

## PENGEMBANGAN SISTEM PEMANTAU PENCEMARAN UDARA SECARA REALTIME BERBASIS ARDUINO GSM SHIELD

Catur Iswahyudi<sup>1</sup>, M. Andang Novianta<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Jl. Kalisahak 28 Kompleks Balapan Yogyakarta 55222 Telp 0274 563029

Email: catur@akprind.ac.id

### Abstrak

*Emisi gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) berpengaruh besar pada kualitas udara dengan kontribusi terhadap pemanasan global sekitar 50%. Gas tersebut menyerap dan memantulkan radiasi gelombang yang dipancarkan bumi, sehingga panas akan disimpan di permukaan bumi. Penyerapan gas CO<sub>2</sub> oleh tanaman bakau berperan untuk mengurangi emisi CO<sub>2</sub>. Dalam penelitian ini, dikembangkan sistem pemantauan gas pencemar udara menggunakan Arduino GSM Shield yang dilengkapi dengan sensor CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, suhu dan kelembaban. Berdasarkan hasil percobaan, sistem ini dapat memantau penyerapan emisi CO<sub>2</sub> dan pembentukan gas O<sub>2</sub> pada tanaman bakau secara realtime. Informasi tersebut ditransmisikan menggunakan layanan SMS pada jaringan GSM serta dapat diakses melalui aplikasi berbasis web. Sebagai kesimpulan, penggunaan teknologi pemantauan polusi udara penginderaan gas yang kecil, portabel dan mobile dapat memperoleh data polusi udara yang lebih representatif secara spasial dan temporal.*

**Kata kunci:** *website; pencemaran udara; realtime; arduino gsm shield*

### Pendahuluan

Polusi udara di luar ruangan menjadi masalah utama di abad ke-21, yang menyebabkan lebih kurang 3,7 juta kematian secara global (WHO, 2014). Pada saat ini, lebih dari 92% dari populasi dunia tinggal di daerah dimana tingkat polutan udara lebih tinggi dari batas yang ditentukan oleh WHO (WHO, 2016). Selain itu, polusi udara juga bertanggung jawab atas perubahan iklim global (Ramanathan and Feng, 2009) dan masalah lingkungan seperti hujan asam, kabut (Menz dan Seip, 2004), (Xu dan Ye, 2013), penipisan ozon (Solomom, 1999), (Solomon dkk., 1986) dan kerusakan tanaman (Avnery dan Horowitz, 2011), (Van dkk., 2009), (Fenger, 2009). Dengan demikian, ada dorongan secara global untuk mengatasi masalah ini (Kumar dkk., 2014). Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) adalah salah satu gas rumah kaca yang dapat menyebabkan pemanasan global, dengan kontribusi sekitar 50% (Mouzourides dan Neophytou, 2015). Gas CO<sub>2</sub> menyerap dan memantulkan kembali radiasi gelombang yang dipancarkan oleh bumi, sehingga panas akan disimpan di permukaan bumi. Secara tradisional, polusi udara dipantau dengan mengukur konsentrasi berbagai polutan seperti karbon monoksida (CO), ozon (O<sub>3</sub>), nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>), sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>), dan partikel (PM) di lokasi yang menetap menggunakan instrumentasi yang mahal dan akurat (Hidayati, 2012), (Sharma dan Kumar, 2013), (Holmes dan Morawska, 2006), (Sudarsono dkk., 2018a), (Sudarsono dkk., 2018b).

Kemajuan terbaru di bidang sensor, elektronik digital, dan teknologi komunikasi nirkabel telah menyebabkan munculnya paradigma baru untuk pemantauan polusi udara (Kumar dkk., 2011), (Castell dkk., 2013). Paradigma ini bertujuan untuk mengumpulkan data polusi udara pada daerah tertentu (*spatio temporal*) dengan resolusi tinggi menggunakan jaringan tersebar (*ubiquitous network*) dan sensor berbiaya rendah untuk memantau konsentrasi dari berbagai polutan udara secara *realtime*, yang kemudian dapat digunakan untuk berbagai tugas manajemen polusi udara. Beberapa ulasan artikel telah membahas bidang pemantauan kualitas udara berbasis sensor ini. Mayoritas artikel ini fokus pada kebutuhan, manfaat, tantangan, dan arah masa depan dari paradigma pemantauan polusi berbasis sensor untuk aplikasi yang berbeda-beda (Snyder dkk., 2013), (White dkk., 2012).

