

DESAIN DAN FABRIKASI ALAT UKUR KADAR GAS METANA (CH₄) PADA LAHAN GAMBUT MENGGUNAKAN SENSOR TGS2611 BERBASIS ATMEGA8535

Iwan Sugriwan¹, Adi Rachmattullah², Oni Soesanto³, Ade Agung Harnawan⁴

^{1,2,4}Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Lambung Mangkurat Banjarbaru
E-Mail: iwansugriwan@unlam.ac.id

³Jurusan Matematika Fakultas MIPA Universitas Lambung Mangkurat Banjarbaru
E-Mail: oni.soesanto@gmail.com

ABSTRAK

Fokus penelitian ini adalah pembuatan sistem alat ukur kadar gas CH₄ dan pengukuran kadar gas CH₄ di lahan gambut. Sistem alat ukur terdiri dari rangkaian catu daya, sensor TGS2611, *voltage follower*, mikrokontroler ATmega8535, LCD karakter 16x2 dan komputer. Sensor TGS2611 dikalibrasi dengan gas metana yang dihasilkan dari reaktor biogas, sehingga diperoleh proporsi konsentrasi gas metana dan tegangan. Mikrokontroler ATmega8535 merupakan perangkat yang mengendalikan semua bagian dalam sistem alat ukur ini. *Basic Compiler* merupakan perangkat lunak yang bertanggung jawab untuk ambil data sensor, menghitung persamaan karakteristik, mengirim data ke LCD 16 x 2. Untuk mengartar muka antara sistem alat ukur dengan komputer menggunakan bahasa pemrograman *Delphi.7*. Hasil pengukuran dapat ditunjukkan secara terus menerus, waktu nyata dan pencatatan otomatis. Pengukuran kadar gas CH₄ pada lahan gambut menggunakan *chamber* berukuran 60 x 50 x 40 cm. *Chamber* berfungsi untuk memerangkap emisi gas CH₄ pada lahan gambut. Pengukuran dilakukan selama 2 jam menghasilkan perubahan konsentrasi gas CH₄ dari rentang 237 ppm sampai 295 ppm. Data hasil pengukuran disimpan dalam file dengan format *.xlsx.

Kata Kunci: *Chamber*; Lahan gambut; Metana; Mikrokontroler ATmega8535; Sensor TGS2611;

ABSTRACT

The research are focused on fabrication of measuring instrument for measure methane gas concentration on peatland. Measuring instrument consists of power supply unit, TGS2611 methane gas sensor, voltage follower, ATmega8535 microcontroller, 16 x 2 LCD character and personal computer. TGS2611 is calibrated with methane from biogas present proportion between gas concentration and voltage. ATmega8535 module is a device to manage all part in measuring instrument. The software that responsible to take sensor data, calculating characteristic equation and sending data to 16 x 2 LCD character are Basic Compiler. To interface between measuring instrument and personal computer is maintained by Delphi.7. The result of measurement can showed on 16 x 2 LCD character and PC monitor continuously, real time and recorded automatically. Closed-Chamber Measurement with dimension 60 x 50 x 40 cm³ is used to trap methane on peatland. Measurement during 2 hour on peatland produce 237 to 295 ppm.

Keywords: Chamber; peatland; methane; Mikrokontroler ATmega8535; TGS2611 gas sensor;

PENDAHULUAN

Tanah gambut merupakan material organik yang terbentuk dari timbunan sisa-sisa tanaman yang telah mati, terakumulasi dalam kondisi lingkungan yang tergenang air, sangat sedikit oksigen dan keasaman tinggi serta terbentuk dalam jangka waktu geologis yang lama (1), sehingga fungsi hidrologi dan ekologi tanah gambut sangat penting bagi kehidupan manusia karena menyimpan sebagian besar cadangan karbon dibawah

permukaan (2). Mengingat cadangan karbon yang besar pada lahan gambut sedangkan ekosistemnya sangat rapuh, maka apabila tidak dikelola dengan baik akan menyebabkan kehilangan karbon organik dalam bentuk karbondioksida (CO_2), metana (CH_4) dan dinitrogen oksida (N_2O) yang diemisikan ke atmosfer (3).

