

Sistem Akuisisi Gas Karbon Dioksida dan Potensinya sebagai Alat Ukur Emisi pada Tanah Gambut

Mulyadi¹, Buyung Romadona²

¹Jurusan Teknik Komputer Fakultas Teknik Universitas Borneo Tarakan

²Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Borneo Tarakan

Korespondensi: mulyadi@borneo.ac.id

Received: Juli 2022 ; Accepted: September 2022 ; Published: November 2022

DOI: <https://doi.org/10.30649/je.v4i2.108>

Abstrak

Penelitian ini menyajikan sistem akuisisi data berbasis sensor gas semikonduktor dengan material utama oksida logam untuk pengukuran konsentrasi gas karbon dioksida (CO₂) yang dapat dimanfaatkan di dalam dan di luar ruangan. Bahan oksida logam akan mengalami perubahan resistansi ketika terpapar gas karbon dioksida, perubahan resistansi tersebut dapat diukur untuk mengetahui kadarnya pada suatu wadah. Sistem ini telah diimplementasikan pada papan sirkuit tercetak untuk mendapatkan berbagai aspek. Beberapa percobaan telah dilakukan untuk mengevaluasi sistem yang dikombinasikan dengan aplikasi nirkabel. Tes yang berbeda direalisasikan dalam lahan terbuka menggunakan sistem transek pada lima titik sampel dengan rata-rata kesalahan sebesar 4,01%. Purwarupa yang dikembangkan dalam penelitian ini mempertimbangkan variasi temporal dalam emisi CO₂ dari ekosistem gambut. Dengan demikian purwarupa yang telah dibangun diharapkan dapat diterapkan dalam pengukuran fluks CO₂ di lapangan serta gas rumah kaca lainnya untuk mengurangi ketidakpastian emisi.

Kata kunci: karbon dioksida, sensor, emisi, gambut

Abstract

This research presents a semiconductor gas sensor-based data acquisition system with metal oxide as the main material for measuring carbon dioxide (CO₂) gas concentration that can be utilized indoors and outdoors. The metal oxide material will experience a change in resistance when exposed to carbon dioxide gas, the change in resistance can be measured to determine its level in a container. This system has been implemented on a printed circuit board to obtain various aspects. Several experiments have been conducted to evaluate the system combined with wireless applications. Different tests were realized in an open field using a transect system at five sample points with an average error of 4.01%. The prototype developed in this research considers temporal variations in CO₂ emissions from peat ecosystems. Thus, the developed prototype is expected to be applied in field measurements of CO₂ fluxes and other greenhouse gases to reduce emission uncertainties.

Key words: carbon dioxide, sensor, emission, peat

I. PENDAHULUAN

Lahan gambut hanya menutupi sekitar 3% dari luas lahan global tetapi menyimpan karbon dua kali lebih banyak dari biomassa hutan global [1][2]. Sekitar 43–51 MHa kawasan lahan gambut global terdegradasi [3]. Lahan gambut tersebut telah dikeringkan untuk pertanian, kehutanan atau ekstraksi gambut. Lahan gambut terdegradasi mengeluarkan karbon dioksida dari oksidasi gambut dan gas rumah kaca lainnya selama berabad-abad jika tidak dibasahi kembali [4].

Lahan gambut alami menumpuk gambut dari bahan tanaman mati, sehingga menghilangkan CO₂ dari atmosfer [5], pada saat yang sama, dekomposisi bahan tanaman mati dalam kondisi anaerob menyebabkan emisi metana (CH₄) dengan efek gas rumah kaca kira-kira 30 kali lipat CO₂ [6]. Selama rentang waktu 100 tahun, efek penangkal ini bahkan dapat saling meniadakan [7]. Oleh karena itu, lahan gambut alami dapat dianggap dari penyerap gas rumah kaca sedang hingga iklim netral [8].