Keuntungan utama teknologi GSM (*Global System for Mobile Communication*) adalah kemampuannya untuk *roaming* secara internasional. Dengan kemampuan ini, layanan GSM dapat menjangkau daerah-daerah terpencil (Depkes, 2012). GPRS (*General Packet Radio Service*) adalah layanan non-suara yang memungkinkan informasi dikirimkan dan diterima melalui jaringan telepon seluler. Sistem GPRS dapat digunakan untuk pengiriman data dalam bentuk e-mail, data multimedia, Wireless Application Protocol (WAP), dan World Wide Web (WWW) (Murota dan Hirade, 2001), (Mladen dkk., 2012), (Raul dan Septimiu, 2012). Penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan

pengukuran gas berbahaya, yang menyangkut proses penyerapan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) di pabrik dengan merancang sistem pemantauan dan pengendalian konsentrasi gas CO<sub>2</sub> telah dilakukan oleh (Susilo dan Gunadhi, 2014), (Zhang (2012), (Lokke dkk., 2011), (Hagler dkk., 2013), Kumar dkk., 2015).

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem berbiaya rendah untuk mengumpulkan data polusi udara pada daerah tertentu, berupa kadar gas CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, serta suhu dan kelembaban udara. Sistem dirancang menggunakan jaringan tersebar dan sensor berbiaya rendah untuk memantau konsentrasi berbagai polutan udara di hutan bakau secara *realtime*. Data tersebut dapat dimanfaatkan untuk berbagai tugas manajemen polusi udara dengan memanfaatkan layanan GPRS.

Makalah ini disusun dengan urutan topik bahasan: Pendahuluan, Metode Penelitian, Hasil dan Pembahasan, Kesimpulan, Ucapan Terima Kasih, dan Daftar Pustaka.

### Metode Penelitian

Makalah ini membahas sistem pemantauan penyerapan emisi gas CO<sub>2</sub> dan konsentrasi gas O<sub>2</sub> di area tanaman bakau. Tingkat emisi dan konsentrasi kedua gas dipantau secara kontinyu, selanjutnya data disimpan berdasarkan pengukuran interval waktu yang dapat diatur dengan satuan *part per million* (ppm). Data tersebut dikirim secara berkala ke server web dengan periode yang dapat dikonfigurasi. Unit pemantauan juga dapat dikonfigurasi secara asinkron menggunakan layanan SMS (*Short Message Service*) yang umumnya tersedia di jaringan GSM. Sistem pengamatan menggunakan sensor gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan oksigen (O<sub>2</sub>) yang ditempatkan di sekitar area tanaman bakau. Titik stasiun pengamatan tersebar di Kawasan Hutan Bakau Muara Opak yang terletak di Dusun Baros, Tirtoharjo, Kecamatan Kretek, Kabupaten Bantul. Arsitektur sistem yang diterapkan ditunjukkan pada Gambar 1. Unit pemantauan berbasis Arduino bertanggung jawab untuk mendeteksi konsentrasi gas di area tanaman bakau dan untuk inialisasi serta kendali modem GPRS / GSM. Unit pemantauan berkomunikasi dengan server web secara jarak jauh melalui jaringan nirkabel berdasarkan komunikasi GPRS. Aplikasi pada server web bertanggung jawab atas interpretasi data yang disediakan oleh setiap unit pemantauan.

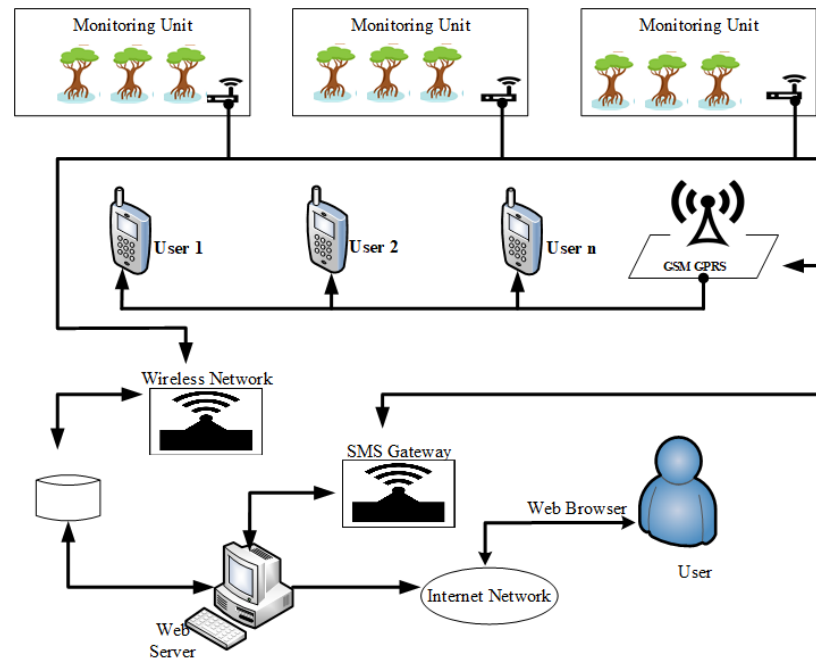
Sistem pemantauan ini dibagi menjadi dua sistem terpisah namun bekerja secara terpadu:

#### 1. Unit pemantauan

Unit pemantauan terdiri dari komponen elektronik yang berfungsi mengatur dan membaca sensor yang dipasang pada unit pemantauan. Sistem ini juga dilengkapi dengan sensor gas karbon dioksida, gas oksigen, suhu dan kelembaban, serta media penyimpanan. Sistem ini berfungsi untuk mengirim data ke server web menggunakan protokol HTTP melalui jaringan Internet. Unit pemantauan diimplementasikan menggunakan Arduino Ethernet Shield 3G (SIM5216E). Sebagai unit pemantauan gas digunakan sensor O<sub>2</sub> (OOM202), sensor CO<sub>2</sub> (MG811), suhu dan kelembaban (DHT22). Sebagai modem GPRS digunakan modul SIM900A. Sistem akan mendeteksi keberadaan gas CO<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> di udara, kemudian dibaca oleh sensor gas dan menghasilkan tegangan keluaran analog. Data dalam bentuk tegangan kemudian diproses oleh mikrokontroler, menghasilkan serangkaian angka. Mikrokontroler berisi program untuk menghitung tegangan variabel sensor. Setelah sinyal listrik diproses untuk mendapatkan data yang kemudian ditampilkan di layar LED sebagai indikator nilai kandungan gas CO<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> yang terkandung di udara. Proses terakhir adalah mengirim informasi konsentrasi gas menggunakan layanan GPRS secara otomatis.

#### 2. Aplikasi berbasis web

Modem GPRS bertanggung jawab untuk berkomunikasi dengan server web secara jarak jauh yang menjalankan aplikasi berbasis web, yang dapat diakses menggunakan browser web standar dan menyajikan hasilnya kepada pengguna akhir untuk analisis. Untuk meminimalkan biaya, digunakan model komunikasi tarikan (*pull model*). Penggunaan model komunikasi ini dapat menghilangkan kebutuhan alamat IP publik untuk sistem pemantauan, sehingga mengurangi total biaya sistem. Parameter data dan konfigurasi dipertukarkan antara unit pemantauan dan aplikasi berbasis web dengan menggunakan metode HTTP-POST. Beberapa unit pemantauan dapat mengakses server web sekaligus. Aplikasi pemantauan berbasis web berfungsi untuk menerima data dari mikrokontroler melalui protokol HTTP via jaringan internet, menyimpan data di server web, kemudian menampilkan informasi hasil pemantauan secara *realtime* dan online. Informasi yang diamati ditransmisikan menggunakan layanan GPRS dan divisualisasikan di halaman web.



Gambar 1. Arsitektur sistem pemantau pencemaran udara

### Hasil dan Pembahasan

Sistem ini mampu menampilkan informasi fluktuasi karbon dioksida, oksigen, suhu, dan tingkat kelembaban secara realtime melalui aplikasi berbasis web. Informasi dari unit pemantauan ditransmisikan melalui internet pada jaringan GSM menggunakan layanan GPRS ke server. Komunikasi antara server dan unit pemantauan menggunakan teknologi Raw Socket (TCP / UDP). Informasi yang disimpan dalam database kemudian ditampilkan pada halaman web yang telah dilengkapi dengan penanda dan nilai hasil pemantauan. Aplikasi berbasis web memungkinkan pengguna untuk mengakses unit pemantauan yang tersebar di beberapa lokasi. Sistem pemantau pencemaran udara ini dipasang di lingkungan nyata yang terletak di Kawasan Hutan Bakau Muara Opak yang terletak di Dusun Baros, Tirtohargo, Kecamatan Kretek, Kabupaten Bantul selama sekitar 30 hari. Periode pengambilan sampel untuk menyimpan data ditetapkan menjadi 5 menit. Artinya, setiap 5 menit fluktuasi kadar CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, suhu, dan kelembaban akan dipantau oleh sensor dan direkam ke dalam media penyimpanan. Selanjutnya, data tersebut dikirim ke server setiap 1 jam. Selama periode pengamatan, tidak ditemukan perilaku sistem yang tidak menentu.