Gas CO_2 , CH_4 dan N_2O disebut sebagai gas rumah kaca. Efek rumah kaca adalah fenomena dimana energi radiasi matahari yang diserap oleh permukaan bumi, tidak dapat menembus luar angkasa sehingga energi radiasi matahari tersebut diserap oleh bumi yang menyebabkan semakin lama suhu bumi semakin panas (4). Salah satu penyebabnya adalah terjadinya kebakaran lahan gambut dan drainase akibat konversi hutan gambut untuk pemanfaatan lahan lain (5). Gas CO_2 , CH_4 dan N_2O berkontribusi dalam efek pemanasan global sebesar 55%, 15% dan 6% (6), tetapi level pemanasan gas CH_4 25-35 kali lebih besar dibandingkan dengan CO_2 . Gas CH_4 pada lahan gambut dihasilkan melalui proses dekomposisi bahan organik secara anaerob. Peningkatan pengeluaran gas CH_4 dapat dipicu dari endapan gambut yang terganggu atau mengalami perubahan dari anaerob menjadi aerob, seperti pembakaran biomassa lahan gambut (7).

Pengukuran kadar gas CH_4 secara umum menggunakan alat *Gas Chromatography* (GC) yaitu salah satu metode analisis kimia untuk mengidentifikasi maupun memisahkan satu atau lebih komponen dalam suatu campuran gas (7). Proses pengambilan sampel gas CH_4 di lahan gambut dengan memerangkap gas menggunakan *chamber*, kemudian sampel gas CH_4 diambil menggunakan jarum suntik. Hasil sampel gas CH_4 diukur menggunakan GC sehingga diketahui konsentrasi gas CH_4 . Proses ini terdapat beberapa kelemahan yaitu pengukuran tidak dalam waktu nyata, melibatkan banyak sumber daya manusia, mahal dari segi biaya dan produksi, data tidak dapat langsung dicatat dan lain-lain.

Solusi alternatif pengukuran dengan pencatatan otomatis dan *real time* adalah menggunakan sensor TGS2611 dan mikrokontroler ATmega8535 yang difabrikasikan menjadi suatu sistem pengukuran kadar gas CH_4 . Data hasil pengukuran kadar gas CH_4 dapat disimpan di *Personal Computer* (PC) atau laptop menggunakan program antarmuka Delphi 7.0. Hal ini menjadikan suatu sistem yang dibuat menjadi lebih efisien.

METODE PENELITIAN

Kalibrasi terhadap sensor TGS2611 dilakukan dengan membuat digester biogas yang ditutup secara sempurna tanpa adanya udara yang masuk dan keluar serta membuat penampung gas CH_4 yang dihasilkan dari digester biogas tersebut seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Digester biogas sebagai tempat proses kalibrasi sensor dibuat menggunakan pipa paralon berukuran 8 inci dengan panjang 30 cm. Sensor TGS2611 diletakkan didalam penampung gas CH_4 untuk mengetahui konsentrasi gas CH_4 selama beberapa hari dan hasilnya dibandingkan dengan alat GC yang terletak di Balai Penelitian Pertanian Tanaman Rawa (BALITTRA) Banjarbaru.



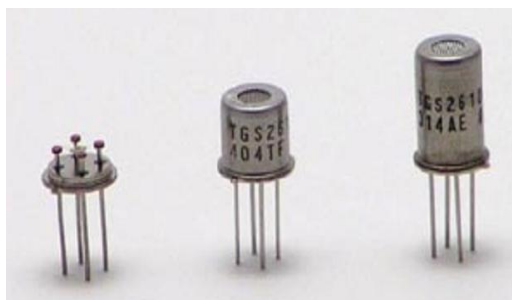
Gambar 1. (a) Digester biogas dan (b) penampung gas CH₄

Langkah-langkah proses kalibrasi sensor TGS2611 adalah sensor TGS2611 diletakkan pada tabung penampung gas dan mengamati kadar gas CH₄ selama 9 hari. Sampel gas CH₄ diambil dari tabung penampung menggunakan jarum suntik dalam jeda hari tertentu selama 9 hari dan mencatat nilai tegangan V_{RL} yang keluar dari rangkaian sensor. Sampel yang ditampung pada jarum suntik diukur konsentrasinya menggunakan alat GC sehingga diperoleh persamaan antara konsentrasi gas dalam *part per million* (ppm) dengan tegangan sensor TGS2611 mV.