Ketika lahan gambut dikeringkan gambut mulai terurai secara aerobik dan karena itu pada tingkat yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan akumulasi anaerobik, yang menghasilkan emisi CO₂ yang cukup besar. Selain itu, oksidasi gambut menyebabkan emisi dinitrogen oksida (N₂O) dan CH₄ dalam jumlah yang lebih kecil [3][9].

Selain itu, parit di lahan gambut yang dikeringkan membawa karbon organik terlarut (DOC) dalam jumlah yang lebih besar dari lahan gambut daripada kondisi alamnya, dan sebagian besar DOC teroksidasi dan dilepaskan sebagai CO₂. Dalam hal potensi pemanasan global, CO₂ sejauh ini merupakan gas rumah kaca terpenting dari lahan gambut yang terdegradasi [7]. Proses oksidasi gambut yang lengkap bisa memakan waktu berabad-abad untuk endapan gambut dalam [11]. Oleh karena itu, setiap unit lahan gambut yang di-

keringkan merupakan penyumbang pemanasan global hingga akhirnya semua gambut terdekomposisi. Selain perlindungan lahan gambut utuh, opsi untuk membalikkan tren ini adalah restorasi lahan gambut yang dikeringkan melalui pembasahan kembali [7][11][12].

Serupa dengan lahan gambut yang masih utuh, lahan gambut yang dibasahi kembali menyerap CO₂ dari atmosfer tetapi mengeluarkan metana rata-rata 46% lebih banyak [13]. Emisi gas rumah kaca bersih dari lahan gambut yang dibasahi dalam banyak kasus jauh lebih rendah dibandingkan dengan lahan gambut yang dikeringkan, tetapi pengurangan emisi bervariasi dari waktu ke waktu dan di wilayah iklim yang berbeda, dan karenanya tidak mudah digeneralisasikan [3][7].

Menurut faktor emisi terbaru, lahan gambut yang dibasahi kembali selama jangka menengah memiliki gas rumah kaca yang lebih tinggi daripada lahan gambut utuh [3][7][9]. Namun meskipun lahan gambut yang dibasahi kembali mungkin tetap negatif untuk iklim secara absolut, mitigasi gas rumah kaca dibandingkan dengan status pengeringan sebelumnya masih cukup besar. Dari Uraian tersebut maka dibutuhkan suatu perangkat pengukuran yang dapat dengan mudah dibawa ke lahan terbuka dan melakukan akuisisi data emisi langsung dari lapangan.

Saat ini ada beberapa cara pengukuran kadar emisi gas karbon dioksida yang biasa digunakan. Cara pertama menggunakan metode konvensional yaitu dengan melakukan reaksi kimia untuk mendapatkan nilai kadar emisi gas karbon dioksida dari sampel tanah gambut. Metode ini memiliki kekurangan yaitu limbah hasil reaksi kimia sangat berbahaya dan dapat merusak lingkungan.

Metode ini membutuhkan analisa sampel menggunakan *Fourier-Transform Infrared* (FTIR) *spectrophotometer*, yang menyebabkannya menjadi kurang praktis karena sampel tanah gambut harus diuji di

laboratorium [14]. Metode selanjutnya adalah menggunakan peralatan *Infra Red Gas Analyzer* dan *Gas Chromatography* [15]. Biaya pengoperasian dan perawatan peralatan ini sangat mahal serta membutuhkan tenaga ahli dengan kepakaran khusus untuk mengoperasikannya [16].

Penelitian ini merealisasikan sebuah perangkat pengukuran emisi gas karbon dioksida pada lahan gambut yang terdiri dari seperangkat sensor gas dan sebuah realisasikan sistem akuisisi data berbasis pengendali mikro yang dilengkapi dengan penampil data untuk menampilkan hasil pembacaan pengukuran kadar emisi gas karbon dioksida.