### Komunikasi antara unit pemantauan dan server

Komunikasi antara unit pemantauan dan server web menggunakan layanan data GPRS di jaringan GSM. Mode yang terdapat dalam modul perangkat keras GSM dapat bekerja secara simultan antara GSM untuk layanan SMS untuk pesan teks dan layanan GPRS untuk komunikasi data. Petunjuk tentang layanan GPRS untuk mengaktifkan komunikasi data internet pada Modul SIMCOM yaitu pengguna mengirim pesan teks "http on" ke nomor GSM pada unit pemantauan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

```

1. void kirim_HttpOn(char * NomerHp)
2. {
3.   DisableTimer();
4.   flagtimer=1;
5.   printf("AT+CMGS=\"%s\"\r\n",NomerHp);
6.   if(wait_karakter('>',5000)==1)Buz_key2=1;
7.   putsf("ID Device: ");kirim_data_eeprom(idAlat);putsf("\nStatus Online");putchar(26);
8.   wait_karakter('+',10000);
9.   wait_Oke();
10.  EnableTimer();
11. }

```

Gambar 2. Potongan program untuk komunikasi antara unit pemantauan dan server web

Bagian dari skrip program untuk mengaktifkan layanan GPRS pada modul GSM ditunjukkan pada Gambar 3.

```

39. HTTPINIT:
40. r=send_USART(commandHTTP[5], "OK", 2000);
41. if(r==0 && ct < 3){ct++;goto HTTPINIT;}r=ct=0;
42.
43. HTTPPARA1:
44. r=send_USART(commandHTTP[6], "OK", 2000);
45. if(r==0 && ct < 3){ct++;goto HTTPPARA1;}r=ct=0;
46. HTTPPARA2:
47. printf("AT+HTTPPARA=\URL\", \"http://monitoringudara.com/data.php?id=%s&co2=%f&o2=-
%f&v=%d&s=%d\" \r\n", id_buf, karbon, oksigen, suhu, lembab);
48. r=send_USART(NULL, "OK", 2000);
49. if(r==0 && ct < 3){ct++;goto HTTPPARA2;} r=ct=0;
50.
51. HTTPACTION:
52. r=send_USART(commandHTTP[8], "+HTTPACTION:", 2000);
53. if(r==0 && ct < 3){ct++;goto HTTPACTION;}
54. if(r==1){
55.     lcd_clear();lcd_gotoxy(0,1);lcd_puts("Transfer: OK");delay_ms(1000);
56. }
57. if(r==0 && ct ==3){lcd_gotoxy(0,1);lcd_puts("Transfer: ERROR");delay_ms(1000);}r=ct=0;
    
```

Gambar 3. Potongan program untuk mengaktifkan layanan GPRS pada modul GSM

**Menampilkan hasil pemantauan di aplikasi berbasis web**

Sampel data yang diperoleh dari unit pemantauan yang terletak di area tanaman bakau menunjukkan konsentrasi CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, suhu, dan kelembaban selama periode pengamatan selama 24 jam seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Pengukuran ini bertujuan untuk menentukan tingkat polusi gas CO<sub>2</sub> selama proses fotosintesis tanaman bakau di siang hari, serta perubahan konsentrasi gas CO<sub>2</sub> di malam hari.

