemetri

Tanggal	Waktu	Data dikirim (mg/m ³)	Data diterima (mg/m ³)
03-03-2016	13:22:44	0,0003	0,0003
03-03-2016	13:23:25	0,0658	0,0658
03-03-2016	13:24:06	0,0222	0,0222
03-03-2016	13:24:46	0,0301	0,0301
03-03-2016	13:25:27	0,0079	0,0079
03-03-2016	13:26:07	0,0021	0,0021
03-03-2016	13:26:48	0,0373	0,0373
03-03-2016	13:27:29	0,0108	0,0108

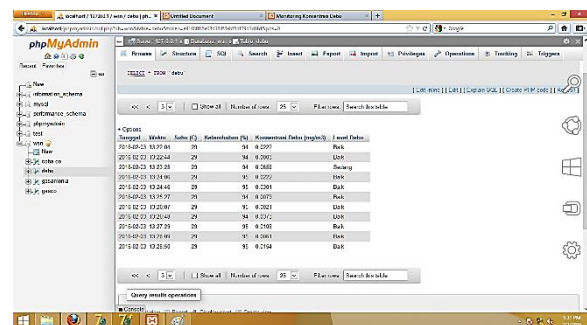
Hasil Aplikasi Tampilan CTU

Aplikasi tampilan pada CTU dibuat menggunakan bahasa pemrograman php sehingga hasil pembacaan akuisisi data di RTU dikirim secara otomatis ke dalam aplikasi ini. Untuk menampilkan aplikasi pada sistem pemantauan di CTU yang harus dilakukan yaitu memasukkan alamat IP address RTU ke komputer pemantauan CTU dan nama file penyimpanan basis data di localhost. Setelah dimasukkan alamat IP address 192.168.1.11/debu maka muncul tampilan data antara lain tanggal, waktu, suhu, kelembaban, konsentrasi debu dan level konsentrasi debu. Hasil aplikasi pada CTU dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Aplikasi pada komputer CTU

Data yang ditampilkan pada aplikasi komputer CTU disimpan ke dalam basis data MySQL dan dapat diakses dengan menyetikkan localhost/phpmyadmin pada web browser. Tampilan penyimpanan data MySQL berisi konten yang sama seperti pada tampilan aplikasi komputer di CTU yaitu tanggal, waktu, suhu, kelembaban, konsentrasi debu dan level konsentrasi debu seperti ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Tampilan penyimpanan data MySQL

KESIMPULAN

Hasil-hasil dari penelitian yang telah dilakukan, memberi kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem akuisisi data sensor dapat direalisasikan dengan menggunakan antarmuka komputer yang menghubungkan sensor debu DSM501A yang dibaca mikrokontroler dengan komunikasi data serial kemudian data ditampilkan pada sistem antarmuka komputer yang telah dibuat.
2. Hasil pengukuran konsentrasi debu berhasil disimpan ke dalam basis data *MySQL* yang dapat di pantau pada *Control Terminal Unit* (CTU) meliputi data tanggal, waktu, suhu, kelembaban, konsentrasi debu dan level konsentrasi.
3. Sistem pengiriman data dapat dilakukan secara telemetri menggunakan jaringan *WiFi* yang saling terhubung antara *Remote Terminal Unit* (RTU) dan *Control Terminal Unit* (CTU). Selanjutnya data dapat diakses menggunakan web browser dengan cara memasukkan IP address komputer di RTU.
4. Data konsentrasi debu yang ditampilkan pada stasiun pemantauan digunakan sebagai sistem peringatan dini berdasarkan basis aturan (*rule based*) yang ditetapkan.

SARAN

Berdasarkan hasil-hasil yang telah diperoleh pada penelitian ini, dapat direkomendasikan saran untuk penelitian lebih lanjut yaitu :

1. Dengan menambah internet broadband pada sistem maka pemantauan akan lebih mudah dilakukan dari berbagai tempat.
2. Dengan beberapa pengembangan dan penyempurnaan sistem dari alat ini akan memberikan manfaat lebih misalnya dengan menambahkan sebuah alat yang tidak hanya mengukur konsentrasi debu tetapi juga dapat mengontrol dan mengurasi konsentrasi debu.

3. Diperlukan pengkalibrasian pada alat ukur dengan alat standar agar diketahui tingkat keakuratan alat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fardiaz, S., 1992, *Polutan Air dan Polusi Udara*, Fak. Pangan dan Gizi IPB, Bogor.
- [2] Feldhani, F, Suratmadja, S dan Wijayanto, I., 2013, *Pengurangan Kadar Debu Dalam Ruang Berbasis Mikrokontroler*. Telkom University, Bandung.
- [3] Park, S., dan Chun, Y., 2011, *A Parameterization of suds concentration (PM10) of dust events observed at Erdene in Mongolia using the monitored data*, Seoul National University, Seoul.
- [4] BMKG, 2014, *Kualitas Udara Informasi Partikulat (PM10)*, http://www.bmkg.go.id/BMKG_Pusat/Kualitas_Udara/Informasi_Partikulat. bmkgv di akses tanggal 16 Januari 2016.
- [5] Wang, Y., Li, J., Jing, H., Zhang, Q., Jiang, J., and Biswas, P, 2015, *Laboratory Evaluation and Calibration of Three Low-Cost Particle Sensors for Particulate Matter Measurement*, Aerosol and Air Quality Research Laboratory, Department of Energy, Environmental & Chemical Engineering, Washington University in St. Louis, St. Louis, Missouri, USA.
- [6] Bailey, D., 2003, *Practical Radio Engineering and Telemetry for Industri*, Newnespress, Oxford.
- [7] Wardhana, L., 2006, *Mikrokontroler AVR Seri ATmega8535*, Penerbit ANDI, Yogyakarta.
- [8] Bejo, A., 2008, *C & AVR, Rahasia Kemudahan Bahasa C dalam Mikrokontroler ATmega8535*, Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [9] Priyambodo, T. K., dan Heriadi, D., 2005, *Jaringan Wi-Fi Teori dan Implementasi*, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- [10] Griffin, N.L dan Lewis, F.D, 1993, *A Rule Base Inference Engine Optimal and VLSI Implementable*, Computer Science Dept. University of Kentucky, Lexington, Kentucky.