Perangkat ini memiliki beberapa keunggulan yaitu praktis dalam penggunaan, hasil pengukuran langsung dapat diketahui, dapat dibangun dengan biaya yang relatif murah namun akurasinya dapat dipertanggungjawabkan serta tidak menyebabkan kerusakan lingkungan.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merealisasikan sistem pengukuran emisi CO₂ berbiaya rendah untuk pemantauan lingkungan, berdasarkan mikrokontroler yang dapat menawarkan alternatif untuk peralatan penginderaan CO₂ komersial sambil tetap memberikan pengukuran yang akurat. Karakteristik dari desain termasuk kemampuan untuk menandai waktu akuisisi data, sehingga dapat digabungkan dengan kumpulan data dari sumber lain.

Opsi input daya yang stabil, *portable*, dan bervolume tinggi sangat penting dan konsumsi daya yang rendah dari pencatat data untuk meningkatkan kesesuaian untuk penerapan di lapangan. Penggunaan untuk fitur lebih luas mensyaratkan penyimpanan data berkapasitas tinggi. Banyak studi lingkungan yang ikut memantau suhu dan tekanan atmosfer, terutama dalam pengukuran fluks CO₂ berbasis

ruang, sehingga penggabungan barometer dan sensor suhu diselidiki.

Desain yang diproyeksikan di luar pemantauan CO₂ sengaja dibuat fleksibel karena kami mengantisipasi desain akhir yang seimbang antara biaya dan kesesuaian keseluruhan komponen yang tersedia.

Pada penelitian ini kami menggunakan ruang dinamis tertutup dari bahan polimer termoplastik terbuat dari klorin dan etilena. Beberapa solusi teknis tersedia untuk merancang sistem ruang otomatis untuk fluks CO₂, CH₄ dan N₂O antara tanah atau ekosistem dan atmosfer. Sistem ini biasanya diklasifikasikan ke dalam sistem ruang dinamis terbuka (aliran melalui kondisi tunak) dan ruang dinamis tertutup (aliran melalui kondisi tidak tunak).

Dalam ruang dinamis terbuka, udara sampel ditarik dari ruang ke penganalisis gas dan udara pengganti dengan konsentrasi gas yang diketahui diarahkan ke ruang untuk menjaga keseimbangan tekanan. Selama penutupan ruang, ruang *headspace* mencapai konsentrasi kondisi tunak sehingga fluks dapat dihitung.

Ruang dinamis tertutup beroperasi dalam mode tertutup sepenuhnya di mana udara sampel secara terus menerus ditarik dari ruang *headspace* ke penganalisis gas dan dikembalikan ke ruang dan mengukur perubahan konsentrasi emisi secara terus menerus dalam ruang *headspace* dalam waktu yang singkat. Fluks dihitung dari perubahan ini dengan menggunakan model persamaan linier [17].

Desain ruang dan protokol pengukuran meminimalkan kerugian dari sistem ruang, misalnya, perubahan iklim mikro di dalam ruang, seperti radiasi, curah hujan, suhu, kecepatan angin, dan masukan sampah.

Perhatian khusus diberikan pada kesetimbangan tekanan antara ruang *headspace* dan udara, khususnya, selama penutupan ruang tetapi juga selama seluruh periode pengukuran ketika sampel udara diambil dari ruang *headspace* untuk meng-

hindari bias pada perkembangan konsentrasi udara ruang dari waktu ke waktu.

Pengukuran otomatis eflux CO_2 dilakukan dengan ruang yang mencakup area antara 0,03 dan 1 m^2 . Heterogenitas kerapatan akar dipertimbangkan dengan menempatkan bilik-bilik pada jarak yang berbeda. Pengukuran emisi yang diselidiki dan pengumpulan data dimulai segera setelah pemasangan cungkup.

Tinggi ruang pengukuran adalah 0,1 meter. cungkup harus mencapai setidaknya 0,05 m ke dalam tanah dan memanjang tidak lebih dari 0,30 m di atas permukaan. Rasio tinggi dan diameter di atas permukaan tanah harus sama atau lebih kecil dari 0,5. Namun demikian, penyisipan cungkup harus diminimalkan untuk menghindari gangguan akar.