Tabel 1. Hasil pengukuran di area tanaman bakau

No.	Waktu	CO <sub>2</sub> (ppm)	O <sub>2</sub> (%)	Temp (°C)	Humidity (%)
1	5:30	280.0	23.8	27.0	85.0
2	5:45	290.0	23.7	28.0	84.5
3	8:00	360.0	22.5	29.7	81.5
4	8:15	366.4	22.4	29.9	81.2
5	10:00	403.0	21.3	31.3	78.7
6	10:15	407.0	21.2	31.5	78.4
7	11:30	420.6	20.4	32.4	76.6
8	11:45	423.4	20.3	32.6	76.3
9	12:00	426.2	20.1	32.8	75.9
10	12:15	429.0	20.0	33.0	75.6
11	13:45	453.8	19.1	34.1	73.5
12	14:00	462.3	18.9	34.3	73.1
13	14:15	469.9	19.1	34.5	72.8
14	17:15	561.1	18.1	36.8	68.6
15	17:30	568.7	18.0	37.0	68.2
16	17:45	576.3	17.9	34.0	67.9
17	18:00	583.9	17.8	35.0	67.5
18	18:15	591.5	17.8	33.0	67.2
19	23:30	751.1	18.2	27.0	68.1
20	23:45	758.7	18.3	28.6	69.3
21	0:00	766.3	18.3	29.0	70.5
22	0:15	773.9	18.4	28.0	71.8
23	2:45	849.9	18.8	25.8	84.0
24	3:00	827.1	18.8	25.6	85.2
25	3:15	834.7	18.7	25.4	86.4

Parameter data dan konfigurasi dipertukarkan antara unit pemantauan dan aplikasi berbasis web menggunakan metode HTTP-POST. Beberapa unit pemantauan dapat mengakses server web secara sekaligus. Aplikasi pemantauan berbasis web berfungsi untuk menerima data dari mikrokontroler melalui protokol HTTP melalui jaringan internet. Modem GPRS bertanggung jawab untuk komunikasi dengan server web secara jarak jauh yang menjalankan aplikasi berbasis web yang dikembangkan secara khusus. Aplikasi berbasis web yang dikembangkan dapat diakses menggunakan browser web standar serta mampu menyajikan hasil pemantauan kadar gas CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, suhu, dan kelembaban kepada pengguna akhir untuk dilakukan analisis. Pemantauan data ditransmisikan menggunakan format paket data sederhana dan pendek untuk meminimalkan waktu pengiriman data paket.

Gambar 4 menunjukkan data yang diperoleh dari unit pemantauan, yang terletak di 10 lokasi berbeda. Data yang direkam terdiri dari lokasi, tanggal dan waktu pengiriman data, serta informasi tentang suhu, kelembaban, dan konsentrasi CO<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub>. Selanjutnya, data diproses dan ditampilkan dalam bentuk grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 dan 6.

ID	Lokasi	Tanggal dan Waktu	Kelembaban	Kadar CO <sub>2</sub> (ppm)	Suhu (°C)	Kadar O <sub>2</sub> (%)
4020	Plosorejo	05-02-2017 10:00:00	39%	424 ppm	17 °C	52%
2105	Klambu	24-12-2016 14:00:00	11%	600 ppm	18 °C	3%
1240	Grobogan	24-12-2016 05:00:00	29%	600 ppm	64 °C	59%
3117	Tegalgede	24-12-2016 05:00:00	79%	54 ppm	67 °C	78%
6120	Banjarejo	23-12-2016 23:00:00	9%	322 ppm	36 °C	1%
3115	Kloposawit	23-12-2016 18:00:00	5%	83 ppm	17 °C	47%
4852	Jetu	23-12-2016 16:00:00	73%	82 ppm	44 °C	46%
5124	Opak Hulu	23-12-2016 16:00:00	46%	700 ppm	64 °C	41%
7490	Gendingan	23-12-2016 08:00:00	31%	187 ppm	21 °C	72%
2148	Gondanglegi	23-12-2016 07:00:00	2%	759 ppm	52 °C	65%