Modul mikrokontroler ATmega8535 dihubungkan dengan LCD karakter 16x2 untuk menampilkan hasil pengukuran, sedangkan untuk proses perekaman data secara otomatis dan *real time* menggunakan sistem komunikasi serial antara alat yang telah dibuat dengan *personal computer* (PC) ataupun laptop. Pembuatan program antarmuka mikrokontroler dan LCD karakter 16x2 menggunakan *software Basic Compiler* (BASCOM), sedangkan untuk menampilkan akuisisi data di PC atau laptop menggunakan *software Delphi 7.0*. Semua tahapan tadi menjadikan suatu sistem yang disebut sebagai CH₄ meter. CH₄ meter diimplementasikan pada pengukuran emisi gas CH₄ di lahan gambut.

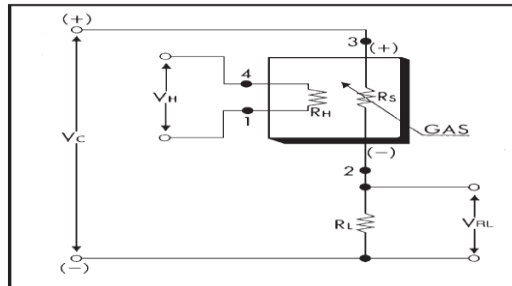
Emisi gas rumah kaca dari CH₄ dan sifat mikrobiologi tanah merupakan aspek terpenting yang perlu dievaluasi sebagai dampak pada lingkungan. CH₄ pada lahan gambut terbentuk oleh aktifitas bakteri anaerob metanogenesis. Bakteri ini aktif merombak bahan organik dan menghasilkan gas CH₄ (8). Bakteri CH₄ masih dapat hidup pada keadaan lingkungan yang ekstrim seperti salinitas yang tinggi atau pH yang rendah. Produksi CH₄ berbanding lurus dengan kenaikan suhu udara (9).

Sensor gas CH₄ memiliki bahan detektor berupa Kristal Metal Oksida (SnO₂), khususnya senyawa Paladium Oksida (PdO₂). Sensor gas CH₄ yang digunakan pada penelitian ini berupa TGS2611 keluaran Figaro. Gambar 2 menunjukkan bentuk fisik sensor.



Gambar 2. Bentuk fisik sensor TGS2611 (10)

Sensor TGS2611 memerlukan tegangan *input* masing-masing sebesar 5 Volt untuk mensuplai tegangan *heater* (V_H) dan tegangan rangkaian (V_C). V_H digunakan untuk alat pemanas yang terintegrasi untuk memelihara *sensing* elemen pada temperatur yang optimal. V_C digunakan untuk menyuplai tegangan pada rangkaian pembagi tegangan. Gambar 3 merupakan rangkaian sensor TGS2611.



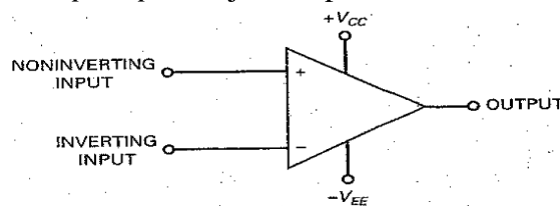
Gambar 3. Rangkaian dasar sensor TGS2611 (11)

Untuk menghitung nilai R_S maka dipakai rumus sebagai berikut (11):

$$R_S = \frac{V_C - V_{RL}}{V_{RL}} \times R_L \tag{1}$$

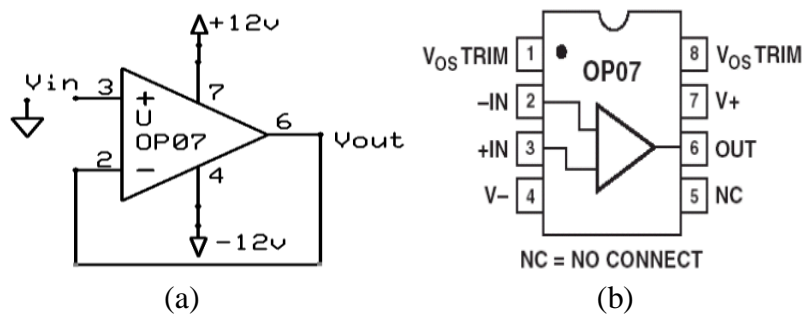
Dengan R_S adalah hambatan sensor, V_H adalah tegangan *heater*, R_L adalah hambatan beban, V_C adalah tegangan rangkaian, R_H adalah hambatan *heater*, dan V_{RL} adalah tegangan keluaran.