Gambar 1. Lahan pengukuran emisi

Durasi penutupan harus sesingkat mungkin tetapi cukup lama untuk mengukur perubahan emisi yang diselidiki. Durasi ini harus didasarkan pada tingkat perubahan konsentrasi emisi yang diteliti. perubahan konsentrasi selama penutupan ruang mengikuti tren linier dan karenanya fluks dapat didekati dengan model linier.

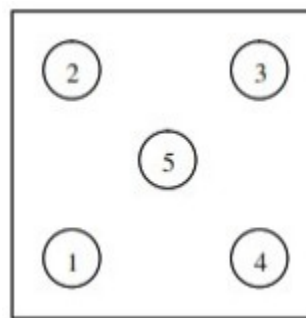
Penentuan durasi penutupan bergantung pada besarnya fluks, rasio volume ruang terhadap luas area, difusivitas udara tanah. Umumnya, lima menit adalah waktu yang cukup untuk mendapatkan perubahan konsentrasi emisi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada awal pengujian, sistem yang dirancang telah diuji pada keluaran gas yang dihasilkan oleh mesin penghasil gas. Pengujian ini menggunakan alat standar untuk membandingkan keakuratan dari sistem yang dirancang, yaitu Dragger Xm-7000. Mekanisme pendeteksi konsentrasi karbon dioksida di dalam tanah dibagi menjadi 3 bagian, yaitu sumber gas, penghalang gas, dan sistem sensor.

Sumber gas mengalirkan gas karbon dioksida ke penghalang, penghalang adalah bagian dari sistem untuk menempatkan dan mengatur ketebalan gambut. Sedangkan sistem sensor menggunakan sensor gas semikonduktor produksi figaro. Sensor gas MG-811 dan mikrokontroler Atmega328 mengukur konsentrasi karbon dioksida yang terkandung dalam gambut. Hasil pengukuran akan ditampilkan pada layar penampil dan direkam pada kartu micro.

Sebelum dilakukan pengujian pada tanah gambut, dilakukan kalibrasi sensor MG 811 untuk mengetahui program yang telah dimasukkan sesuai dengan yang diinginkan. Kalibrasi dilakukan dengan cara sensor diletakkan di dalam kotak tertutup dan dialiri karbondioksida selama 60 detik.



Gambar 2. Titik pengukuran

Keluaran dari sensor MG 811 berupa beda potensial listrik (tegangan). Semakin banyak karbondioksida yang terdeteksi, maka semakin kecil tegangan yang diha-

silkan oleh sensor MG 811. Percobaan dilakukan dengan meletakkan sampel tanah gambut di atas pembatas dan me-ngatur ketebalannya sebesar 7 cm. Penghalang ini dialiri gas karbondioksi dari sumbernya. Gas karbondioksida yang mengalir di dalam tanah akan dideteksi oleh sensor MG-811. Tegangan keluaran dari MG-811 dikonversi oleh mikrokontroler menjadi satuan *part per million* (ppm).

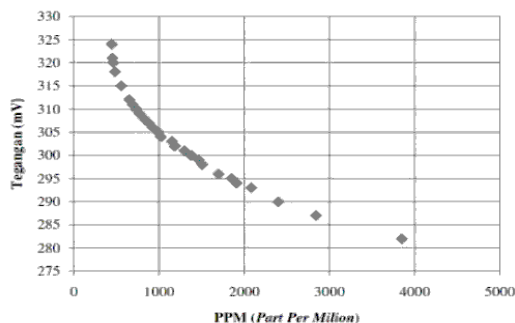
Pengujian pada lahan gambut dilakukan di lahan gambut kering berukuran 1

m² pada lima titik sampel dengan perulangan setiap titik sebanyak enam kali perulangan.