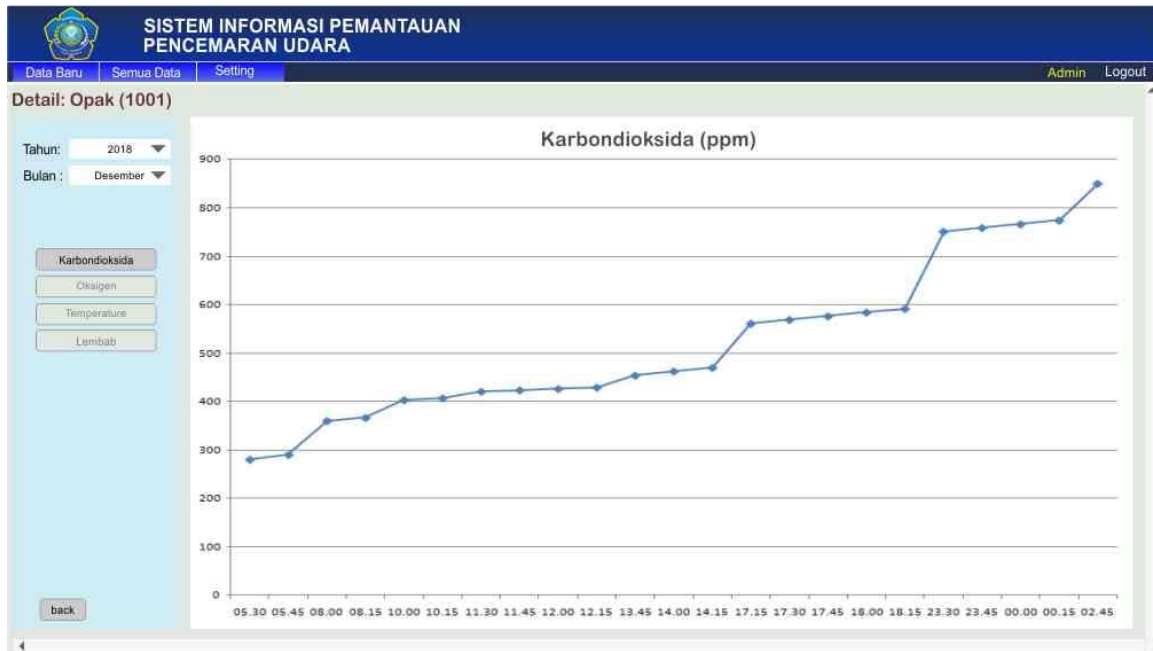
Total: 10 data. Klik untuk melihat detail/grafik.

Urut berdasarkan: Nama | Waktu | Nilai | Turun | Slide interval: Off | 1 detik | 2 detik | 5 menit

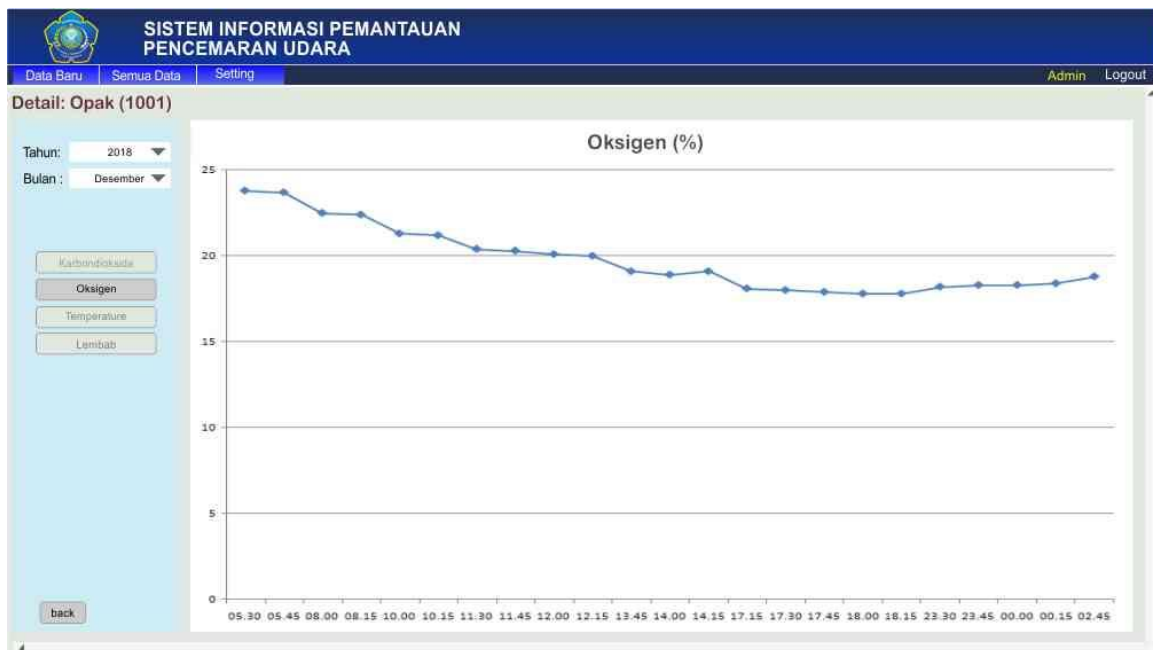
Gambar 4. Halaman web yang menampilkan kadar CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, suhu, dan kelembaban di 10 lokasi

Gambar 5 dan 8 menunjukkan tampilan grafis data yang direkam dari salah satu unit pemantauan yang terletak di Opak. Gambar 5 menunjukkan fluktuasi kadar CO<sub>2</sub> di lokasi pengamatan selama 24 jam dengan interval waktu acak, sedangkan Gambar 6 menunjukkan konsentrasi O<sub>2</sub>.