Op-amp terdiri dari beberapa komponen-komponen aktif maupun pasif seperti transistor, resistor dan kapasitor yang dirangkai dan dikemas dalam rangkaian terpadu (*integrated circuit*). Simbol *op-amp* ditunjukkan pada Gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Simbol *operational amplifier* (12)

Pada penelitian ini kaki 2 dan kaki 6 *op-amp* saling dihubungkan sehingga menjadi sebuah rangkaian *voltage follower*. *Voltage follower* merupakan rangkaian elektronik yang dapat mengkonversi impedansi tinggi ke impedansi rendah (13). Gambar 5 (a) merupakan rangkaian *voltage follower* dan Gambar 5 (b) adalah konfigurasi kaki dari IC OP07. IC OP07 memiliki tegangan *offset input* yang sangat rendah dengan tegangan maksimal 75 μV . OP07 juga memiliki kelebihan arus bias input yang kecil ± 4 nA dan penguatan loop terbuka (*open loop gain*) yang tinggi sebesar 200 V/mV (14).



Gambar 5.(a) *Voltage follower* dan (b) operasional amplifier OP07

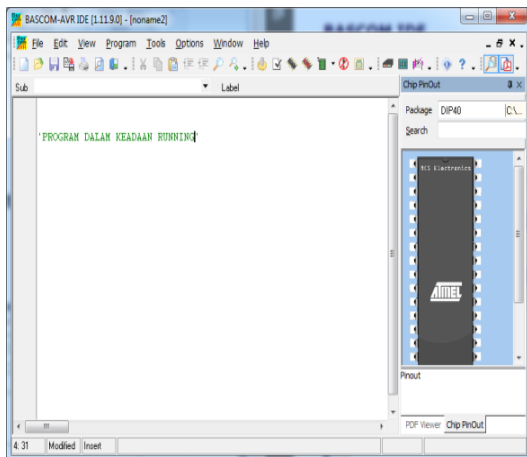
Mikrokontroler merupakan keseluruhan sistem komputer yang dikemas menjadi sebuah *chip* di mana di dalamnya terdapat mikroprosesor, I/O, memori bahkan ADC (*Analog to Digital Converter*). Mikrokontroler AVR (*Alf and Vegard's Risc processor*) merupakan produk dari Atmel yang memiliki arsitektur RISC (*Reduce Instruction Set Computer*) 8 bit, dimana semua instruksi dikemas dalam kode 16 bit dan sebagian besar instruksi dieksekusi dalam satu siklus *clock*, berbeda dengan seri MCS51 yang membutuhkan 12 siklus *clock* karena seri MCS51 berteknologi CISC (*Complex Instruction Set Computing*) (15). Salah satu AVR dari produk Atmel yang digunakan pada penelitian ini adalah ATMega8535 yang dikemas dalam modul minimum sistem mikrokontroler ATMega8535.

Interface mikrokontroler dengan LCD 16x2 melalui perantara kabel penghubung yang diprogram menggunakan BASCOM AVR menghasilkan karakter nilai tegangan dan kadar gas CH₄ pada tampilan LCD 16x2 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Tampilan pada LCD 16x2 berubah setiap 500 ms secara berulang dan terus-menerus tergantung nilai kadar gas CH₄ yang berhasil disensing.

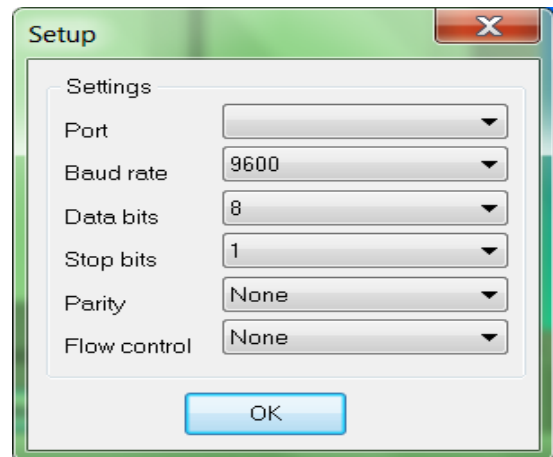


Gambar 6. LCD 16x2 menampilkan nilai tegangan dan kadar gas CH₄

Bahasa *Basic* merupakan bahasa yang digunakan dalam pemrograman BASCOM AVR. Bahasa pemrograman *Basic* berada di antara bahasa tingkat rendah berarti bahasa yang berorientasi pada mesin dan tingkat tinggi berorientasi pada manusia (16). Gambar 7 merupakan tampilan IDE BASCOM AVR ketika program dijalankan.