Berikut ini tersaji data-data hasil pengukuran emisi karbondioksida pada lahan gambut kering. Sedangkan Tabel 2 menyajikan data hasil akuisisi kadar emisi karbondioksida pada lahan gambut kering dengan menggunakan perangkat yang telah dibangun dan dibandingkan dengan data kalibrasi sensor gas dari pabrikan.

Tabel 1. Hasil pengukuran sampel pada lahan gambut kering

Sampel	Pengukuran titik sampel									
	1		2		3		4		5	
	Volt	Ppm	Volt	Ppm	Volt	Ppm	Volt	Ppm	Volt	Ppm
1	0,304	1021	0,303	1151	0,303	1151	0,3	1379	0,306	929
2	0,305	991	0,306	929	0,303	1185	0,302	1185	0,307	875
3	0,303	1151	0,302	1185	0,303	1185	0,299	1465	0,307	875
4	0,307	875	0,302	1185	0,303	1299	0,3	1379	0,309	773
5	0,304	1021	0,304	1021	0,303	1185	0,3	1379	0,305	991
6	0,304	1021	0,304	1021	0,303	1299	0,301	1299	0,309	773



Gambar 3. Kurva data hasil pengukuran emisi gambut kering

Mengacu pada data yang disajikan pada Tabel 2, dapat diketahui tingkat kesalahan hasil pengukuran emisi karbondioksida menggunakan perangkat yang telah dibangun sebesar 4,018%. Hal tersebut kemungkinan disebabkan oleh derau yang terjadi pada rangkaian penguat operasional tak membalik yang menerima luaran dari sensor. Derau yang terjadi pada blok ADC juga dapat diduga menjadi

penyebab penyimpangan hasil pengukuran.

Tabel 2. Data perbandingan hasil akuisisi emisi dan data kalibrasi sensor

Tegangan (mV)	Konsentrasi karbondioksida (ppm)	
	Data sheet	Prototype
282	3864	3849
287	2933	2845
290	2455	2401
293	2012	2083
294	1923	1909
298	1577	1507
300	1365	1379
303	989	1151
305	907	991
307	831	875
309	761	773
312	667	651

315	586	557
-----	-----	-----

Tegangan (mV)	Konsentrasi karbondioksida (ppm)	
	Data sheet	Prototype
318	517	483
320	479	462
324	417	447

IV. SIMPULAN

Untuk mengatasi kekurangan metode ruang statis, penelitian ini merancang sebuah purwarupa metode ruang dinamis yang dikombinasikan dengan terus menerus mengumpulkan sampel udara kumulatif di dalam ruang tertutup. Untuk metode ruang dinamis, fluks emisi CO₂ rata-rata selama periode misalnya, 10 menit atau periode panjang misalnya, 24 jam dapat dengan mudah dicapai.

Dengan menganalisis dua sampel udara kumulatif yang dikumpulkan di *inlet* dan *outlet* selama periode tertentu, variasi harian emisi CO₂ dari gambut ditandai melalui pengukuran dengan rentang variasi masing-masing satu besaran. Hasil ini menunjukkan bahwa emisi CO₂ dari tanah gambut yang diukur dengan metode ruang statis klasik mungkin menunjukkan ketidakpastian yang besar karena beberapa pengukuran fluks intermiten.

Metode ruang dinamis yang dikembangkan dalam penelitian ini diharapkan dapat diterapkan dalam pengukuran fluks emisi CO₂ di lapangan serta emisi gas rumah kaca lainnya dari berbagai ekosistem, untuk mengurangi ketidakpastian dalam pengukuran menggunakan metode ruang statis yang tidak mencerminkan variasi temporal emisi gas rumah kaca.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih

kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Borneo Tarakan yang telah memberikan dukungan pendanaan melalui Hibah Penelitian Riset Kompetensi Dosen tahun anggaran 2022.