Berdasarkan tampilan pada Gambar 5 dan 6 dapat dinyatakan bahwa unit pemantauan yang ditempatkan di lokasi pengamatan dapat mengirim data dengan baik ke server. Data dipertukarkan antara unit pemantauan dan aplikasi berbasis web dengan menggunakan metode HTTP-POST. Aplikasi pemantauan berbasis web berfungsi untuk menerima data dari mikrokontroler melalui protokol HTTP melalui jaringan internet. Modem GPRS bertanggung jawab untuk komunikasi dengan server web jarak jauh yang menjalankan aplikasi berbasis web. Data tersebut kemudian diproses dan ditampilkan melalui aplikasi berbasis web.



Gambar 5. Tampilan grafis konsentrasi CO<sub>2</sub>



Gambar 6. Tampilan grafis konsentrasi O<sub>2</sub>

**Kesimpulan**

Dalam penelitian ini, sebuah sistem pemantauan gas berbasis perangkat Arduino GSM Shield dengan aplikasi berbasis web telah diuraikan dan diimplementasikan. Perangkat Arduino dan sensor dipasang di lingkungan nyata di area tanaman bakau selama 30 hari dan dapat beroperasi dengan normal selama pengujian. Berdasarkan hasil percobaan, sistem ini dapat memantau penyerapan emisi CO<sub>2</sub> dan pembentukan gas O<sub>2</sub> pada tanaman bakau. Data hasil pemantauan ditransmisikan menggunakan layanan SMS pada jaringan GSM dalam ukuran paket dan waktu transmisi data yang lebih singkat, serta dapat diakses melalui aplikasi berbasis web. Sebagai kesimpulan, penggunaan teknologi yang murah dan portabel dapat digunakan untuk memperoleh data polusi udara yang lebih representatif secara spasial dan temporal. Di masa depan, kemajuan sistem dapat ditingkatkan untuk memberikan informasi yang akurat tentang distribusi polutan secara spasial serta mengidentifikasi lokasi (*hotspot*) dimana terdapat polusi udara.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi (KemenRistekdikti) yang telah mendanai kegiatan penelitian sesuai dengan Implementasi Hibah Penelitian: DIPA-042.06.1.401516/2017.