Gambar 7. Tampilan IDE BASCOM AVR



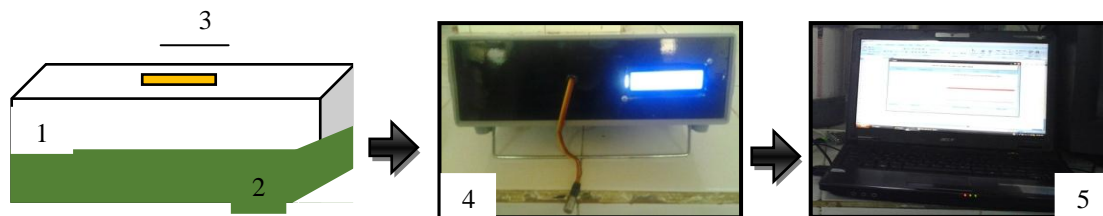
Gambar 8. Konfigurasi Comport

Program pencatat data otomatis dibuat dengan *software Borland Delphi 7.0* yang dapat merekam data tegangan dan kadar gas CH₄ secara *real time* serta menampilkan grafik hubungan kadar gas CH₄ terhadap waktu. Tetapi sebelum pencatatan data otomatis dapat dijalankan, konfigurasi *comport* harus dilakukan yang terdiri dari pengesetan *baud rate* sebesar 9600 bps, port yang digunakan harus sesuai dengan pengaturan *device manager* pada laptop, data bit sebesar 8 bps, stop bit penyetingan *frame* format dan

pengaktifan pengiriman atau penerima data tergantung pada pemakaian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8. Setelah pengukuran selesai dilakukan data disimpan dalam format *.xlsx.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Chamber digunakan untuk memerangkap gas CH_4 yang dihasilkan oleh lahan gambut agar memudahkan proses pengambilan data. *Chamber* dibuat dengan ukuran (60 x 50 x 40) cm dari bahan papan fiber akrilik, aluminium siku, baut, mur dan lem. Pengujian dilakukan dengan memerangkap gas CH_4 dalam *chamber* yang diintegrasikan dengan alat ukur CH_4 meter, kemudian data hasil pengukuran disimpan menggunakan laptop seperti alur yang ditunjukkan pada Gambar 9. Gas CH_4 pada lahan gambut diukur dalam rentang waktu 2 jam. Data hasil pengukuran disajikan dalam satuan *part per million* (ppm) dan tegangan yang terukur berdasarkan perubahan konsentrasi kadar gas CH_4 . Konsentrasi gas dan tegangan pundapat ditampilkan pada LCD 16x2.



Gambar 9. Pengambilan data kadar gas CH_4 pada lahan gambut

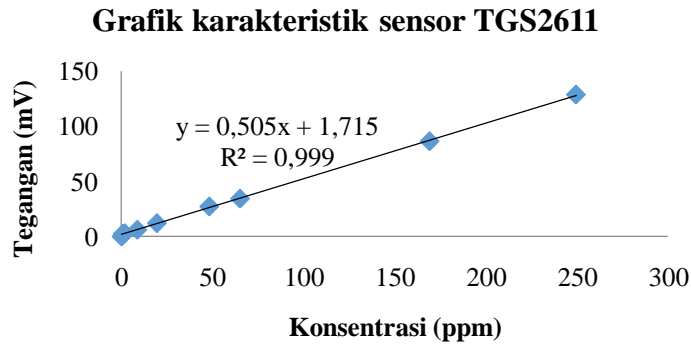
Keterangan:

- | | |
|------------------------------------|------------------------|
| 1. <i>Chamber</i> | 4. CH_4 meter |
| 2. Tanah gambut | 5. Laptop |
| 3. Tempat peletakan sensor TGS2611 | |

Ukuran *chamber* dibuat dengan panjang 60 cm, lebar 50 cm dan tinggi 40 cm. Pada saat dilapangan *chamber* ditanam sedalam 2 cm sehingga ukuran tinggi *chamber* menjadi 38 cm, maka dapat diperoleh volume *chamber* untuk memerangkap gas CH_4 sebesar 114.000 cm^3 .