V. RUJUKAN

- [1] Z. Yu, J. Loisel, D.P. Brosseau, D.W. Beilman, S.J. Hunt. "Global Peatland Dynamics Since The Last Glacial Maximum Geophys". *Res. Lett.* 37, L13402. 2010.
- [2] H. Joosten, A. Sirin, J. Couwenberg, J. Laine, P. Smith. "The Role Of Peatlands In Climate Regulation Peatland Restoration and Ecosystem Services": *Science, Policy and Practice Ecological Reviews ed A Bonn, H Joosten, M Evans, R Stoneman and T Allott (Cambridge: Cambridge: University Press).* 63–76. 2016.
- [3] D. Wilson, D. Blain, J. Couwenberg. "Greenhouse Gas Emission Factors Associated With Rewetting Of Organic Soils". *Mires Peat*, 17, 4–28. 2016.
- [4] A. Hooijer, S. Page, J.G. Canadell, M. Silvius, J. Kwadijk, H. Wösten. J. Jauhiainen. "Current And Future CO₂ Emissions From Drained Peatlands In Southeast Asia Biogeosciences". 7, 1505–14. 2010.
- [5] Jauhiainen, J. Page, S. E. Vasander, H. "Greenhouse Gas Dynamics In Degraded And Restored Tropical Peatlands". *Mires Peat*. 17, 1–12. 2015.
- [6] Leifeld, J. Wüst-Galley, C. Page, S. "Intact And Managed Peatland Soils As A Source And Sink Of Ghgs From 1850 To 2100". *Nat. Clim. Change*. 9, 945–7, 2019.
- [7] A. Barthelmes, J. Couwenberg. M. Risager, C. Tegetmeyer, H. Joosten. "Copenhagen: Nordic Council of Ministers", 544. 2015.
- [8] P.E. Levy, A. Gray. "Greenhouse Gas Balance Of A Semi-Natural Peatbog In Northern Scotland Environ". *Res. Lett.* 10, 094019. 2015.
- [9] T. Hiraishi, T. Krug, K. Tanabe. N. Srivastava, J. Baasansuren, M. Fukuda,

- T.G. Troxler. "Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories". Wetlands. 2014.
- [10] J. Leifeld, L. Menichetti. "The Under-appreciated Potential Of Peatlands In Global Climate Change Mitigation Strategies". *Nat. Commun.* 9, 1–8. 2018.
- [11] J. Jaenicke, H. Wösten, A. Budiman, F. Siegert. "Planning Hydrological Restoration Of Peatlands In Indonesia To Mitigate Carbon Dioxide Emissions Mitigation Adapt. Strategies Glob". *Change.* 15, 223–39. 2010.
- [12] D. Wilson, C. Müller, F. Renou-Wilson. "Carbon Emissions And Removals From Irish Peatlands: Present Trends And Future Mitigation Measures Ir. Geogr". 46, 1–23. 2013.
- [13] M. Abdalla, A. Hastings, J. Truu, M. Espenberg, Ü. Mander and P. Smith. *Emissions Of Methane From Northern Peatlands: A Review Of Management Impacts And Implications For Future Management Options Ecol*". *Evol.* 6: 7080–7102. 2016.
- [14] S. Nurzakiah, N. Wakhid, A. Hairani. "Carbon Dioxide Emission And Peat Hydrophobicity In Tidal Peatlands". *Journal of Soil Science and Agroclimatology.* 17, 71-77. 2020.
- [15] H. Husnain, I.G.P. Wigena, A. Dariah, S. Marwanto, P. Setyanto, F. Agus. "CO₂ Emissions From Tropical Drained Peat In Sumatra Indonesia. Mitig Adapt. Strateg Glob Change". 19, 845–862. 2014.
- [16] M.J. Jamili, B. Nugroho, B.B. Sumawinata, S. Anwar. *Journal of Nat Res EnvMan.* 11, 430-441. 2021.
- [17] P. Aditya, M. Mulyadi. "Rancang Bangun Prototype Sistem Pemantauan Potensi Kebakaran Gambut dengan Multi Sensor". *J-Eltrik Vol. 2, No. 2.* 72-78. 2020.