### Daftar Pustaka

- Avnery S Mauzerall D L Liu J and Horowitz LW, (2011), Global crop yield reductions due to surface ozone exposure: 2. Year 2030 potential crop production losses and economic damage under two scenarios of O<sub>3</sub> pollution, *Atmos Environ*, Vol. 45, pp. 2297–2309
- Castell N Viana M Minguillón M C Guerreiro C and Querol X, (2013) Real-world application of new sensor technologies for air quality monitoring, *ETC/ACM Technical Paper*
- Departemen Kesehatan, (2012), Parameter Pencemaran Udara dan Dampaknya Bagi Kesehatan Depkes (<http://www.depkes.go.id/downloads/udara.pdf>). Accessed on March 20 2018
- Fenger J, (2009), Air pollution in the last 50 years—from local to global, *Atmos Environ*, Vol. 43, pp. 13–22
- Hagler G S W Solomon P A and Hunt S W, (2013), New Technology for Low-cost, Real-time Air Monitoring, *EM Magazine*, Air & Waste Management Association.
- Hidayati R, (2012) Masalah Perubahan Iklim di Indonesia Beberapa Contoh Kasus, *Makalah Falsafah Sains*, Progam Doktor IPB
- Holmes N S and Morawska L, (2006), A review of dispersion modelling and its application to the dispersion of particles: an overview of different dispersion models available.
- Kumar P Ketzler M Vardoulakis S Pirjola L and Britter R, (2011), Dynamics and dispersion modelling of nanoparticles from road traffic in the urban atmospheric environment—a review, *Journal Aerosol Sci*, Vol. 42, pp. 580–603
- Kumar P Morawska L Birmili W Paasonen P Hu M Kulmala M Harrison R M Norford L and Britter R, (2014), Ultrafine particles in cities, *Environ Int*, Vol. 66, pp. 1–10
- Kumar P Morawska L Martani C Biskos G Neophytou M Di Sabatino S Bell M Norford L and Britter R, (2015), The rise of low-cost sensing for managing air pollution in cities, *Environ Int*, Vol. 75, pp. 199–205
- Løkke M M Seefeldt H F Edwards G and Green O, (2011), Novel Wireless Sensor System for Monitoring Oxygen, Temperature and Respiration Rate of Horticultural Crops Post Harvest, *Sensors*, Vol. 11, pp. 845–864
- Menz FC and Seip H M, (2004), Acid rain in Europe and the United States: an update, *Environ Sci, Pol*, Vol. 7, pp. 253–265
- Mladen K, Zeljko I, and Branko D, (2012), GPRS-Based Electrical Energy Monitoring System, *Symposium Industrial Electronics INDEL*, pp 282-284
- Mouzourides P Kumar P and Neophytou M K A, (2015), Assessment of long-term measurements of particulate matter and gaseous pollutants in South-East Mediterranean, *Atmos Environ*, Vol. 107, pp. 148–165
- Murota K and Hirade K, (2001), GMSK Modulation for Digital Mobile Radio Telephony, *IEEE Transactions on Communications*, Vol. COM-29, pp. 1044-1050
- Ramanathan V and Feng Y, (2009), Air pollution, greenhouse gases and climate change: global and regional perspectives, *Atmos Environ*, Vol. 43, pp. 37–50
- Raul I Gabriel V and Septimiu M, (2012), GPRS Based Data Acquisition And Analysis System With Mobile Phone Control *Measurement* Vol 45 Issue 6 pp 1462-1470
- Sharma P Jain S and Kumar P, (2013), An integrated statistical approach for evaluating the exceedence of criteria pollutants in the ambient air of megacity Delhi, *Atmos Environ*, Vol. 70, pp. 7–17
- Snyder E G Watkins T H Solomon P A Thomas E D Williams R W Hagler G S Shelow D Hindin D A Kilaru V J and Preuss P W, (2013), The changing paradigm of air pollution monitoring, *Environ Sci Technol*, Vol. 47, pp. 11369–11377
- Solomon S Garcia R R Rowland F S Wuebbles D J, (1986), On the depletion of Antarctic ozone, *Nature*, Vol. 321, pp. 755–758
- Solomon S, (1999), Stratospheric ozone depletion: a review of concepts and history, *Rev Geophys*, Vol. 37, pp. 275–316
- Sudarsono M A Novianta and Purnawan, (2018a), Development of SMS Gateway Information System for Detecting Air Quality, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 434, pp. 1-6
- Sudarsono M A Novianta and Purnawan, (2018b), Performance of AVR Microcontroller-SMS Gateway for Detecting SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub>, *The 3rd International Conference on Energy, Environmental and Information System (ICENIS 2018) E3S Web Conf.*, Vol. 73, pp. 1-5

- Susilo Y S Pranjoto H dan Gunadhi A, (2014), Sistem Pelacakan Dan Pengamanan Kendaraan Berbasis GPS Menggunakan Komunikasi GPRS, *Jurnal Ilmiah Widya Teknik*, Vol. 13, No. 1
- Van Dingenen R Dentener F J Raes F Krol M C Emberson L and Cofala J, (2009), The global impact of ozone on agricultural crop yields under current and future air quality legislation, *Atmos Environ*, Vol. 43, pp. 604–618
- White R M Paprotny I Doering F Cascio W E Solomon P A and Gundel L A, (2012), Sensors and 'apps' for community-based atmospheric monitoring, *EM: Air and Waste Management Association's Magazine for Environmental Managers*, Vol. 5, pp. 36–40
- World Health Organization (WHO), 2016, Ambient Air Pollution: A Global Assessment of Exposure and Burden of Disease. <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/250141/1/9789241511353-eng.pdf> (accessed 31 October 2018)
- World Health Organization (WHO), 2014, Burden of Disease From Ambient Air Pollution for 2012 [http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair/databases/AAP\\_BoD\\_results\\_March2014.pdf](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/AAP_BoD_results_March2014.pdf) (accessed 31 October 2018)
- Xu P Chen Y and Ye X, (2013), Haze, air pollution, and health in China, *Lancet*, Vol. 382, No. 2067
- Zhang H, (2012), A self-adaptive greenhouse CO<sub>2</sub> concentration monitoring system based on ZigBee, *Cloud Computing and Intelligent Systems (CCIS), IEEE 2nd International Conference*, pp. 1137-1140