Karakterisasi sensor TGS2611 dilakukan dengan pencatatan tegangan keluaran sensor dan membandingkannya dengan kadar gas CH_4 yang dihasilkan dari produksi digester biogas. Multimeter menjadi alat pembaca tegangan keluaran sensor (VRL). Pencatatan tegangan dilakukan bersamaan dengan pengambilan sampel gas menggunakan jarum suntik selama 9 hari setiap pukul 09.30 WITA. Sampel gas yang telah terkumpul selama 9 hari diuji menggunakan alat GC yang bertempat di BALITTRA. Hasil sampel gas yang telah terbaca pada GC dibuat persamaan karakteristiknya dengan tegangan yang telah dicatat sebelumnya. Tabel 4 menunjukkan nilai tegangan dan konsentrasi gas CH_4 pada proses karakterisasi.

Gambar 10 menunjukkan grafik karakteristik sensor yang didapatkan dari proses kalibrasi.



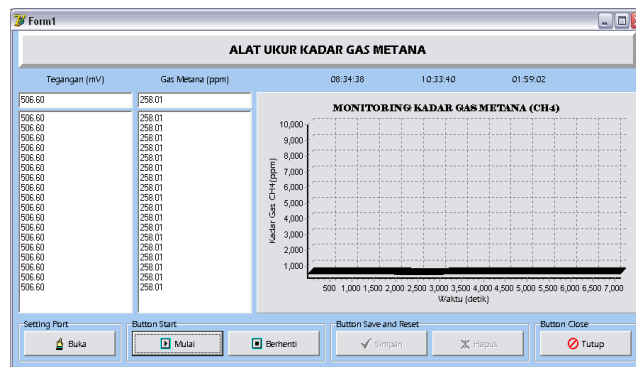
Gambar 10. Grafik karakteristik sensor TGS2611

CH₄ meter merupakan suatu alat ukur konsentrasi gas CH₄ yang terdiri dari beberapa rangkaian elektronis seperti rangkaian catu daya, modul mikrokontroler ATmega8535 yang dihubungkan dengan rangkaian pembagi tegangan, sensor TGS2611 melalui Port A0 mikrokontroler, antarmuka modul mikrokontroler ATmega8535 dengan LCD karakter 16x2 melalui kabel-kabel penghubung, antarmuka modul mikrokontroler ATmega8535 dengan laptop melalui kabel serial RS-232 yang telah dihubungkan dengan kabel *USB converter to RS-232*. Realisasi CH₄ meter yang telah dibuat ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Realisasi CH₄ meter

Tampilan program *Delphi 7.0* ketika melakukan proses pencatatan data konsentrasi gas CH₄ ditunjukkan pada Gambar 12. Melalui *software* ini data konsentrasi gas CH₄ dan tegangan disertai grafik hubungan konsentrasi terhadap waktu terjadinya proses pengukuran dapat ditampilkan dan langsung disimpan dalam file **.xlsx*.



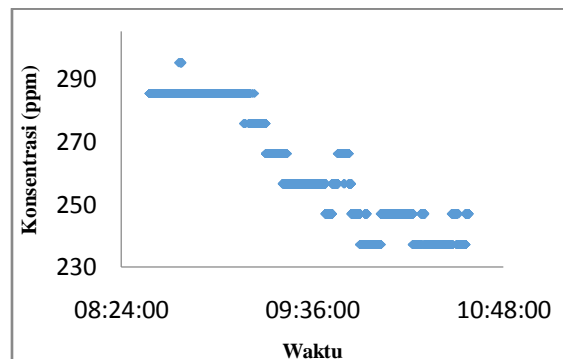
Gambar 12. Pencatatan data konsentrasi gas CH₄ pada laptop

Pengujian alat CH_4 meter dilakukan pada lahan gambut yang terletak di Kelurahan Syamsudin Noor Kecamatan Landasan Ulin Banjarbaru. Alat diintegrasikan dengan *chamber* yang sudah ditanam sedalam 2 cm. Ini dilakukan agar emisi gas pada lahan gambut yang telah terperangkap didalam *chamber* tidak keluar melalui celah-celahnya. Selanjutnya mengintegrasikan laptop dengan alat ukur CH_4 meter melalui *koneksi USB Serial Converter to RS-232* untuk memulai pengujian alat. Meletakkan sensor TGS2611 pada lubang diatas *chamber* dan menunggu proses akuisisi data selama 2 jam sehingga menghasilkan 7200 data pengukuran emisi gas CH_4 . Pencatatan dilakukan secara otomatis dengan *software Delphi 7.0* yang telah dibuat sebelumnya. Gambar 13 merupakan proses pengambilan data kadar gas CH_4 di lahan gambut.



Gambar 13. Pengujian alat di lahan gambut

Data hasil pengukuran emisi gas CH_4 di lahan gambut disajikan dalam bentuk grafik yang terlihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Grafik hasil pengukuran emisi gas CH_4 di lahan gambut

Respon sensor terhadap gas CH_4 relatif cepat hanya beberapa detik diudara bebas. Sensor TGS2611 dapat mendeteksi gas CH_4 dengan *range* 500 ppm sampai 10.000 ppm. Tetapi pada alat yang sudah dibuat, sensor TGS2611 dapat mendeteksi konsentrasi gas CH_4 yang lebih kecil bahkan bisa sampai 0 ppm seperti yang ditunjukkan grafik karakteristik sensor melalui perbandingan konsentrasi gas CH_4 dengan tegangan keluaran sensor pada Gambar 10.

CH_4 meter digunakan untuk mengukur emisi gas CH_4 di lahan gambut. Pengukuran tersebut bertempat di Desa Tegal Arum, Kelurahan Syamsudin Noor, Kecamatan Landasan Ulin, Banjarbaru, Kalimantan Selatan. Data emisi gas CH_4 diperoleh dengan memerangkap gas CH_4 di lahan gambut menggunakan *chamber* berukuran (60 x 50 x 40) cm sehingga diketahui volume awal *chamber* sebelum pengambilan data sebesar 120.000 cm^3 . Volume

berubah menjadi 114.000 cm^3 pada saat pengambilan data, karena *chamber* ditanam sedalam 2 cm. *Chamber* ditanam dengan tujuan agar gas CH_4 terperangkap sempurna tanpa adanya pertukaran udara dari dalam ke luar maupun sebaliknya, yang nantinya emisi gas CH_4 yang diukur akan terakumulasi selama 2 jam didalam *chamber*.

Gambar 13 menunjukkan konsentrasi gas CH_4 yang terukur pada sampel pertama sebesar 285 ppm dan terus stabil. Konsentrasi gas mengalami kenaikan sebesar 295 ppm dan kembali stabil pada nilai 285 ppm. Konsentrasi mengalami penurunan secara signifikan sebesar 276 ppm, 266 ppm, 256 ppm, 247 ppm dan 237 ppm. Walaupun pada konsentrasi tersebut terjadi turun naik konsentrasi gas CH_4 . Konsentrasi gas CH_4 terendah sebesar 237 ppm lalu mengalami kenaikan konsentrasi lagi menjadi sebesar 247 ppm sampai proses pengambilan data selesai. Pengukuran yang dilakukan selama 2 jam menghasilkan perubahan konsentrasi gas CH_4 dari rentang 237 ppm sampai 295 ppm. Konsentrasi gas CH_4 terus mengalami penurunan disebabkan oleh pengaruh suhu udara yang semakin tinggi.

Berdasarkan pengambilan data yang telah dilakukan, maka dapat diketahui perubahan terkecil yang dapat dideteksi oleh CH_4 meter sebesar 10 ppm. Perubahan tersebut dihasilkan dari pengurangan nilai *Least Significant Bit* (LSB) yang terdekat yaitu 295 ppm dan 285 ppm. Dengan mengingat sensitivitas ADC yang telah didapatkan, maka setiap terjadi perubahan 1 bit ADC dengan nilai tegangan 5 mv konsentrasi gas CH_4 yang dapat terdeteksi sebesar 10 ppm..

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dalam pengukuran kadar gas CH_4 pada lahan gambut menggunakan sensor TGS2611 berbasis ATmega8535 yang diperoleh, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Alat ukur gas metana (CH_4 meter) yang telah selesai dibuat pada penelitian ini dirangkai dengan beberapa sistem, seperti sensor gas CH_4 dengan tipe TGS2611 sebagai pendeteksi gas CH_4 yang diintegrasikan dengan rangkaian pembagi tegangan, pengkondisi sinyal berupa rangkaian *voltage follower*, catu daya, modul mikrokontroler ATmega8535 dan LCD karakter 16x2.
2. CH_4 meter dapat melakukan pencatatan akuisisi data kadar gas CH_4 secara *real time*, kontinyu dan otomatis setiap detiknya melalui *Delphi 7.0* yang selanjutnya data hasil pengukuran dapat disimpan dengan format *.xlsx.
3. Hasil pengukuran emisi kadar CH_4 di lahan gambut selama 2 jam menghasilkan perubahan konsentrasi gas CH_4 dari rentang 237 ppm sampai 295 ppm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Kemeterian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi yang telah mendanai penelitian ini melalui skema Hibah Bersaing Universitas Lambung Mangkurat tahun 2015.

DAFTAR PUSTAKA

1. Noor YR, Kaat A, Silvius M, Widyastuti , Told S, Widyastuti W. Tanya & Jawab Seputar Gambut di Asia Tenggara, Khususnya di Indonesia : The Central Kalimantan Peatlands Project (CKPP); 2008.
2. Istomo. Keseimbangan hara dan karbon dalam pemanfaatan lahan gambut berkelanjutan. In YR N, D S, F H, editors. Prosiding ke 08 Pemanfaatan Lahan Gambut Secara Bijaksana untuk Manfaat Berkelanjutan; 2005; Bogor: Wetlands Internasional-Indonesia.
3. S S, NBE S. Kajian beberapa sifat inheren dan perilaku gambut: kehilangan karbondioksida (CO₂) dan metana (CH₄) melalui proses reduksi-oksidasi. J. Tanah Drop. 2000; 10: p. 127-135.
4. Sabiham S. Pengelolaan Lahan Gambut Indonesia Berbasis Keunikan Ekosistem. Orasi Ilmiah Guru Besar Tetap Pengelolaan Tanah. Bogor: IPB, Fakultas Pertanian; 2006.
5. U S, R. L R. Forest peatland drainage and subsidence affect soil water retention and transport in Alberta Peatland. J. Soil Sci. Soc. A. J. 1998; 62: p. 1048-1056.
6. Bronson K, Freney J, Keerthising D, AR M. Use nitrification inhibitors to reduce nitrous oxide emission from urea fertilized soils. CH₄ dan N₂O: Global Emissions and Controls from Rice Field and other Agricultural and Industrial Sources; 1994.
7. Horn M, Matthies C, Kusel K, Schramm A, Drake H. Hydrogenotrophic methanogenesis by moderately acid tolerant methanogens of a methane emitting acidic peat. Appl Environ Microbiol. 2003; 69: p. 74-83.
8. Fraden J. Handbook of Modern Sensors. 3rd ed. New York: Springer; 2003.
9. Analog Devices I. Ultralow Offset Voltage Operational Amplifiers OP07. Datasheet.; 2002.
10. Wardhana L. Belajar Sendiri Mikrokontroler AVR Seri ATmega8535 Simulasi, Hardware dan Aplikasi Yogyakarta: Penerbit Andi; 2006.
11. Iswanto. Belajar Sendiri Mikrokontroler AT90S2313 dengan BASIC Compiler Yogyakarta: Penerbit Andi; 2009.
12. Shenzhen. Specification for LCD Module 1602A-1 (V1.2) Datasheet: Eone Electronics Co.,Ltd.; 2005.
13. Najmurokhman A, Muslim T. Perancangan Prototipe Sistem Pengaturan Lampu dan Pintu Gerbang Menggunakan SMS (Short Message Service) Berbasis Mikrokontroler ATmega8535. Jurnal Tekno-Insentif. 2011; V(1): p. 1-13.
14. Pranata A. Pemrograman Borland Delphi 6. 4th ed. Yogyakarta: Penerbit Andi; 2002.
15. Analog Devices I. Ultralow Offset Voltage Operational Amplifiers OP07: Datasheet; 2002.
16. Iswanto. Belajar Sendiri Mikrokontroler AT90S2313 dengan BASIC Compiler Yogyakarta: Penerbit Andi; 2009.